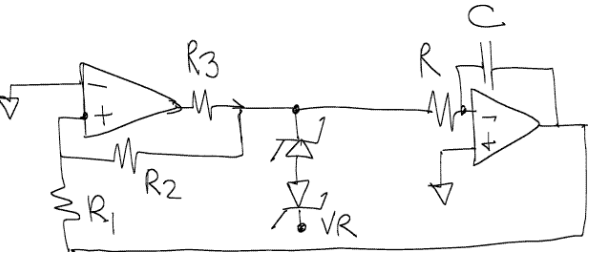


**Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
2 luglio 2013

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua  $A_{v0}=1000$ ,  $R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$ ,  $R_{out} = 100 \Omega$ , un polo a frequenza  $f_p = 100 \text{ Hz}$ . Inoltre sia  $R_s = 2 \text{ K}\Omega$  la resistenza del generatore di segnale e  $R_L = 100 \Omega$  la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso compresa tra  $1 \text{ M}\Omega$  e  $2 \text{ M}\Omega$  e una resistenza di uscita maggiore di  $100 \text{ K}\Omega$ . [punti 6]

2. Sia dato il circuito a lato. Ricavare la forma d'onda ottenuta. Disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione al sullo stesso asse dei tempi. Calcolare periodo e duty cycle della =  $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $V_Z = 4.7 \text{ V}$ ,  $V_R = 2 \text{ V}$ ). [punti 6]



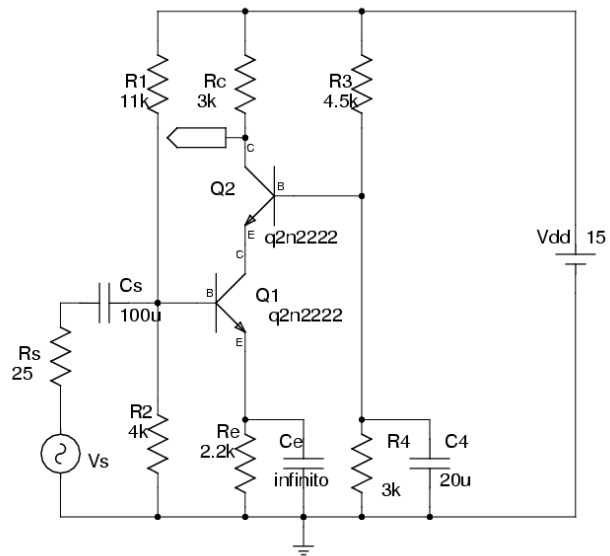
3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e Q2 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite inferiore di banda

Assunzioni semplificative:

- considerare  $h_{oe} = 0$  per i due transistori.

[punti 15]



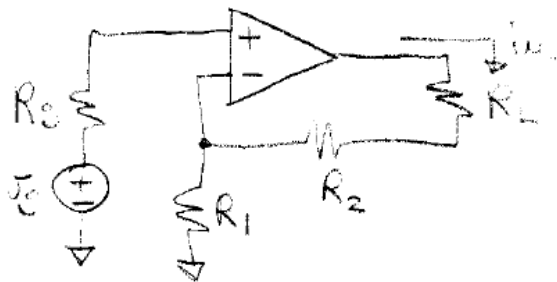
# Soluzione

## Esercizio 1.

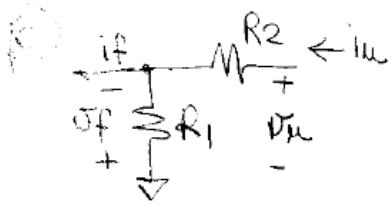
$f_c = 100 \text{ Hz}$   
 $f_{10} = 1000$   
 $R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$   
 $R_{out} = 100 \Omega$   
 $R_L = 100 \Omega$   
 $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

$1 \text{ M}\Omega < R_{IF} < 2 \text{ M}\Omega$   
 $R_{OF} > 100 \text{ k}\Omega$

È necessaria una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione

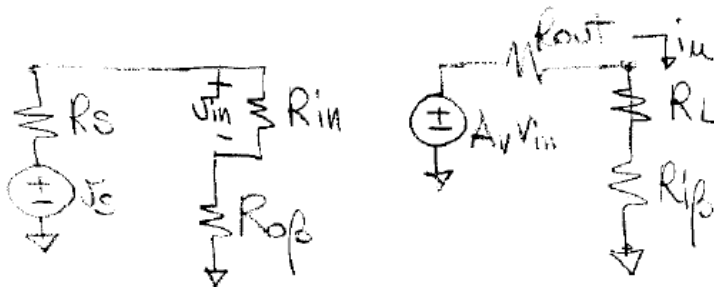


Rete per il  $\beta$



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

$\beta = \left. \frac{v_f}{i_u} \right|_{i_f=0} = -R_1$     
 $R_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1$     
 $R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_1 + R_2$



$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s + R_{of}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{if}}$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta}) \left( 1 - \beta A_v \Big|_{R_L=0} \right)$$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta}) \left( 1 - \beta A_v \Big|_{R_L=0} \right)$$

possiamo scegliere  $1 - \beta A_v \Big|_{R_L=0} = 10$  e  $R_{o\beta} < R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$

in modo da soddisfare la condizione su  $R_{IF}$ .

inoltre  $R_{i\beta} > 10 \text{ K}\Omega$  per soddisfare la condizione su  $R_{OF}$

Poniamo

$$1 - \beta A_v \Big|_{R_L=0} = 10 \Rightarrow -\beta A_v \Big|_{R_L=0} = 9$$

$$R_1 \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1 + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} = 9$$

$\begin{matrix} \nearrow 100 \text{ K} \\ R_{in} \\ \times \\ R_1 \\ \parallel \\ R_1 \end{matrix}$ 
 $\begin{matrix} \uparrow \\ 1000 \\ \uparrow \\ 100 \\ \uparrow \\ 100 \end{matrix}$ 
 $\begin{matrix} \parallel \\ R_1 + R_2 \end{matrix}$

poniamo  $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$

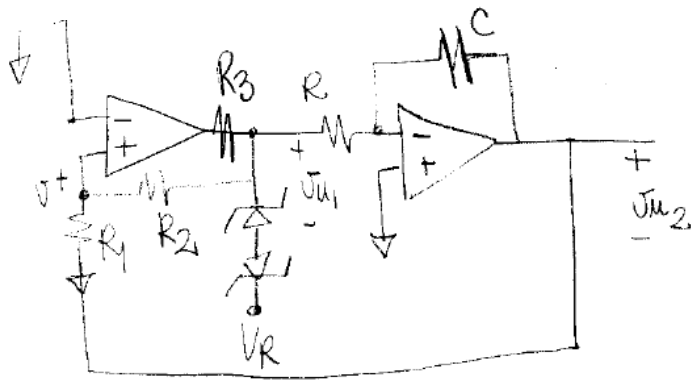
$$\frac{100}{101} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{1.2 + R_2} = 9$$

$$1.2 + R_2 = \frac{100000}{101 \cdot 9} \Rightarrow R_2 = 108.8 \text{ K}\Omega$$

ricalcoliamo  $R_{IF} = (10^5 + 10^3) \left( 1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1 + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{110000} \right) = 1.01 \text{ M}\Omega$

$$R_{OF} = (100 + 109800) \left( 1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1 + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_{o\beta}} \right) = 1.08 \text{ M}\Omega$$

## Esercizio 2



$$\begin{aligned}
 V_R &= 2\text{ V} \\
 V_2 &= 4.7\text{ V} \\
 V_1 &= 0.7\text{ V} \\
 R_1 &= R_2 = 10\text{ k}\Omega \\
 R &= 10\text{ k}\Omega \\
 C &= 47\text{ nF} \\
 RC &= 4.7 \cdot 10^{-4}\text{ s}
 \end{aligned}$$

$u_1$  può assumere 2 valori

$$V_A = V_2 + V_1 + V_R = 7.4\text{ V}$$

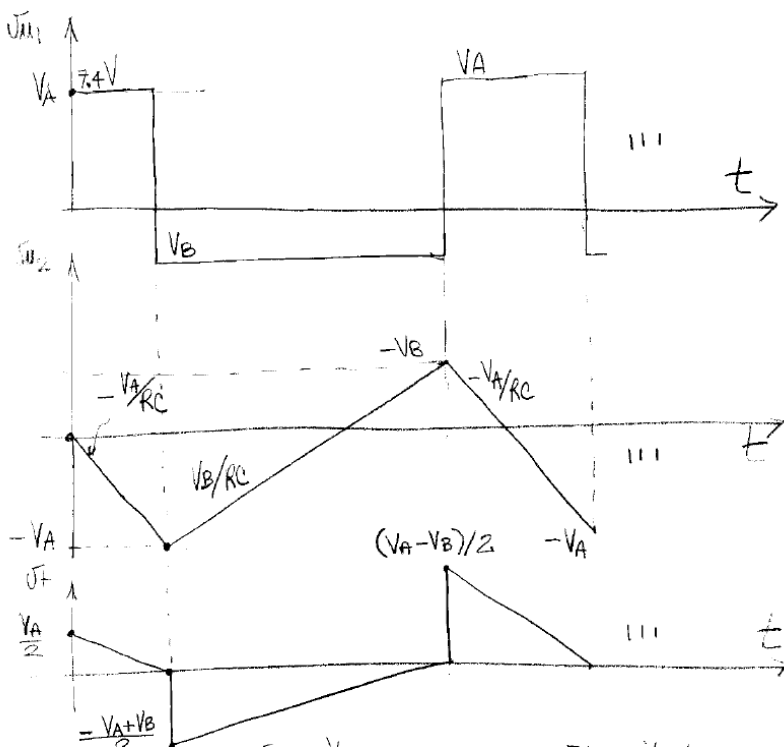
$$V_B = -V_2 - V_1 - V_R = -3.4\text{ V}$$

$$v^+ = \frac{u_1 R_1 + u_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

Se  $v^+ = 0$  otteniamo  $u_2 = -\frac{R_1}{R_2} u_1 = -u_1$

se  $u_1 = V_A \Rightarrow \frac{du_2}{dt} = -\frac{V_A}{RC}$

se  $u_1 = V_B \Rightarrow \frac{du_2}{dt} = -\frac{V_B}{RC}$



poniamo  $t=0$   $V_{M1} = V_A$   $V_{M2} = 0 \Rightarrow V^+ = 1A/2$

$$T_1 = \frac{-V_E + V_A}{|V_A|/RC} = \frac{3.4 + 7.4}{7.4} \cdot 4.7 \cdot 10^{-4} = 0.686 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{V_A - V_B}{|V_B|/RC} = \frac{7.4 + 3.4}{3.4} \cdot 4.7 \cdot 10^{-4} = 1.49 \text{ ms}$$

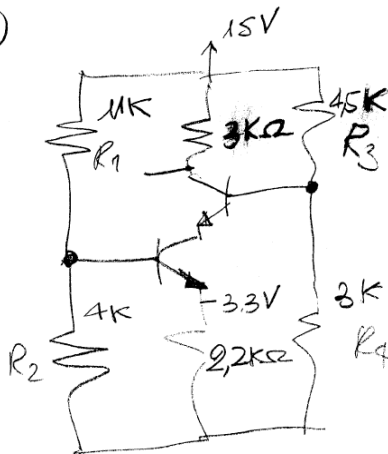
$$T = T_1 + T_2 = 2.176 \text{ ms}$$

$$\delta = T_1/T = 0.315$$

Esercizio 3:

Punto di riposo

①



$$I_{R2} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{R34} = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_4} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4 \text{ V} \rightarrow V_{E1} = V_{B1} - V_{BE} = 3.3 \text{ V}$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_E} = 1.5 \text{ mA} \Rightarrow h_{FE} = 150 \Rightarrow I_B = 10 \mu\text{A} \ll I_{R2}$$

$$I_B \ll I_{R34}$$

$$V_{B2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6 \text{ V} \rightarrow V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 5.3 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_C I_C = 10.5 \text{ V} \rightarrow V_{CE2} = 4.5 \text{ V}$$

$$V_{CB1} = 13 \text{ V}$$

$$g_{m1} = 57.3 \text{ mS} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_E} \quad r_b = 450 \Omega$$

$$h_{ie1} = 450 + \frac{h_{FE}}{\beta_{min}} = 3471 \Omega = h_{ie2}; \quad r_{c1} = r_{c2} = \frac{V_C}{I_C} = 33 \text{ k}\Omega$$

## Amplificazione a centrobanda

②  $A_{CB}$



$$i_{b1} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + h_{ie1}} \cdot \frac{V_s}{R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie1} + R_s}$$

$$i_{b2} = \frac{h_{fe1} i_{b1}}{1 + h_{fe2}}$$

$$V_o = \frac{-R_c h_{fe2}}{1 + h_{fe2}} h_{fe1} i_{b1}$$

$$= \frac{-R_c h_{fe2}}{1 + h_{fe2}} h_{fe1} \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + h_{ie1}} \cdot \frac{1}{R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie1} + R_s}$$

$$= -148$$

## Limite inferiore di banda

$f_L$

$$R_{VCS} = R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel (h_{ie1}) = 1617 \Omega$$

$$R_{VC4} = R_4 \parallel R_3 = 1800 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{R_{VCS} C_s} + \frac{1}{R_{VC4} C_4} \right] = 5 \text{ Hz}$$