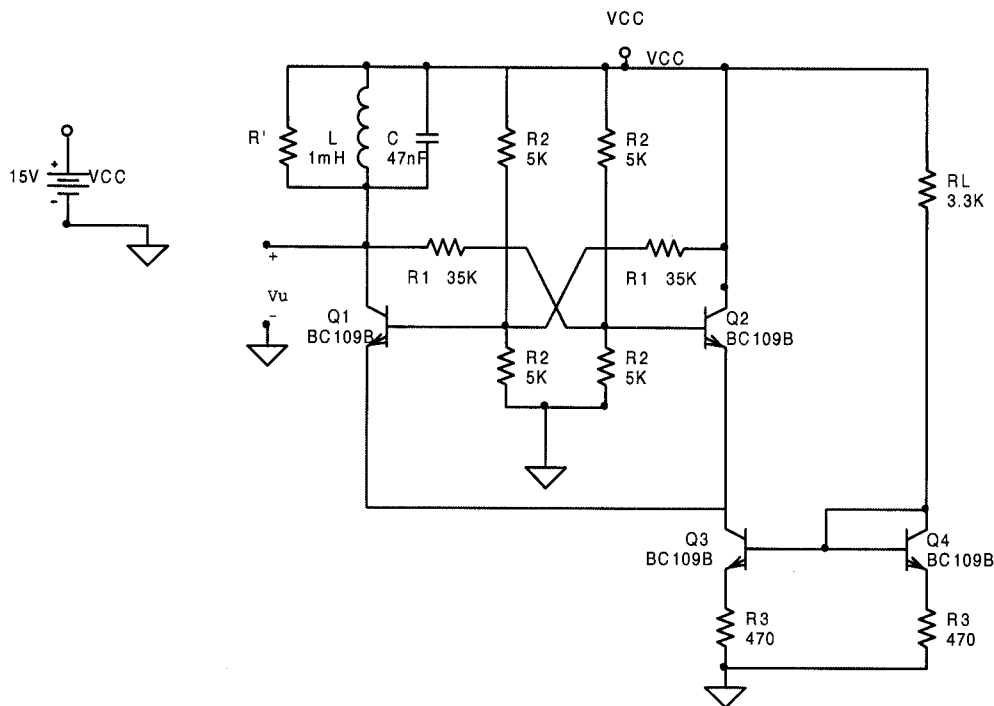


**Esercizio A**



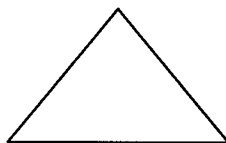
La tensione di alimentazione è  $V_{cc} = 15 \text{ V}$ . I transistori sono BC109B resistivi con  $h_{oe} = 0$  e  $h_{re} = 0$ .  $R'$  è una resistenza variabile di valore  $R' = R_0(1 - \alpha P_d)$ , dove  $P_d$  è la potenza dissipata in  $R'$ ,  $\alpha = 300 \text{ W}^{-1}$ ,  $R_0 = 1 \text{ K}\Omega$ .

Con riferimento all'oscillatore ~~di~~ circuito di figura:

1. verificare l'innescò dell'oscillazione, calcolare frequenza e ampiezza a regime.
2. calcolare la potenza dissipata su ciascun transistore a regime
3. calcolare la massima ampiezza ammissibile nel funzionamento lineare dell'oscillatore al variare del parametro  $\alpha$ .

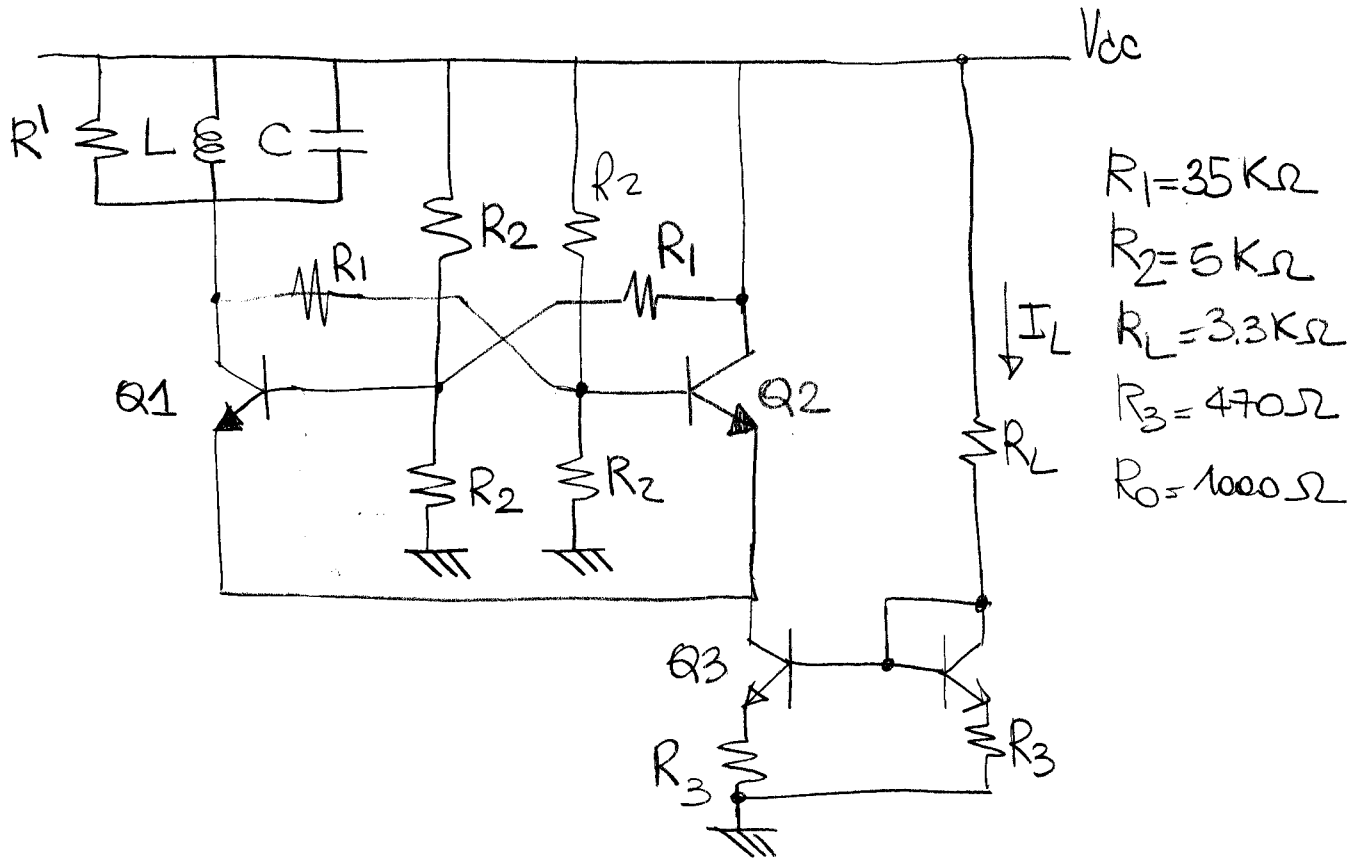
**Esercizio B**

Disegnare e discutere lo schema circuitale di un sistema elettronico in grado di fornire le tensioni necessarie per ottenere la figura di Lissajous riprodotta qui in basso.



# Esercizio A

①



$$I_L = \frac{V_{CC} - V_{\gamma}}{R_L + R_3} = \frac{15 - 0.7}{3770} = 3.79\text{ mA}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_L}{2} = 1.9\text{ mA}$$

$$V_{B2} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 \parallel R_2} V_{CC} = V_{B1} = 8\text{ V}$$

$$V_{E1} = V_{E2} = 7.3\text{ V} = V_{C3}$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = 7.7\text{ V}$$

$$V_{E3} = R_3 I_L = 1.78\text{ V}$$

$$V_{CE3} = V_{C3} - V_{E3} = 5.52\text{ V}$$

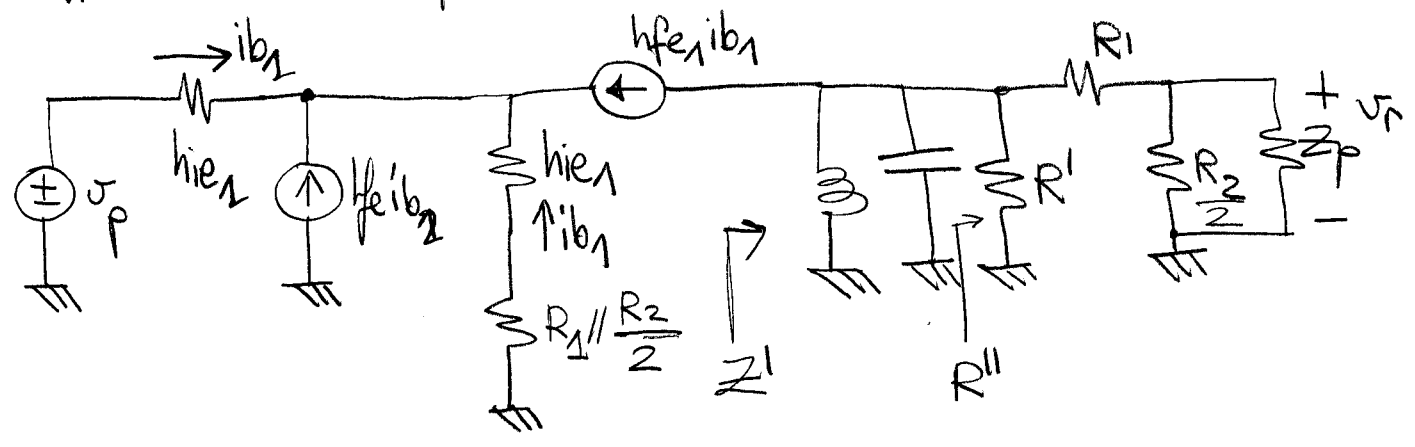
$$V_{CE4} = 0.7\text{ V}$$

$$r_{be1} = r_{be2} = \frac{V_T}{I_C} h_{fe} = \frac{26}{1.9} \cdot 300 = 4105 \Omega$$

$$r_{bb'} = 900 \Omega$$

$$h_{ie1} = h_{ie2} = r_{be1} + r_{bb'} = 5005 \Omega$$

Effettuiamo una scomposizione tra la base di Q2 e massa



$$-(h_{fe} + 1) i_{b2} = (h_{fe} + 1) i_{b1} \Rightarrow i_{b1} = -i_{b2}$$

$$Z_p = h_{ie2} + h_{ie1} + R_1 \parallel \frac{R_2}{2} = 12.33 \text{ K}\Omega$$

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Ls} + Cs + \frac{1}{R''} = \frac{R'' + LCR''s^2 + Ls}{R''Ls}$$

$$\hookrightarrow Z_1 = \frac{R''Ls}{R''(1 + LCs^2) + Ls} \quad \text{con } R'' = R_1 \parallel \left[ R_2 \parallel \frac{R_2}{2} \right] = 923 \Omega$$

$R \approx 37.078 \text{ K}\Omega$

$$\beta A = \frac{h_{fe}}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 \parallel \frac{R_2}{2}} Z_1 \frac{\frac{R_2}{2} \parallel Z_p}{R_1 + \frac{R_2}{2} \parallel Z_p}$$

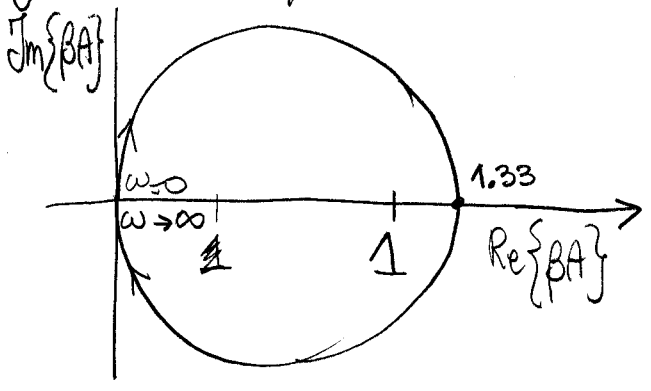
$\beta A$  è reale se  $Z_1$  è reale, cioè  $1 - LC\omega^2 = 0$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 146 \text{ Krad/s} \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 23.25 \text{ KHz}$$

$$\beta A(\omega_0) = h_{fe} \frac{\frac{R_2 // Z_p}{2}}{R_1 + \frac{R_2 // Z_p}{2}} \cdot \frac{R''}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 // \frac{R_2}{2}} =$$

$$= 300 \cdot \frac{2.078}{37.078} \cdot \frac{0.923}{12.33} = 1.327 > 1$$

Diagramma di Nyquist



~~βA ∝~~ βA(ω<sub>0</sub>) ∝ R''

Indichiamo con l'indice \* i valori a regime

$$R''^* = \frac{R''}{\beta A(\omega_0)} = \frac{973}{1.327} = 733 \Omega$$

↑ innesco

$$R''^* = R^{1*} // R_2 = \frac{R^{1*} R_2}{R^{1*} + R_2} \rightarrow R''^* (R^{1*} + R_2) = R^{1*} R_2$$

$$R^{1*} = \frac{R''^* R_2}{R_2 - R''^*} = \frac{733 \times 37078}{37078 - 733} = 748 \Omega$$

$$R^{1*} = R_0 (1 - \alpha P_d^*)$$

$$P_d^* = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{R^{1*}}{R_0} \right) = 0.84 \text{ mW}$$

↑  
300

$$V_m^* = \sqrt{2 R^{1*} P_d^*} = 1.12 \text{ V} \leftarrow \text{Ampiezza dell'oscillazione}$$

# Potenza dissipata sui transistori

④

Q4 la corrente è costante  $P_4 = V_{CE4} * I_L = 0,7 * 3,79 \cdot 10^{-3} = 2,65 \text{ mW}$

Q3 la corrente è costante  $P_3 = V_{CE3} I_L = 5,52 * 3,79 \cdot 10^{-3} = 20,9 \text{ mW}$

se  $v_u^* = 1,37 \text{ V}$

$$v_{b2}^* = v_u^* \frac{(R_2/2) // Z_p}{R_1 + (R_2/2) // Z_p} = 1,12 \frac{2,078}{37,078} = 0,062 \text{ V}$$

$$v_{e2}^* = v_{b2}^* \frac{h_{ie1} + R_1 // R_2 / 2}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 // \frac{R_2}{2}} = 0,062 \frac{5 + 2,078}{10 + 2,078} = 0,036 \text{ V}$$

$$v_{ce2}^* = -v_{e2}^* = 0,036 \text{ V}$$

$$i_{c2}^* = \frac{v_{b2}^* h_{fe}}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 // \frac{R_2}{2}} = \frac{0,062 \cdot 300}{12,078} = 1,54 \text{ mA}$$

Q2  $P_2 = V_{CE2} I_{c2} + \frac{v_{ce2}^* i_{c2}^*}{2} =$   
 $= 7,7 * 1,9 \cdot 10^{-3} - \frac{0,036 \cdot 1,54 \cdot 10^{-3}}{2} =$   
 $= 14,63 \cdot 10^{-3} - 0,028 \cdot 10^{-3} = 14,6 \text{ mW}$

Q1  $v_{ce1}^* = v_u^* - v_{e1}^* = 1,12 + 0,036 = 1,156$

$$i_{c1}^* = -i_{c2}^* = -1,54 \text{ mA}$$

$$P_1 = V_{CE1} I_{c1} + \frac{v_{ce1}^* i_{c1}^*}{2} =$$

$$= 7,7 * 1,9 \cdot 10^{-3} - \frac{1,156 \cdot 1,54 \cdot 10^{-3}}{2} = (14,63 - 0,89) \cdot 10^{-3} = 13,74 \text{ mW}$$

massima ampiezza dell'oscillazione

5

$$|i_{c1}^*| = |i_{c2}^*|$$

Verifichiamo il limite dovuto all'interdizione di  $Q_1$  e  $Q_2$

$$|i_{c2}^*| = \frac{v_{b2}^* h_{fe}}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 \parallel \frac{R_2}{2}}$$

$$\text{se } i_{c2}^* = 1,9 \text{ mA}$$

$$v_{b2}^* = 0,076 \text{ V}$$

$$v_{b2}^* = \frac{v_u^* \frac{R_2 \parallel Z_p}{2}}{R_1 + \frac{R_2 \parallel Z_p}{2}}$$

$$\Rightarrow v_u^* = 1,356 \text{ V}$$

$$\text{se } v_u^* = 1,356 \text{ V}$$

$$v_{e2}^* = v_{b2}^* \frac{h_{ie1} + R_1 \parallel \frac{R_2}{2}}{h_{ie1} + h_{ie2} + R_1 \parallel \frac{R_2}{2}} = 0,044 \text{ V}$$

$$v_{ce2}^* = -v_{e2}^* = -0,044 \text{ V} \quad |v_{ce2}^*| < V_{CE2} \quad Q_2 \text{ non in saturazione}$$

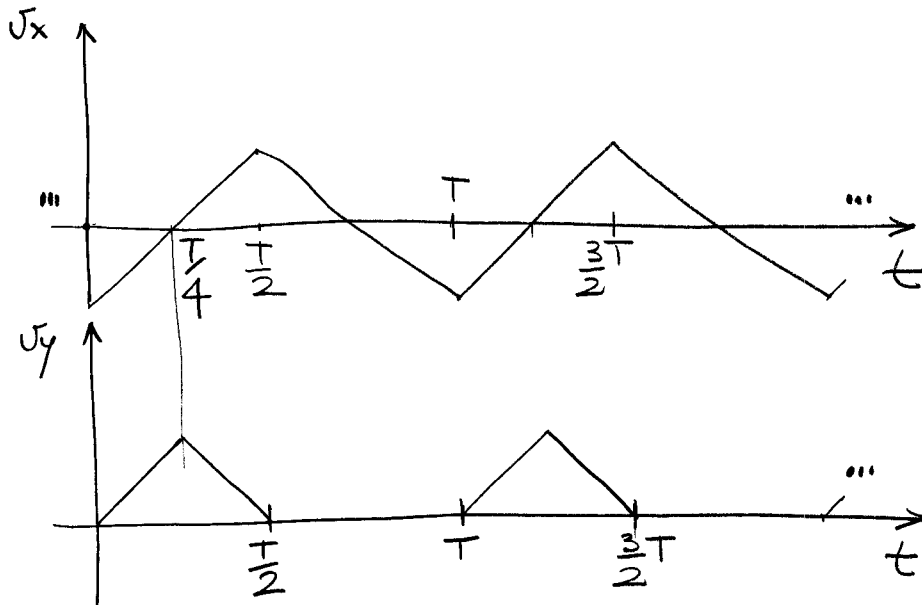
$$v_{ce1}^* = v_u^* - v_{e2}^* = 1,356 + 0,044 = 1,4 \text{ V} < V_{CE1} \quad Q_1 \text{ non ve in saturazione}$$

$$v_{ce3}^* = v_{c3}^* - v_{e3}^* = v_{e2}^* = 0,044 \text{ V} < V_{CE3} \quad Q_3 \text{ non ve in saturazione}$$

$$\text{Massima ampiezza } \underline{v_u = 1,356 \text{ V}}$$

# Esercizio B

Le forme d'onda necessarie per ottenere la figura di Lissajous richiesta sono



Una possibile soluzione è la seguente:

