

**PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I**  
**6 Giugno 2003**

**Esercizio A:**

Si progetti, utilizzando il transistor 2N4957, un amplificatore che amplifichi un segnale radio alla frequenza di 250 MHz, di potenza disponibile pari a  $100 \mu\text{W}$ , proveniente da un'antenna di impedenza pari a  $75 \Omega$ . Si chiede che l'amplificatore fornisca  $10 \text{ mW}$  al suo carico, anch'esso di  $75 \Omega$ . In particolare:

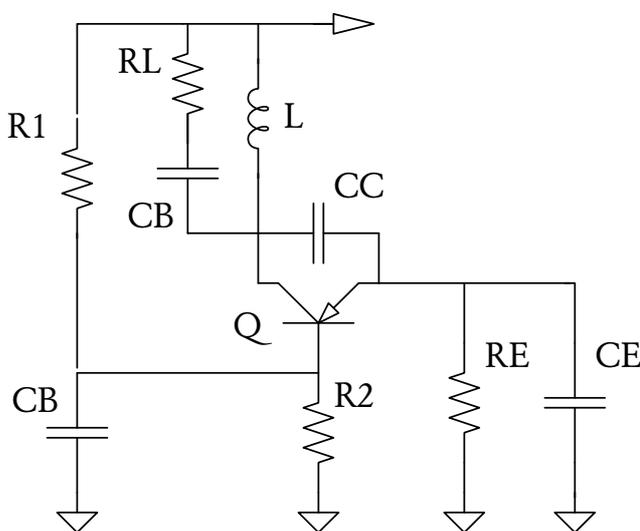
1. si progettino le reti di adattamento di ingresso e di uscita.
2. si disegni lo schema complessivo del circuito e si dimensionino i componenti resistivi della rete di polarizzazione.

Come parametri del transistor si usino i seguenti (configurazione CE,  $f = 250 \text{ MHz}$ ,  $V_{CE} = -10 \text{ V}$ ,  $I_C = -2 \text{ mA}$ ):

$$\begin{aligned} y_{ie} &= 4 + j8 \text{ mS} \\ y_{fe} &= 50 - j27 \text{ mS} \\ y_{oe} &= 0.1 + j1.8 \text{ mS} \\ y_{re} &= -0.05 - j0.6 \text{ mS} \end{aligned}$$

**Esercizio B:**

$Q : 2N4957$   
 $V_{CC} = -12 \text{ V}$   
 $R_1 = 9.3 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 2.7 \text{ k}\Omega$   
 $R_E = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_L = 1.2 \text{ k}\Omega$   
 $C_B = 20 \text{ nF}$   
 $C_C = 40 \text{ pF}$   
 $C_E = 7 \text{ pF}$



Calcolare, se esiste, il valore dell'induttanza  $L$  in corrispondenza del quale il circuito in figura si comporta come un oscillatore con frequenza di innesco pari a  $90 \text{ MHz}$ .

**Soluzione dell'esercizio A:**

1. Il 2N4957, alla frequenza di 250 MHz, è potenzialmente instabile (si può verificarlo calcolando il fattore di Linvill). Occorrerà dunque verificare che il fattore di Stern  $k$  sia maggiore di 1.

La specifica sulla potenza di uscita impone il guadagno di trasduttore. Infatti

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AS}} = \frac{10 \text{ mW}}{100 \text{ } \mu\text{W}} = 100 \quad [20 \text{ dB}]$$

Dalle caratteristiche del transistor (fig. 7) si ricava che un tale  $G_T$  si ottiene, a 250 MHz, quando  $k = 10$ . Basterà quindi scegliere  $Y_{SV}$  ed  $Y_{LV}$  seguendo le figg. 9–12, e sintetizzare le reti di adattamento di conseguenza.

In particolare, le due reti di adattamento devono compiere le seguenti trasformazioni:

- rete 1 (ingresso), procedendo dal generatore verso l'amplificatore:  $13.3 \text{ mS} \Rightarrow 47 - j27 \text{ mS}$  (in discesa, parallelo  $\Rightarrow$  serie)

$$Q_p = \sqrt{\frac{75}{\text{Re}(y_{SV}^{-1})} - 1} = 1.92$$

$$C_p = \frac{Q_p}{\omega R_p} = 16.3 \text{ pF}, \quad C_s = C_p \frac{1 + Q_p^2}{Q_p^2} = 20.7 \text{ pF}$$

$$x_{C_s} = -\frac{1}{\omega C_s} = -30.7 \Omega$$

$$L_s = \frac{\text{Im}(y_{SV}^{-1}) - x_{C_s}}{\omega} = 25.4 \text{ nH}$$

La rete è quindi costituita da un condensatore  $C_p$  in parallelo al generatore di ingresso, e da un'induttanza  $L_s$  in serie.

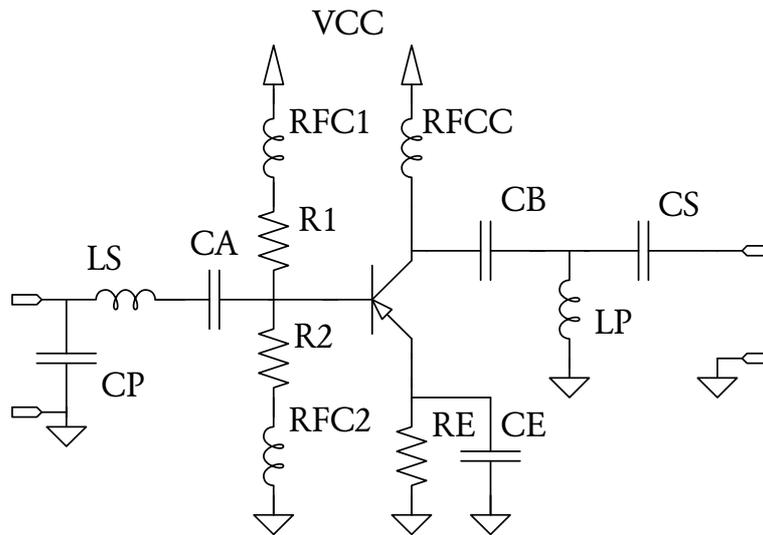
- rete 2 (uscita), procedendo dal carico verso l'amplificatore:  $13.3 \text{ mS} \Rightarrow 1.6 - j2.5 \text{ mS}$  (in salita, serie  $\Rightarrow$  parallelo)

$$Q_s = \sqrt{\frac{\text{Re}(y_{LV})^{-1}}{75} - 1} = 2.71, \quad C_s = \frac{1}{Q_s \omega R_s} = 3.13 \text{ pF}$$

$$C_p = \frac{Q_s^2}{1 + Q_s^2} = 2.76 \text{ pF}, \quad b_{C_p} = \omega C_p = 4.33 \text{ mS}$$

$$L_p = \frac{1}{\omega(b_{C_p} + b_{LV})} = 93.2 \text{ nH}$$

La rete è quindi costituita da un condensatore  $C_s$  in serie al carico, e da un'induttanza  $L_p$  in parallelo.



2. La rete complessiva è data in figura. Si noti in particolare il condensatore  $C_A$  in serie ad  $L_s$ , necessario per evitare che una tensione continua finisca sul generatore, ed il condensatore  $C_B$ , necessario per impedire che  $V_{CC}$  si cortocircuita a massa tramite  $RFCC$  ed  $L_p$ .

Per il calcolo della rete di polarizzazione, si può partire scegliendo  $V_{CC}$  pari ad un valore tipico  $-12\text{ V}$ . Si valuta subito  $V_E = V_{CC} - V_{CE} = -2\text{ V}$ , e quindi  $R_E = V_E/I_E \approx 1\text{ k}\Omega$ . Per la corretta polarizzazione del transistor è necessario che  $V_B = V_E + V_{BE,on} = -2.7\text{ V}$ . Sotto l'ipotesi di partitore pesante, è possibile calcolare  $V_B$  semplicemente come

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Affinché l'ipotesi di partitore pesante sia verificata basta scegliere  $R_1 + R_2$  abbastanza piccolo, ad es.  $12\text{ k}\Omega$ , da cui si ricava  $R_1 = 9.3\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2.7\text{ k}\Omega$ . La verifica è immediata:

$$|I_{R_1}| \approx \frac{|V_{CC}|}{R_1 + R_2} = 1\text{ mA} \ll |I_B| < \frac{|I_C|}{h_{FE,min}} = 0.1\text{ mA}$$

### Soluzione dell'esercizio B:

Il transistor è polarizzato a  $I_C = -2\text{ mA}$ ,  $V_{CE} = -10\text{ V}$  (per i calcoli si veda l'esercizio A). Alla radiofrequenza, i condensatori  $C_B$  sono dei cortocircuiti, ed il transistor è quindi in configurazione CB. I parametri  $y$  si possono ricavare dalle caratteristiche (figg. 33–40) e valgono circa

$$\begin{aligned} y_{ib} &= 56 - j8\text{ mS} \\ y_{fb} &= -56 + j8\text{ mS} \\ y_{ob} &= j0.8\text{ mS} \\ y_{rb} &= -j0.1\text{ mS} \end{aligned}$$

Affinché un'oscillazione si inneschi a  $90\text{ MHz}$ , è necessario che la fase del  $\beta A$  si annulli a quella frequenza, e che il suo modulo sia maggiore di uno. il  $\beta A$  si calcola rapidamente notando che l'effetto di  $C_C$  può essere considerato calcolando i parametri  $y$  di un quadripolo "esteso"

comprendente  $Q$  reazionato mediante  $C_C$ :

$$\begin{aligned}y_{it} &= y_{ib} + j\omega C_C = 56 + j14.6 \text{ mS} \\y_{ft} &= y_{fb} - j\omega C_C = -56 - j14.6 \text{ mS} \\y_{ot} &= y_{ob} + j\omega C_C = j23.4 \text{ mS} \\y_{rt} &= y_{rb} - j\omega C_C = -j22.7 \text{ mS}\end{aligned}$$

e che inoltre

$$y_s = \frac{1}{R_E} + j\omega C_E = 1 + j3.96 \text{ mS}, \quad y_l = \frac{1}{R_L} - j\frac{1}{\omega L} = 0.83 - jB_L \text{ mS}$$

In definitiva, occorre imporre che

$$\angle \left[ \frac{y_{rt}y_{ft}}{(y_l + y_{ot})(y_s + y_{it})} \right] = 0 \Rightarrow \frac{\text{Re}(y_{rt}y_{ft})}{\text{Im}(y_{rt}y_{ft})} = \frac{\text{Re}((y_l + y_{ot})(y_s + y_{it}))}{\text{Im}((y_l + y_{ot})(y_s + y_{it}))}$$

Sostituendo i valori prima calcolati si ottiene un'equazione lineare in  $B_L$ , che conduce alla soluzione  $L = 186 \text{ nH}$ . Occorre infine calcolare  $|\beta A(90 \text{ MHz})| \approx 1.57$  che, essendo maggiore di uno, garantisce l'innescio.