ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI

31/05/93

L'impedenza di antenna di un ricevitore è pari a 200 Ω e la potenza disponibile del segnale radio alla frequenza di 200 MHz è pari a 100 μW.

a) Utilizzando il transistore bipolare 2N4957, progettare un amplificatore che, pilotato dal suddetto segnale, eroghi su un carico di 50 Ω una potenza pari a 100 mW.

b) Calcolare il guadagno operativo di potenza.

c) Unilateralizzare il transistore usando un'impedenza opportuna (da calcolare), e valutare la potenza di uscita (senza modificare gli altri parametri del circuito).

d) Calcolare la massima potenza che si può avere in uscita utilizzando il transistore unilateralizzato.

Soluzione. 31/5/83

1) Il guadagno di trasduttore richiesto è

$$G_T = \frac{P_L}{P_{Ain}} = 1000 \quad [30\,dB]$$

Dalla fig 7 delle caratteristiche si ricava il valore corrispondente di K

$$K = 2$$

Dalle figure 8-12 si ricavano i valori di Y_{SV} e Y_{LV} che, con $K=2$, massimizzano G_T e lo rendono pari a 30dB.

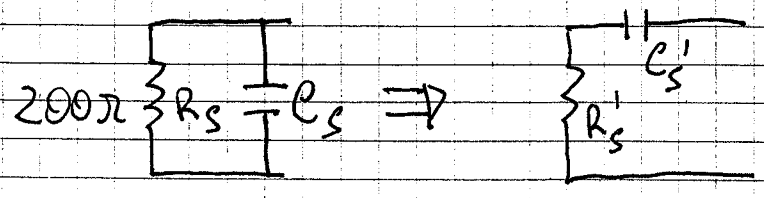
$Y_{LV} = 0.67 - 2.4j$ mS $\qquad Z_{LV} = 108 + 387j\ \Omega$

$Y_{SV} = 17.5 - 27.5j$ mS $\qquad Z_{SV} = 16.5 + 25.9j\ \Omega$

Si progettano le reti di adattamento di ingresso e di uscita.

Ingresso

Bisogna effettuare una trasformazione di resistenza in discesa ($R_{SV} < R_S$), pertanto si parte da una configurazione R-C parallelo che, trasformata nell'equivalente serie, origina una resistenza minore di R.



$R_S' = R_{SV} = 16.5\,\Omega$

$$R_S' = \frac{R_S}{1+Q_P^2}$$

Si ricava

$$Q_P = \sqrt{\frac{R_S - R_S'}{R_S'}} = 3.33$$

Da

$Q_P = \omega_0 R_S C_S$ si ricava

$C_S = 13.2\ pF$

pertanto risulta

$$C_S' = \frac{C_S\,(1+Q_P^2)}{Q_P^2} = 14.4\,pF$$

Bisogna aggiungere in serie a C_S' una reattanza X_S' :

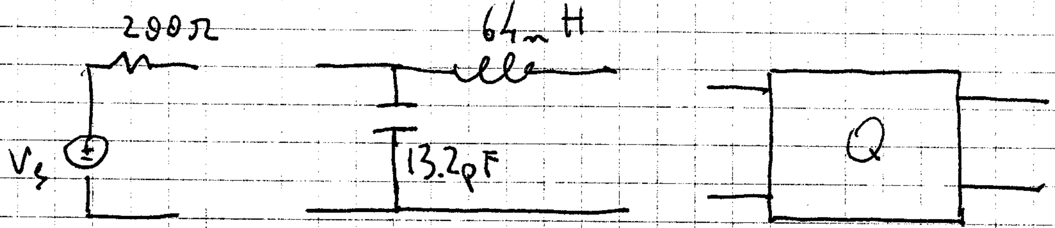
$$X_S' - \frac{1}{\omega_0 C_S'} = X_{SV} = 25.3\,\Omega$$

$$X_S' = 81.2\ \Omega$$

Ovvero un' induttanza di valore

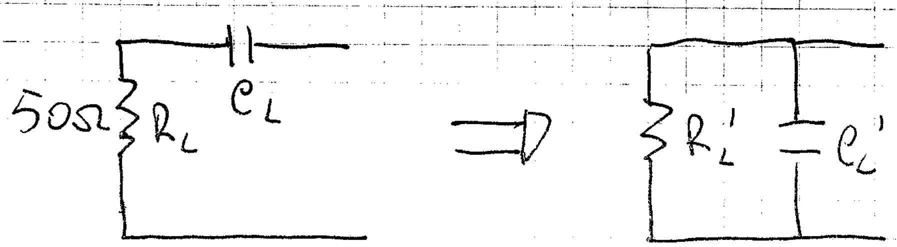
$$L_S' = 64\ nH$$

La rete di adattamento di ingresso è



<u>Uscita</u>

Bisogna effettuare una trasformazione in salita ($R_{LV} > R_L$), pertanto si parte da una configurazione R-C serie che, trasformata nell' equivalente parallelo origina una resistenza maggiore di R



Deve risultare

$$R_L' = \frac{1}{G_{LV}} = 1490\Omega$$

Poiché

$$R_L' = R_L\,(1+Q_S^2)$$

si ricava Q_S :

$$Q_s = \sqrt{\frac{R_L' - R_L}{R_L}} = 5.36$$

Pertanto risulta

$$C_L = \frac{1}{\omega_0 Q_s R_L} = 2.96\ pF$$

$$C_L' = C_L \frac{Q_s^2}{1+Q_s^2} = 2.86\ pF$$

C_L' rappresenta una suscettanza pari a

$$B_L' = \omega_0 C_L' = 3.6\ mS$$

Poiché deve essere

$$B_{Lv} = -2.4\ mS$$

si aggiunge in parallelo una suscettanza B_{Lx}:

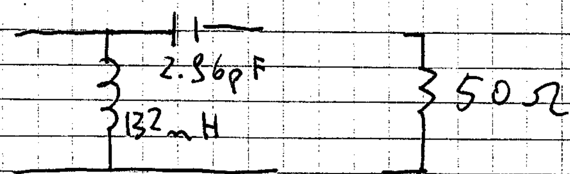
$$B_{Lx} + B_L' = -2.4 \cdot 10^{-3}$$

$$B_{Lx} = -6\ mS$$

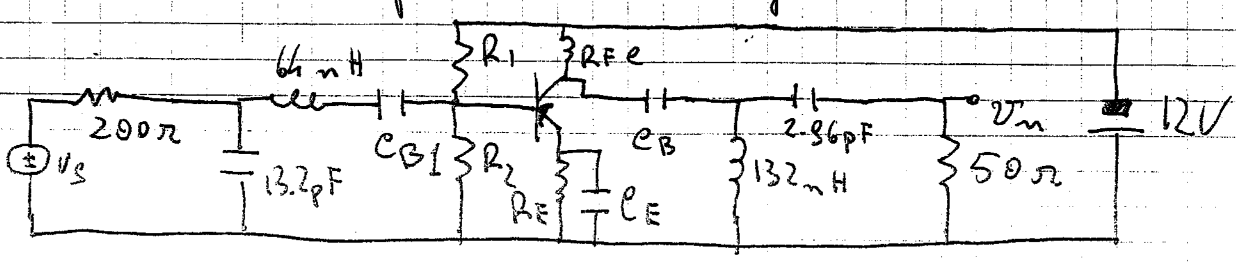
Si tratta di una induttanza

$$L_L = 132\ nH$$

La rete di adattamento di uscita è



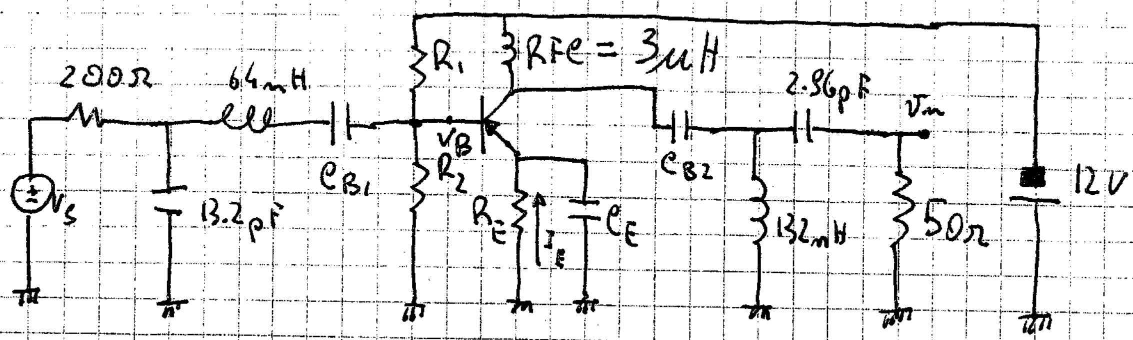
Il circuito completo è il seguente



$R_E = 1\ k\Omega$ $\quad V_B = -2.7\ V$ $\quad R_2 = 13.5\ k\Omega$ $R_1 = 46.5\ k\Omega$

$\frac{1}{\omega C_{B1}} < \frac{|Z_{sv}|}{10} = 3\Omega \Rightarrow C_{B1} = 270\ pF$ $\quad \frac{1}{\omega C_{B2}} < \frac{|Z_{Lv}|}{10} = 40\Omega \Rightarrow C_{B2} = 27\ pF$ $\quad C_E = 1\ nF$

Il circuito completo è il seguente:



R_1, R_2, R_E devono essere scelti in modo da ottenere $V_{CE} = -10$ $I_C \simeq I_E = 2\ mA$

$V_{CE} = V_{CC} - V_E \Rightarrow V_E = -2\ V \Rightarrow R_E = \dfrac{V_E}{I_E} = 1\ K\Omega$

C_E si sceglie in modo da ottenere una reattanza di qualche Ω alla frequenza di lavoro

$$\frac{1}{\omega C_E} \simeq 1\ \Omega \Rightarrow C_E = 0.8\ nF$$

C_{B1} e C_{B2} sono scelti in modo da rispettare le seguenti condizioni

$$\frac{1}{\omega C_{B1}} < \frac{|Z_{SV}|}{10} \Rightarrow C_{B1} > 270\ pF$$

$$\frac{1}{\omega C_{B2}} < \frac{|Z_{LV}|}{10} \Rightarrow C_{B2} < 27\ pF$$

Poiché il valore tipico di h_{FE} è 40, la corrente I_B risulterà di $50\ \mu A$.

R_1 e R_2 vengono scelte in modo che la caduta sul gruppo $R_1 \| R_2$ sia $< \dfrac{|V_B|}{10} = 0.27\ V$

$R_1 \| R_2 \cdot I_B < 0.27\ V$

$R_1 \| R_2 < 5.4\ K\Omega$ $\qquad R_2 = 5.4\ K\Omega$ $\qquad R_1 = 18.6\ K\Omega$

Poiché $R_1 \| R_2 \simeq 4\ K\Omega << \left|\dfrac{1}{Y_1}\right| = 35\ \Omega$, non è necessario utilizzare le induttanze di blocco in serie a R_1 e R_2.

2) Il guadagno operativo di potenza è

$$G_P = \frac{|Y_F|^2 \, G_{LV}}{|Y_{LV}+Y_O|^2 \, G_1}$$

Dove G_1 è la conduttanza di ingresso che deve, quindi, essere calcolata.

I parametri y del transistore sono:

$Y_I = 2.7 + 6.6 j \ mS$ $\quad$ $Y_O = 0.15 + 1.5 j \ mS$

$Y_F = 54 - 22.5 j \ mS$ $\quad$ $Y_R = -0.48 j \ mS$

Risulta

$$Y_1 = Y_I - \frac{Y_F Y_R}{Y_O + Y_{LV}}$$

$Y_F Y_R = -10.8 - 25.9 j$ $\quad$ $|Y_F|^2 = 3422$

$Y_O + Y_{LV} = 0.82 - 0.9 j$ $\quad$ $|Y_O + Y_{LV}|^2 = 1.48$

$$Y_1 = 2.7 + 6.6 j + \frac{(10.8 + 25.9 j)(0.82 + 0.9 j)}{1.48} =$$

$$= 2.7 + 6.6 j + (-9.7 + 20.9 j) =$$

$$= -7 + 27.5 j \ mS$$

[Si noti che, come previsto, $B_1 = -B_{SV}$]

$$G_P = -221$$

Il guadagno operativo di potenza risulta negativo poiché la potenza di ingresso è negativa in quanto $G_1 < 0$.

31/5/93 6

Parametri y

$y_I = 2.7 + 6.6j \ mS$ $\quad$ $y_O = 0.15 + 1.5j \ mS$

$y_F = 54 - 22.5j \ mS$ $\quad$ $y_R = -0.48j \ mS$

Una induttanza posta tra ingresso e uscita permette di neutralizzare il quadripolo attivo. L'ammettenza da usare è

$$y_x = y_R = -0.48j \ mS$$

ovvero una induttanza di valore

$$L_x = 1.66 \ \mu H$$

La potenza nel carico si calcola facilmente una volta noto il guadagno di trasduttore che, in queste condizioni vale:

$$G_{TU} = \frac{4 G_{SV} G_{LV} |y_{Ft}|^2}{|(y_{It} + y_{SV})(y_{Ot} + y_{LV})|^2}$$

dove

$$y_{Ft} = y_F - y_x = 54 - 22.02j \ mS \qquad |y_{Ft}| = 58.3 \ mS$$

$$y_{It} = y_F + y_x = 2.7 + 6.12j \ mS$$

$$y_{Ot} = y_O + y_x = 0.15 + 1.02j \ mS$$

$$G_{TU} = \frac{1.59 \cdot 10^5}{|(20.2 - 21.38j)(0.82 - 1.38j)|^2} = \frac{1.59 \cdot 10^5}{[865] \cdot [2.58]} = 71$$

Poiché

$$P_L = P_{A\,in} \cdot G_{TU}$$

e $P_{A\,in}$ non viene modificata dall'aggiunta di y_x, si ottiene

$$P_L = 7.1 \ mW$$

La potenza di uscita risulta fortemente ridotta poiché l'ingresso e l'uscita sono disadattati.

4) Il massimo della potenza di uscita si ha adattando le terminazioni di ingresso e di uscita, ovvero scegliendo Y_{SV} e Y_{LV} pari a

$$Y_{SV} = Y_{It}^* = 2.7 - 6.12j \ mS$$

$$Y_{LV} = Y_{Ot}^* = 0.15 - 1.02j \ mS$$

In tal caso risulta

$$G_{TU\,MAX} = \frac{4 \cdot 2.7 \cdot 0.15 \cdot [58.3]^2}{[5.4 \cdot 0.3 \quad]^2} = 2098$$

e la potenza di uscita

$$P_{L\,MAX} = P_{Ain} \, G_{TU\,MAX} = 209.8 \, mW.$$