PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I
26 Giugno 2003

Esercizio A:

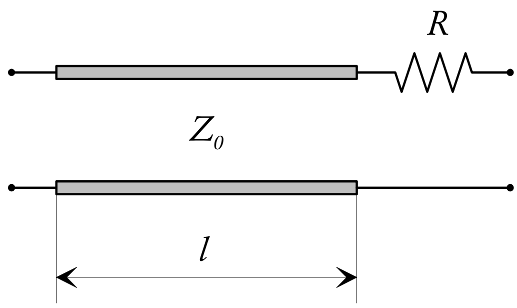
1. Si progetti, utilizzando il transistore 2N4957, un amplificatore alla frequenza di 200 MHz, sapendo che sia il carico sia l'impedenza interna del generatore di ingresso valgono 50 Ω, in modo che:

- **a.** la cifra di rumore dell'amplificatore sia minima;
- **b.** la potenza sul carico (assegnato il vincolo sulla cifra di rumore) sia massima.

2. Si supponga di usare l'amplificatore cosí progettato come amplificatore a RF in un ricevitore eterodina con frequenza intermedia di 10 MHz. All'antenna siano presenti due segnali, uno alla frequenza di lavoro, uno alla frequenza immagine, ed entrambi abbiano una potenza disponibile pari a 1 nW. Quant'è la potenza sul carico relativa all'uno ed all'altro dei segnali? (si consideri la banda dei segnali trascurabile, ed i parametri del transistore indipendenti dalla frequenza).
Come parametri del transistore si usino i seguenti (configurazione CE, $V_{CE} = -10\,\mathrm{V}$, $I_C = -5\,\mathrm{mA}$):

$$\begin{aligned} y_{ie} &= 7 + j5\,\mathrm{mS} \\ y_{fe} &= 40 - j50\,\mathrm{mS} \\ y_{oe} &= 0.1 + j1.5\,\mathrm{mS} \\ y_{re} &= 0\,\mathrm{mS} \end{aligned}$$

Esercizio B:



Calcolare i parametri S_{11} ed S_{21} del quadripolo in figura alla frequenza di 1 GHz, sapendo che $Z_0 = 50\,\Omega$, $R = 100\,\Omega$, $l = 1\,\mathrm{m}$, e che il tratto di linea si trova in aria.

Soluzione dell'esercizio A:

1. Il transistore è unilaterale ($y_{re} = 0$) e non ci sono quindi problemi di stabilità. Si possono quindi scegliere liberamente le terminazioni di ingresso e di uscita. In particolare, per minimizzare la cifra di rumore (specifica **a.**) si sfrutta la fig. 6 delle caratteristiche, da cui si evince che la cifra di rumore, per $I_C = 5\,\mathrm{mA}$, è minima quando $z_{SV} = 150\,\Omega \Rightarrow y_{SV} = 6.67\,\mathrm{mS}$, valore per il quale $NF = 2.5\,\mathrm{dB}$.

La potenza sul carico alla frequenza di lavoro è massima quando il G_T è massimo. Dato che la terminazione di ingresso è già fissata, per massimizzare G_T posso agire solo sulla terminazione di uscita, imponendo l'adattamento coniugato. Dovrà essere dunque $y_{LV} = y_2^\star = y_{oe}^\star = 0.1 - j1.5\,\mathrm{mS}$.

Le due reti di adattamento devono quindi compiere le seguenti trasformazioni:

- rete 1 (ingresso), procedendo dal generatore verso l'amplificatore: $20\,\mathrm{mS} \Rightarrow 6.67\,\mathrm{mS}$ (in salita, serie $\Rightarrow$ parallelo)

$$Q_s = \sqrt{\frac{\mathrm{Re}(y_{LV})^{-1}}{50} - 1} = 1.414, \quad C_s = \frac{1}{Q_s \omega R_s} = 11.25\,\mathrm{pF}$$

$$C_p = \frac{Q_s^2}{1+Q_s^2} = 7.50\,\mathrm{pF}, \quad b_{C_p} = \omega C_p = 9.43\,\mathrm{mS}$$

$$L_p = \frac{1}{\omega b_{C_p}} = 84.40\,\mathrm{nH}$$

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

- rete 2 (uscita), procedendo dal carico verso l'amplificatore: $20\,\mathrm{mS} \Rightarrow 0.1 - j1.5\,\mathrm{mS}$ (in salita, serie $\Rightarrow$ parallelo)

$$Q_s = \sqrt{\frac{\mathrm{Re}(y_{LV})^{-1}}{50} - 1} = 14.11, \quad C_s = \frac{1}{Q_s \omega R_s} = 1.13\,\mathrm{pF}$$

$$C_p \approx C_s \quad b_{C_p} = \omega C_p = 1.42\,\mathrm{mS}$$

$$L_p = \frac{1}{\omega(b_{C_p} - b_{LV}} = 273.4\,\mathrm{nH}$$

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

2. Per avere $f_{IF} = 10\,\mathrm{MHz}$, la frequenza dell'oscillatore locale f_{OL} deve valere 210 MHz. La frequenza immagine f_{IM} sarà quindi a 220 MHz.

La potenza sul carico relativa al segnale utile si calcola facilmente come

$$P_L = G_T \cdot P_{AS} = 1291 \cdot 1\,\mathrm{nW} = 1.291\,\mu\mathrm{W}$$

Per quando riguarda quella alla frequenza immagine, si può calcolare allo stesso modo, solo notando che il guadagno di trasduttore sarà diverso, poichè diverse sono $y_{SV} = 7.54 + j1.12\,\mathrm{mS}$, e $y_{LV} = 0.12 - j1.10\,\mathrm{mS}$. In queste nuove condizioni

$$P_L = G_T \cdot P_{AS} = 281 \cdot 1\,\mathrm{nW} = 0.281\,\mu\mathrm{W}$$

.

Soluzione dell'esercizio B:

S_{11}. S_{11} è il coefficiente di riflessione visto sulla porta di ingresso quando l'uscita è chiusa sull'impedenza di normalizzazione $Z_0 = 50\,\Omega$. Vale, per le formule di trasformazione dei coefficienti di riflessione,

$$S_{11} = \Gamma_2' e^{j\frac{-4\pi l}{\lambda}}$$

dove Γ_2' è il coefficiente di riflessione visto verso destra a valle della linea, e $\lambda = \frac{c}{f} = 30\,\text{cm}$. Poiché $Z_2' = 150\,\Omega$, si trova subito $\Gamma_2' = \frac{Z_2' - Z_0}{Z_2' + Z_0} = 0.5$, e quindi

$$S_{11} = 0.5e^{-j40\pi/3} = 0.5e^{-j4\pi/3} = 0.5\angle 120°$$

S_{21}. Si può procedere in questo modo: dalla definizione,

$$S_{21} = \left.\frac{V_2 - Z_0 I_2}{V_1 + Z_0 I_1}\right|_{V_2 = -Z_o I_2} = \frac{2V_2}{V_1 + Z_0 I_1} = \frac{2V_2}{V_1} \frac{1}{1 + Z_0/Z_{in}}$$

dove Z_{in} è l'impedenza vista in ingresso alla linea, e vale $21.4 + j24.7\,\Omega$. Se diciamo V_2' la tensione all'uscita della linea, è immediato trovare:

$$V_2' = \frac{100 + 50}{50} V_2 = 3V_2 \quad \Rightarrow \quad S_{21} = \frac{2}{3} \frac{V_2'}{V_1} \frac{1}{1 + Z_0/Z_{in}}$$

Il rapporto tra le tensioni ai capi della linea è dato da

$$\frac{V_2'}{V_1} = \frac{V_2^+ + V_2^-}{V_2^+ e^{j\beta l} + V_2^- e^{-j\beta l}} = \frac{1 + \Gamma_2'}{e^{j20\pi/3} + \Gamma_2' e^{-j20\pi/3}} = \frac{1.5}{e^{j2\pi/3} + 0.5e^{-j2\pi/3}}$$

Sostituendo i valori numerici si trova infine:

$$S_{21} = 0.5\angle -120°$$