

## Amplificatore a BJT con parametri S. Adattamento con linee di trasmissione

Questo procedimento è migliore di quello con adattamento a trasformatori “lambda quarti” poiché non vi è nessuna imposizione sulla impedenza caratteristica dei tratti di adattamento. Nell’adattamento con trasformatori “lambda quarti” si trovano valori dell’impedenza caratteristica quasi sempre non realizzabili con tratti di circuito stampato.

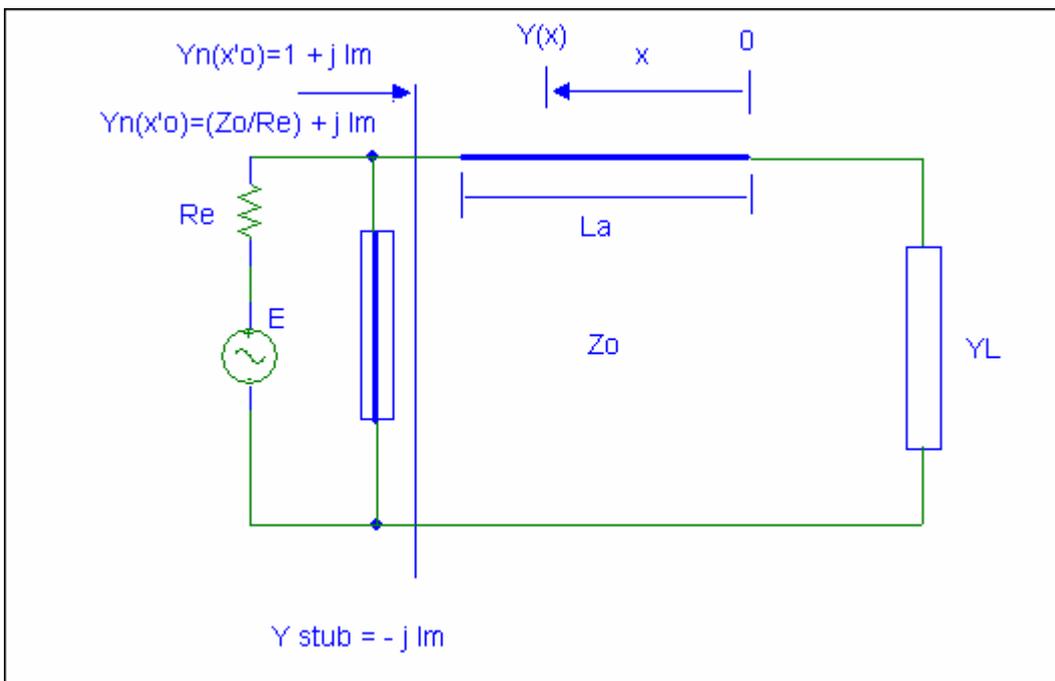
Voglio ottenere l’adattamento coniugato in ingresso e in uscita di un transistor per alta frequenza rappresentato con i parametri S.

L’adattamento coniugato si ottiene quando il generatore equivalente in ingresso vede una impedenza coniugata (stessa parte reale e parte immaginaria uguale ed opposta) a quella sua interna; in uscita il quadripolo (BJT) vede una impedenza di carico coniugata alla sua impedenza di uscita. Lo stesso discorso vale per le ammettenze.

In seguito userò solo ammettenze per la facilità dei calcoli nel parallelo delle stesse. Non è sempre possibile ottenere l’adattamento coniugato sia in ingresso che in uscita, la situazione è complicata dal fatto che l’ammettenza d’ingresso del quadripolo dipende dal carico in uscita e l’ammettenza di uscita del quadripolo dipende da quella del generatore equivalente d’ingresso.

Per ottenere l’adattamento coniugato ho retroazionato il quadripolo (BJT) con una ammettenza  $Y_f$ , per avere un parametro in più su cui agire.

Le reti di adattamento in ingresso e in uscita sono costituite da tratti di linea di lunghezza opportuna tali che, caricati dalla ammettenza di ingresso o di uscita del BJT, presentino all’ingresso una ammettenza normalizzata con parte reale unitaria e una certa parte immaginaria compensabile con uno stub in parallelo.



Dalla formula dell'impedenza lungo una linea:

$$Z(x) = \frac{Z_L + jZ_o \tan \beta x}{1 + j \frac{Z_L}{Z_o} \tan \beta x}$$

ricavo l'impedenza normalizzata:

$$Z_n(x) = \frac{Z(x)}{Z_o} = \frac{Z_{Ln} + j \tan \beta x}{1 + j Z_{Ln} \tan \beta x}$$

e l'ammettenza normalizzata:

$$Y_n(x) = \frac{1}{Z_n(x)} = \frac{Y_{Ln} + j \tan \beta x}{1 + j Y_{Ln} \tan \beta x} = \frac{Y_{Ln} + j \tan 2\pi x'}{1 + j Y_{Ln} \tan 2\pi x'}$$

ricordando che:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\beta x = 2\pi \frac{x}{\lambda} = 2\pi x'$$

dove :

$$x' = \frac{x}{\lambda}$$

$\lambda[m] = k_v \frac{300}{f[MHz]}$ ; è la lunghezza d'onda nel mezzo in cui si propaga l'onda e.m.

Per trovare il valore di  $x'$  per cui la parte reale della ammettenza normalizzata è unitaria si fa calcolare al PC l'ammettenza normalizzata per piccoli incrementi di  $x'$  da 0 a 0.5 ( dopo  $\lambda/2$  l'ammettenza si ripete per la proprietà della tangente:

$\tan \alpha = \tan(\alpha + \pi)$ ) fino al raggiungimento della condizione desiderata

( cioè  $\text{Re}Y_n(x_o') = 1$  ).

La lunghezza del tratto di linea sarà:

$$L_A = x_o' \cdot \lambda$$

Quello che ho detto però vale solo per:  $R_E = R_L = Z_o$

Per valori di  $R_E$  e  $R_L$  diversi da  $Z_o$  bisogna cercare la condizione:  $R_e Y_n(x_o') = \frac{Z_o}{R_E}$  per

l'ingresso oppure la:  $R_e Y_n(x_o') = \frac{Z_o}{R_L}$  per l'uscita.

Lo stub è un tratto di linea in cortocircuito che presenta una ammettenza puramente reattiva, è una suscettanza pura, capacitiva o induttiva in funzione della sua lunghezza.

Facendo in modo che la suscettanza dello stub sia uguale ed opposta alla parte immaginaria della ammettenza si ottiene l'adattamento al generatore in ingresso e al carico in uscita.

Il generatore vede quindi una resistenza pari alla sua interna ( $R_e$ ) e il carico RL vede un generatore con resistenza interna uguale a RL. Si ha quindi il massimo trasferimento di energia tra generatore e carico.

Per trovare le ammettenze di ingresso e di uscita del BJT retroazionato con una ammettenza  $Y_f$ , dapprima converto i parametri S in y con le seguenti:

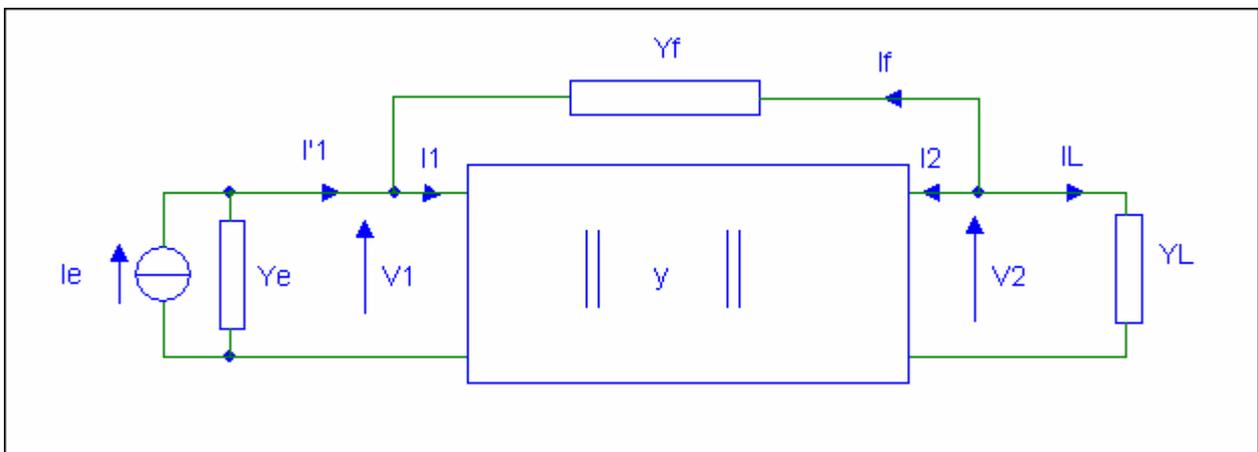
$$y_{11} = \frac{1 - S_{11} + S_{22} - \Delta S}{1 + S_{11} + S_{22} + \Delta S} \bullet \frac{1}{R_o}$$

$$y_{21} = \frac{-2S_{21}}{1 + S_{11} + S_{22} + \Delta S} \bullet \frac{1}{R_o}$$

$$y_{12} = \frac{-2S_{12}}{1 + S_{11} + S_{22} + \Delta S} \bullet \frac{1}{R_o}$$

$$y_{22} = \frac{1 + S_{11} - S_{22} - \Delta S}{1 + S_{11} + S_{22} + \Delta S} \bullet \frac{1}{R_o}$$

poi con riferimento a questa figura:



$$I'_1 = I_1 - I_f$$

$$I_f = Y_f (V_2 - V_1)$$

$$I_L = -I_2 - I_f$$

$$I_L = Y_L V_2$$

$$I_1 = y_{11} V_1 + y_{12} V_2$$

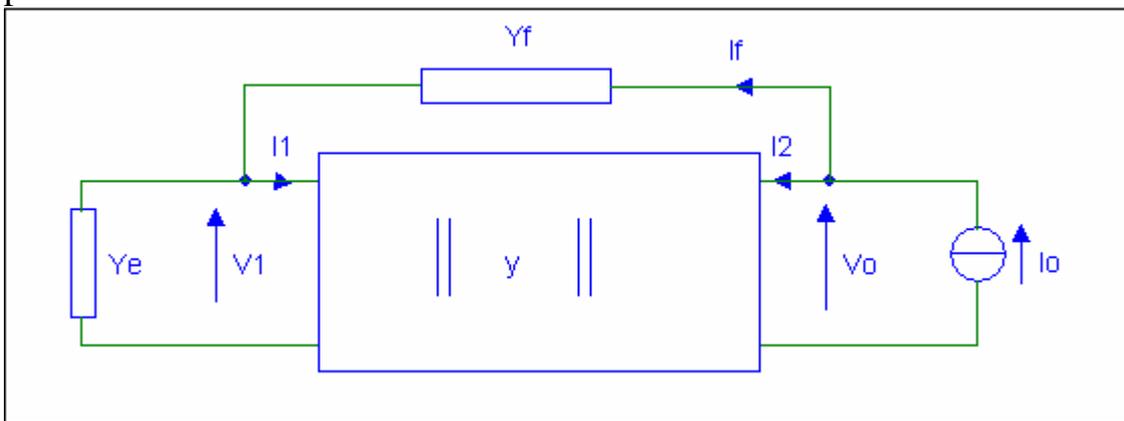
$$I_2 = y_{21} V_1 + y_{22} V_2$$

da queste ricavo:

$$\frac{V_2}{V_1} = - \frac{(y_{21} - Y_f)}{Y_L + y_{22} + Y_f}$$

$$Y'_i = \frac{I'_1}{V_1} = y_{11} + Y_f + \frac{(y_{21} - Y_f)(Y_f - y_{12})}{Y_L + y_{22} + Y_f}$$

per l'ammettenza d'uscita:



$$Y'_o = \frac{I_o}{V_o} = \frac{I_f + I_2}{V_2}$$

$$I_f = Y_f (V_2 - V_1)$$

$$Y_e V_1 = I_f - I_1$$

da queste e da quelle precedenti ricavo:

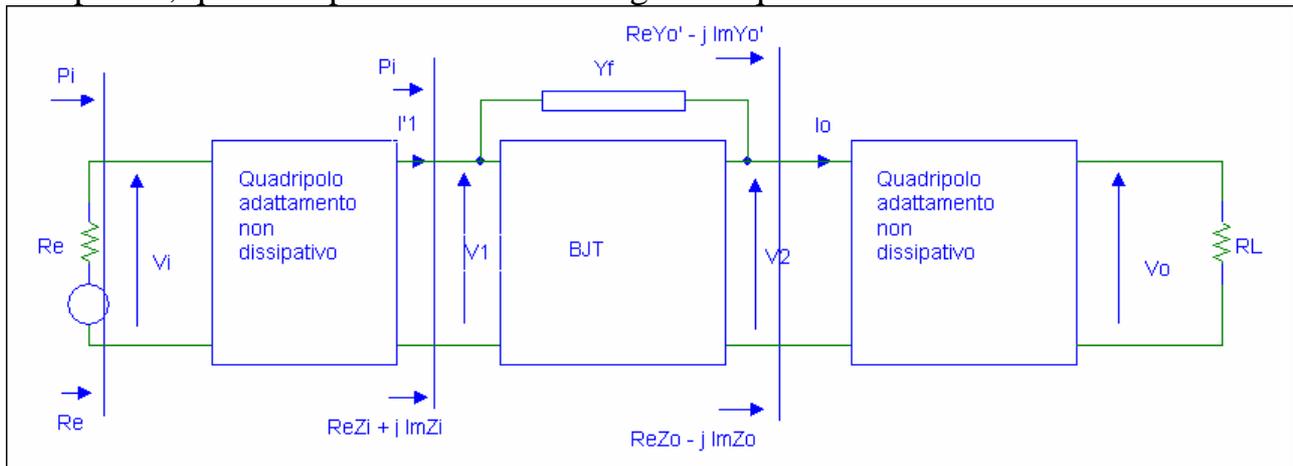
$$Y'_o = Y_f + y_{22} + \frac{(y_{21} - Y_f)(Y_f - y_{12})}{Y_e + y_{11} + Y_f}$$

Il calcolo delle ammettenze coniugate ingresso, uscita è stato fatto con un procedimento iterativo, inserendo nella formula della ammettenza d'ingresso il carico inteso come coniugato della ammettenza d'uscita e nella formula che dà l'ammettenza d'uscita l'ammettenza del generatore intesa come coniugata della ammettenza d'ingresso del quadripolo a BJT. Il calcolo viene ripetuto 100000 volte partendo da una ammettenza prossima a zero.

Poi viene effettuata una verifica dei valori trovati inserendoli nelle formule che danno l'ammettenza d'ingresso e quella d'uscita.

Per quadripolo a BJT si intende il quadripolo a parametri y del BJT retroazionato con la ammettenza  $Y_f$ , compresa.

Per il calcolo del guadagno di potenza  $G_p = P_L / P_i$  tengo conto del fatto che le linee di adattamento e gli stub possono essere considerati come un unico quadripolo non dissipativo, quindi la potenza entrante è uguale a quella uscente.



$$P_o = P_L = R_e Z_o \cdot |I_o|^2 = R_e Z_o \cdot \frac{|V_2|^2}{\text{Re}Z_o^2 + \text{Im}Z_o^2}$$

$$P_i = \text{Re}Z_i \cdot |I_i|^2 = \text{Re}Z_i \cdot \frac{|V_1|^2}{|Z_i|^2} = \text{Re}Z_i \cdot \frac{|V_1|^2}{\text{Re}Z_i^2 + \text{Im}Z_i^2}$$

Da cui ricavo:

$$G_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{\text{Re}Z_o}{\text{Re}Z_i} \cdot \left| \frac{V_2}{V_1} \right|^2 \cdot \frac{\text{Re}Z_i^2 + \text{Im}Z_i^2}{\text{Re}Z_o^2 + \text{Im}Z_o^2}$$

dove:

$$\left| \frac{V_2}{V_1} \right| = \left| \frac{y_{21} - Y_f}{Y_L + y_{22} + Y_f} \right|$$

Poiché i quadripoli di adattamento sono non dissipativi posso scrivere:

$$P_o = \frac{|V_o|^2}{R_L}$$

$$P_i = \frac{|V_i|^2}{R_e}$$

$$G_P = \frac{P_o}{P_i} = \left| \frac{V_o}{V_i} \right|^2 \bullet \frac{R_e}{R_L}$$

Mi ricavo quindi:

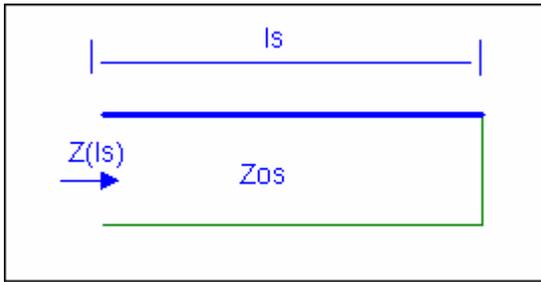
$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \sqrt{G_P \bullet \frac{R_L}{R_e}}$$

In pratica la resistenza  $R_f$  viene connessa tra collettore e base del BJT, è chiaro che dovrà essere posta in serie ad un condensatore di blocco della componente continua.

$$X_{C_B} = \frac{R_f}{1000}$$

$$C_{B[pF]} = \frac{5 \bullet 10^5}{\pi \bullet f_{[MHz]} \bullet R_{f[kohm]}}$$

Lo “Stub” è un tratto di linea in cortocircuito, se la lunghezza dello stub è  $l_s$ ,



dalla formula generale che ci dà l'impedenza lungo una linea, ricavo:

$$Z(l_s) = jZ_{os} \tan(\beta l_s)$$

l'impedenza che trovo all'ingresso dello stub è puramente reattiva e quindi lo stub si comporta come una induttanza o una capacità pura di valore dipendente dalla sua lunghezza.

Poiché lo stub viene applicato in parallelo alla linea conviene lavorare con le ammettenze, considerato che l'ammettenza di un parallelo è la somma delle ammettenze.

Gli stub applicati in ingresso e in uscita avranno lunghezza tale da presentare una suscettanza uguale ed opposta rispettivamente alla parte immaginaria della ammettenza in quel punto del circuito.

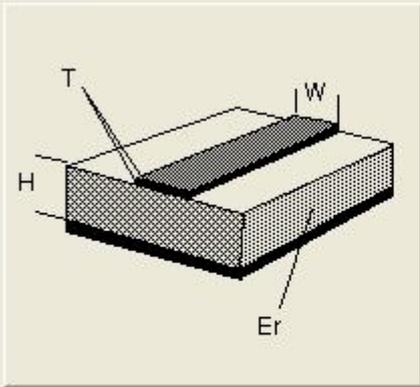
Il procedimento di calcolo della lunghezza degli stub è analogo a quello del calcolo delle linee di adattamento: si trovano i valori della ammettenza dello stub per piccoli incrementi della lunghezza dello stesso e si ferma il procedimento quando l'ammettenza dello stub è quella desiderata.

L'impedenza caratteristica  $Z_0$  della linea di adattamento e degli stub si può ricavare dalle dimensioni del microstrip con il programma RFSim99. Andare su Tools – Components – Transmission Line – Microstrip. L'unico parametro che si può cambiare è il Track Width, la larghezza della microstriscia.

# Transmission Line



Microstrip | Stripline | Co-axial cable | Flat-twin



Track Width (W)  mm

Track Thickness (T)  mm

Dielectric Thickness (H)  mm

Dielectric

Dielectric Permittivity (Er)

Notes:  
Zo Accuracy <5%

Characteristic Impedance=

Phase Velocity =