

Attenuatori

Gli attenuatori sia a Π che a T , illustrati in Fig. 1, sono dispositivi utilizzati per attenuare un segnale mantenendo l'adattamento dell'impedenza tra ingresso e uscita.

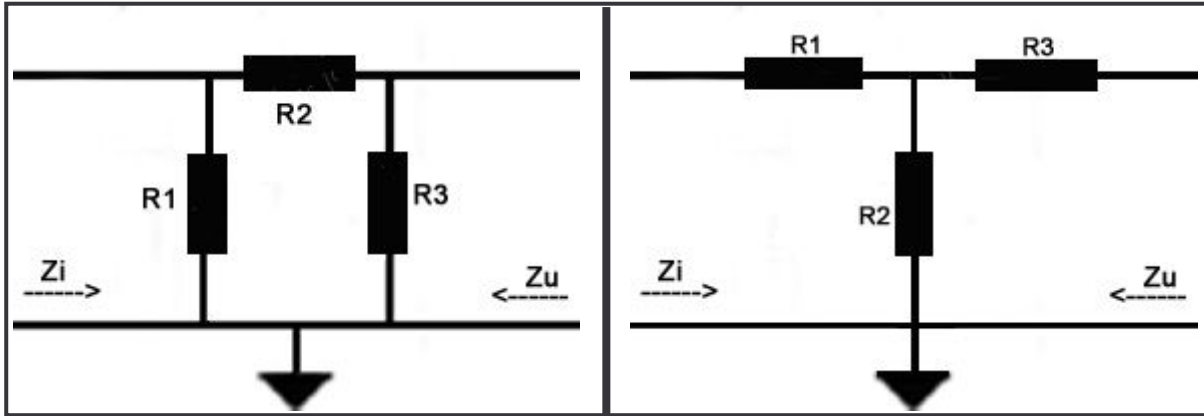


Fig. 1 - Attenuatore a Π e T

Per arrivare a determinare i valori delle resistenze $R1 - R2 - R3$ si ricorre alle teorie sui "Dipoli" per cui i circuiti di Fig. 1 diventano:

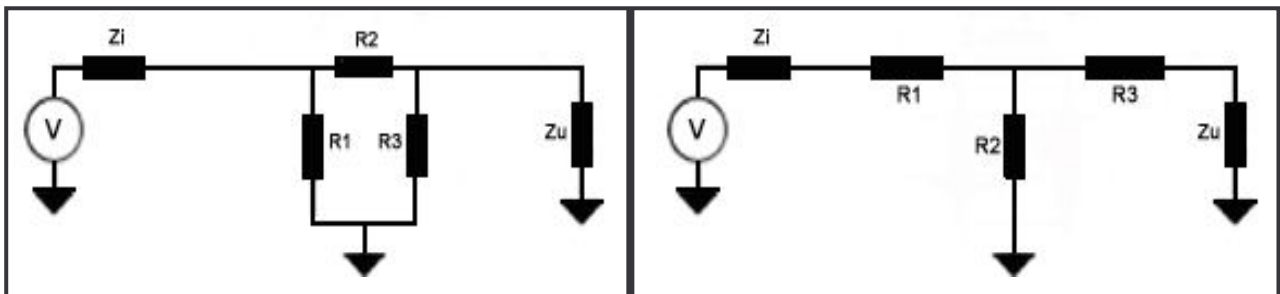


Fig. 2 Circuito Equivalente attenuatore a Π e T

Definiamo per ambedue i dipoli:

- V → Generatore Ideale di ingresso
- Z_i → Impedenza di Ingresso
- Z_u → Impedenza di Uscita
- V_i → L'ampiezza del segnale di Ingresso (tensione)
- V_u → L'ampiezza del segnale di Uscita (tensione)

Avendo definito V_i la tensione di ingresso e V_u la tensione di uscita possiamo dire, che per ambedue dipoli, chiamando A_v il rapporto in tensione tra uscita e ingresso:

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} \quad \text{da cui} \quad A_{dB} = 20 \cdot \text{Log}(A_v)$$

A questo punto possiamo calcolare i valori delle resistenze $R1 - R2 - R3$ di ciascun tipo di attenuatore., però prima di arrivare a quanto ci siamo prefissi occorre imporre che l'impedenza di ingresso Z_i sia uguale a quella di uscita Z_u e conseguentemente che anche $R1$ e $R3$ siano uguali tra loro, e per comodità imporranno che:

$$Z = Z_i = Z_u \quad R_a = R2 \quad R_b = R1 = R3$$

Calcolo Resistenze - Attenuatore a Π

Sotto le condizioni, precedentemente imposte e analizzando il relativo circuito equivalente di Fig. 2, possiamo dire che:

$$Z = Rb // (Ra + Rb // Z) \quad \text{e di conseguenza} \quad A_v = \frac{Rb // Z}{Ra + Rb // Z}$$

Sostituendo Z nella relazione A_v e risolvendo per Ra e Rb , dopo alcuni passaggi e semplificazioni, si ottiene che:

$$Ra = Z \cdot \frac{1 - A_v^2}{2 \cdot A_v} \quad \text{e} \quad Rb = Z \cdot \frac{1 + A_v}{1 - A_v}$$

esprimendo A_v anziché in Volt in dB $\rightarrow A_v = 10^{\frac{AdB}{20}}$ e andandolo a sostituire nelle due precedenti relazioni, siamo in grado di calcolare le due resistenze perché:

$Z \rightarrow$ Impedenza In/Out è un parametro che dobbiamo impostare (dato conosciuto)

$A_{dB} \rightarrow$ Attenuazione (in dB) che l'attenuatore deve fornire (dato conosciuto)

Nel caso in cui $Z_i \neq Z_u$ (conseguentemente $R1 \neq R3$) le formule per calcolare le tre resistenze sono:

$$R1 = \frac{(k-1) \cdot Z_i \cdot \sqrt{Z_u}}{(k+1) \cdot \sqrt{Z_u} - 2 \cdot \sqrt{k} \cdot Z_i}$$

$$R2 = \frac{(k-1) \cdot Z_u \cdot \sqrt{Z_i}}{(k+1) \cdot \sqrt{Z_i} - 2 \cdot \sqrt{k} \cdot Z_u}$$

$$R3 = \frac{(k-1)}{2} \cdot \sqrt{\frac{Z_i \cdot Z_u}{k}}$$

Dove:

$$k = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{2 \cdot Z_i}{Z_u} - 1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{Z_i}{Z_u} \cdot \left(\frac{Z_i}{Z_u} - 1 \right)} \right)$$

Calcolo Resistenze - Attenuatore a T

Anche in questo si impone che l'impedenza di ingresso Z_i sia uguale a quella di uscita Z_u e conseguentemente che anche R_1 e R_3 siano uguali tra loro; quindi vale quanto precedentemente detto e cioè

$$Z = Z_i = Z_u \qquad R_b = R_2 \qquad R_a = R_1 = R_3$$

Sotto queste condizioni, analizzando il relativo circuito equivalente di Fig. 2, possiamo dire che:

$$Z = R_a + R_b // (R_a + Z) \quad \text{e di conseguenza} \quad A_v = \frac{Z}{R_a + Z} \cdot \frac{R_b // (R_a + Z)}{R_a + R_b // (R_a + Z)}$$

Sostituendo Z nella relazione A_v e risolvendo per R_a e R_b , dopo alcuni passaggi e semplificazioni, si ottiene che:

$$R_a = Z \cdot \frac{1 - A_v}{1 + A_v} \qquad \text{e} \qquad R_b = Z \cdot \frac{2 \cdot A_v}{1 - A_v^2}$$

esprimendo A_v anziché in Volt in dB $\rightarrow A_v = 10^{\frac{A_{dB}}{20}}$ e andandolo a sostituire nelle due precedenti relazioni, siamo in grado di calcolare le due resistenze perché:

$Z \rightarrow$ Impedenza In/Out è un parametro che dobbiamo impostare (dato conosciuto)

$A_{dB} \rightarrow$ Attenuazione (in dB) che l'attenuatore deve fornire (dato conosciuto)

Nel caso in cui $Z_i \neq Z_u$ (conseguentemente $R_1 \neq R_3$) le formule per calcolare le tre resistenze sono:

$$R_1 = \frac{Z_i \cdot (k + 1) - 2 \cdot \sqrt{k \cdot Z_i \cdot Z_u}}{k - 1}$$

$$R_2 = \frac{Z_u \cdot (k + 1) - 2 \cdot \sqrt{k \cdot Z_i \cdot Z_u}}{k - 1}$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot \sqrt{k \cdot Z_i \cdot Z_u}}{k - 1}$$

Dove:

$$k = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{2 \cdot Z_i}{Z_u} - 1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{Z_i}{Z_u} \cdot \left(\frac{Z_i}{Z_u} - 1 \right)} \right)$$

Adattamento di Impedenza

Una volta stabilita l'attenuazione A_{dB} , le tre resistenze $R1 - R2 - R3$ (Fig. 1) potrebbero risultare di valore non standard o comunque affette da tolleranze di origine costruttiva.

In questo caso occorre tenere presente altri parametri importanti che caratterizzeranno il circuito con componenti reali come il "**coefficiente di riflessione**" $[\rho]$, l'impedenza di ingresso e quella di uscita.

Se $Z_{u_{Gen}}$ e $Z_{i_{Att}}$ sono le impedenze rispettivamente di uscita del generatore e di ingresso dell'attenuatore il coefficiente di riflessione è definito come:

$$\rho = \frac{Z_{u_{Gen}} - Z_{i_{Att}}}{Z_{u_{Gen}} + Z_{i_{Att}}}$$

Per determinare quale sia l'impedenza di ingresso ed il coefficiente di riflessione dell'attenuatore reale si impiegano i valori indicati in Fig. 1

Vista dall'ingresso dell'attenuatore la $Z_{i_{Att}}$ sarà:

$$\text{Per attenuatore a } \mathbf{T} \rightarrow Z_{i_{Att}} = R2 // (R1 + Z_{u_{Gen}}) + R3 \rightarrow Z_{i_{Att}} = \frac{R2 \cdot (R1 + Z_{u_{Gen}})}{R1 + R2 + Z_{u_{Gen}}} + R3$$

$$\text{Per attenuatore a } \mathbf{\Pi} \rightarrow Z_{i_{Att}} = Z_{u_{Gen}} // [R1 // (R2 + R3)] \rightarrow Z_{i_{Att}} = \frac{Z_{u_{Gen}} \cdot R1 \cdot (R2 + R3)}{Z_{u_{Gen}} + R1 + R2 + R3}$$

Precedentemente, in modo teorico, avevamo calcolato le tre resistenze ($R1 - R2 - R3$) avendo imposto la condizione basilare per gli attenuatori e cioè che $Z_{u_{Gen}} = Z_{i_{Att}}$.

Ora, in modo pratico, dopo aver assemblato il nostro attenuatore, anche se abbiamo osservato perfettamente tutte le raccomandazioni possibili, avremo un attenuatore che non rispetta più la condizione $Z_{u_{Gen}} = Z_{i_{Att}}$.

Tutto ciò si traduce, praticamente, con l'aumento della potenza che le resistenze devono dissipare perché oltre alla normale "**Potenza Diretta**" dovranno dissipare anche quella dovuta alla "**Potenza Riflessa**".

Grazie alle formule viste precedentemente ora siamo in grado di calcolare la Potenza Riflessa in funzione del coefficiente di riflessione.

Nel Paragrafo successivo ci occuperemo della potenza che le resistenze devono dissipare e quindi sul loro dimensionamento.

Dissipazione della Potenza negli Attenuatori

Prima di procedere col dimensionamento del nostro attenuatore occorre domandarsi quale dovrà essere la massima potenza che potremo applicare al suo ingresso.

Come tra poco vedremo questo parametro è di primaria importanza per la determinazione dei Watt che le resistenze dovranno essere in grado di dissipare.

Definiamo i seguenti parametri:

$Z_0 \rightarrow$	Impedenza caratteristica del circuito (50 - 75 - 300 - 600 Ohm)
$P_{In} \rightarrow$	Max Potenza applicabile all'ingresso (es. 1 Watt)
$P_{R1} - P_{R2} - P_{R3} \rightarrow$	Le max potenze dissipabili dalle tre resistenze (valori da definire)

Per l'attenuatore a Π avremo:

$$P_{R1} = P_{In} \cdot \frac{R1}{Z_0} \quad \text{Max potenza dissipabile da R1}$$

$$P_{R2} = P_{In} \cdot \frac{2 \cdot Z_0 \cdot (R1 - Z_0)}{R1 \cdot (R1 + Z_0)} \quad \text{Max potenza dissipabile da R2}$$

$$P_{R3} = P_{In} \cdot \frac{Z_0 \cdot (R1 - Z_0)^2}{R1 \cdot (R1 + Z_0)^2} \quad \text{Max potenza dissipabile da R3}$$

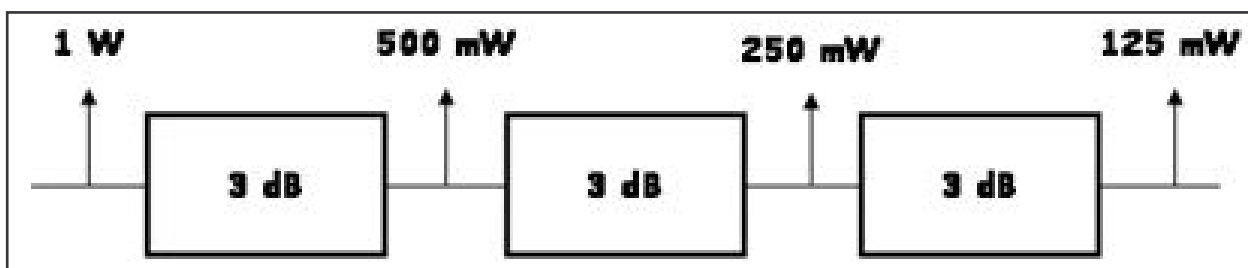
Per l'attenuatore a T avremo:

$$P_{R1} = P_{In} \cdot \frac{R1}{Z_0} \quad \text{Max potenza dissipabile da R1}$$

$$P_{R2} = P_{In} \cdot \frac{2 \cdot R1 \cdot (Z_0 - R1)}{Z_0 \cdot (Z_0 + R1)} \quad \text{Max potenza dissipabile da R2}$$

$$P_{R3} = P_{In} \cdot \frac{R1 \cdot (Z_0 - R1)^2}{Z_0 \cdot (Z_0 + R1)^2} \quad \text{Max potenza dissipabile da R3}$$

A questo punto possiamo dire, nel caso il nostro attenuatore fosse composto da più di una cella, che le celle successive andranno dimensionate tenendo conto che la max potenza al loro ingresso è uguale a quella applicata alla cella precedente diminuita del fattore di attenuazione della cella precedente stessa.



Tecniche Costruttive Degli Attenuatori

Le differenze costruttive diversificano, e non di poco, un attenuatore ideale da uno reale, e le cause di queste diversità sono principalmente dovute a vari fenomeni:

1. scarto fra valore nominale e valore disponibile commercialmente delle resistenze
2. tolleranza fra valore nominale e valore reale delle resistenze
3. comportamento non ideale delle resistenze all'aumentare della frequenza
4. accoppiamento parassitico fra la maglia di ingresso e quella di uscita

La prima e la seconda causa di errore debbono essere ridotte scegliendo oculatamente i valori fra quelli disponibili in commercio.

La serie di resistenze che offre il maggior numero di valori è la E192, con tolleranza 0.5% o 1%.

Il problema del comportamento non ideale deve essere risolto scegliendo componenti di ottima qualità antinduttivi, a basso coefficiente di dipendenza dalla tensione e lavando accuratamente il montaggio dopo le saldature.

Invece per quanto riguarda l'accoppiamento parassita, identificabile come capacitivo e/o induttivo, soprattutto quello induttivo è possibile ridurlo minimizzando il flusso disperso della maglia di ingresso che si richiude sulla maglia di uscita.

Tutti gli altri problemi si risolvono intervenendo sulla meccanica.

Genericamente possiamo asserire che la disposizione meccanica delle resistenze, ma soprattutto la simmetria del circuito, può aiutare a risolvere i problemi di flusso disperso della maglia di ingresso che si può concatenare in due direzioni opposte nella maglia di uscita minimizzando gli effetti induttivi.

Nel caso di un attenuatore a Π si dispongano R1 ed R3 più distanti possibile e possibilmente con gli assi ortogonali e quindi si modifichi lo schema dividendo R1 ed R3 in due resistenze di valore uguale e doppio di quello nominale.

Per ridurre l'accoppiamento capacitivo si può inserire uno schermo lungo l'asse di simmetria di R2 in modo da creare due capacità che connettano i nodi di ingresso e di uscita con il polo comune.

In Fig. 3a è illustrato lo schema simmetrizzato ed una possibile disposizione meccanica delle resistenze e dello schermo.

Nel caso di un attenuatore a T si dispongano le resistenze a forma di croce e si modifichi lo schema dividendo R2 in due resistenze di valore uguale e doppio di quello nominale.

Sempre per ridurre l'accoppiamento capacitivo si possono inserire due schermi lungo gli assi di simmetria di R1 ed R3 in modo da creare delle capacità che connettano i nodi di ingresso e di uscita con il polo comune.

In Fig. 3b è illustrato lo schema simmetrizzato ed una possibile disposizione meccanica delle resistenze e degli schermi.

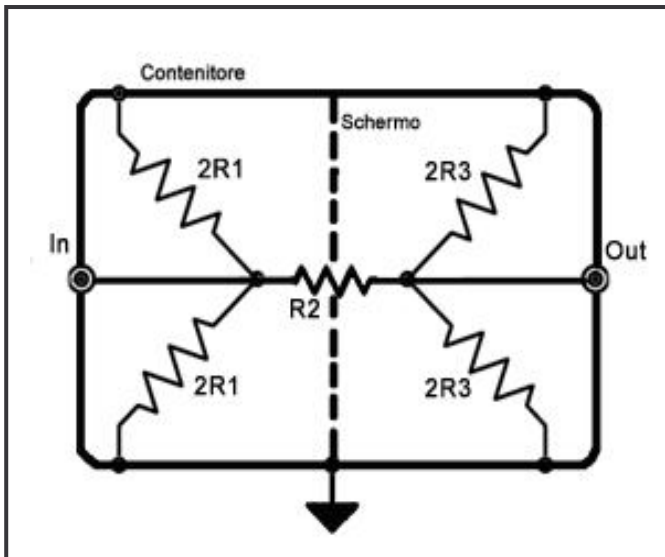


Fig. 3a Disp. meccanica attenuatore II

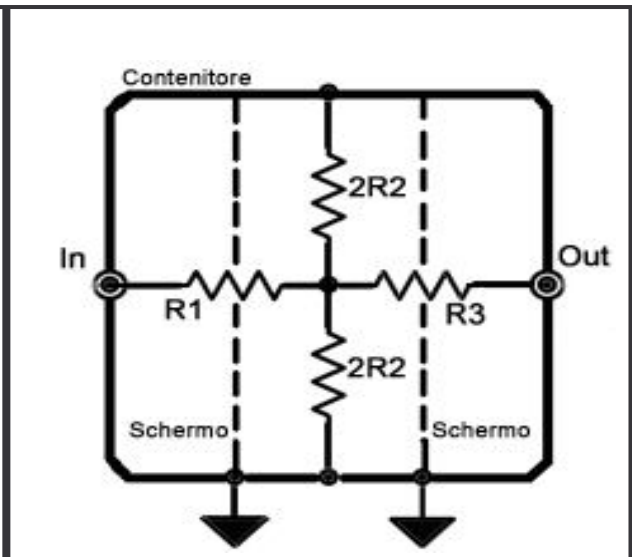
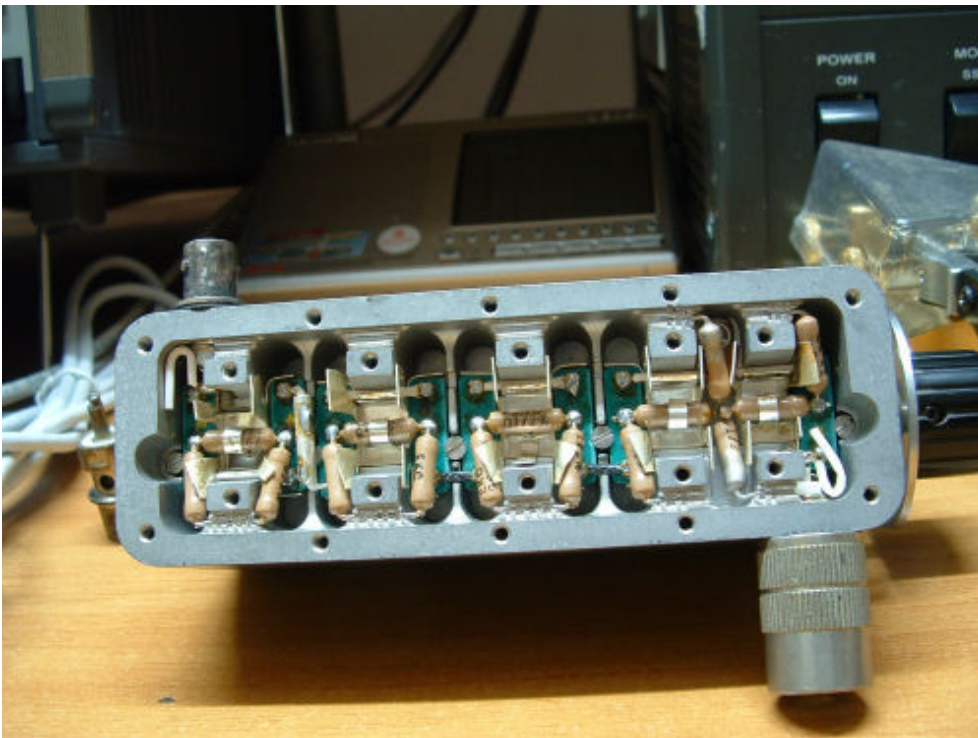


Fig. 3b Disp. meccanica attenuatore I

Andando, invece nel "professionale" nella successiva figura è presentato l'interno di un attenuatore a scatti prodotto dalla H.P. (Mod. 355 D) che può essere di utilità per chi, eventualmente, avesse intenzione di autocostruirsi un attenuatore a scatti.



Spec. Tecniche Attenuatore H.P. Mod. 355D

Frequency Range: dc to 1 GHz

Impedance: 50 Ohm

Attenuation Range: 0 to 120 dB, 10 dB steps

Insertion Loss at 0 dB: 0.2 dB + 2.3 dB/GHz

Maximum SWR: 1.2 to 250 MHz, 1.3 to 500 MHz, 1.5 to 1 GHz

Maximum RF Input Power: 0.5 W (average), 350 W (peak)