

Giovanni Schgör (g.schgor)

QUADRIPOLI, PERCHÉ?

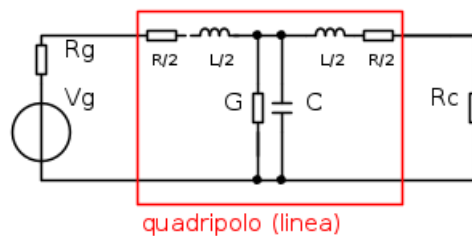
21 January 2012

Questa era essenzialmente una [richiesta](#) recentemente apparsa nel Forum. Perché si studiano i quadripoli?

Al di là delle più complete trattazioni che possono essere trovate in rete, credo opportuna una nota per inquadrare l'argomento, che trova principale applicazione nelle linee di trasmissione segnali, tipicamente per collegamenti telefonici o telegrafici.

Linee a costanti concentrate

Essenzialmente il problema può essere ridotto alla trasmissione da un generatore V_g , con resistenza interna R_g , di un segnale di una certa forma mediante una linea di date caratteristiche, terminata su un ricevitore di resistenza R_c



Come si vede la linea è caratterizzata dalla resistenza dei conduttori (R), dalla loro induttanza (L) e capacità (C), nonché da una conduttanza (G) di dispersione, e può essere vista come un **quadripolo**, con due terminali d'ingresso e due di uscita.

Prima di occuparci dei quadripoli, dobbiamo però chiarire che il principale obiettivo della trasmissione di segnali è la massimizzazione del trasferimento di potenza dal generatore al ricevitore.

Essendo infatti la linea soggetta a disturbi di tipo elettromagnetico, è di estrema importanza assicurare al carico la massima potenza possibile in modo da aumentare il **rapporto S/N (potenza segnale/potenza disturbo)**, cioè aumentare l'intelligibilità dell'informazione ricevuta.

Occorre quindi **adattare** fra loro i vari parametri, eventualmente modificandoli, in modo da rendere appunto massime le prestazioni della trasmissione.

Cominciamo allora col dire che se la linea non ci fosse, il problema del massimo trasferimento di potenza si ridurrebbe a trovare quale rapporto k fra la R_c e la R_g lo realizzerebbe.

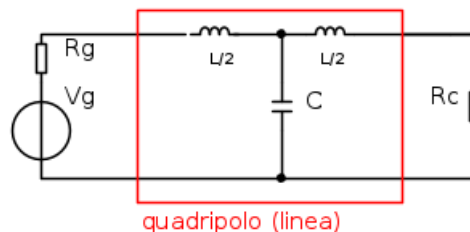
Si avrebbe in questo caso la stessa corrente : $\frac{V_c}{R_c} = \frac{V_g}{R_g + R_c}$

cioè la potenza in ricezione : $P_c = \frac{V_c^2}{R_c} = V_g^2 \cdot \frac{R_c}{(R_g + R_c)^2} = V_g^2 \cdot \frac{k}{(k+1)^2}$

che diventa massima per $k=1$, cioè $R_c = R_g$.

Quando c'è di mezzo la linea, ovviamente le cose si complicano, ed è qui che diventa utile la teoria dei quadripoli,

Riconoscendo però che nella maggioranza dei casi concreti l'influenza dei parametri **R** e **G** della linea diventa trascurabile (infatti nella gamma utile delle frequenze trasmesse è **R** << ωL e **G** << ωC), il modello della linea può essere semplificato considerando solo **L** e **C**:



Questo significa considerare la linea priva di elementi dissipativi di potenza attiva, solo quindi soggetta agli scambi fra potenze reattive.

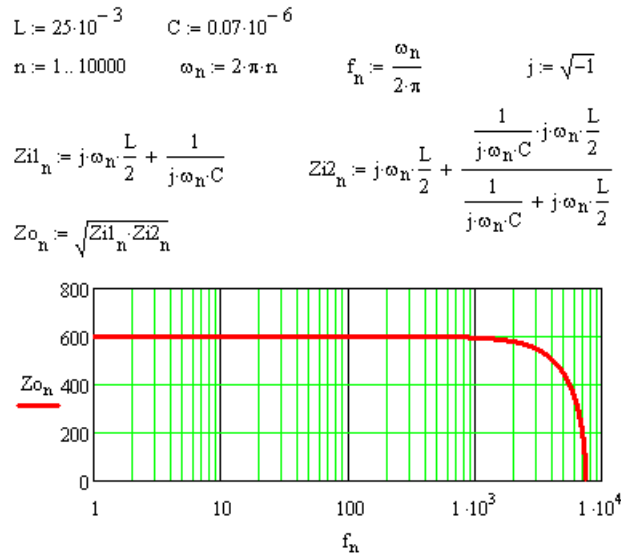
Ora nello studio dei quadripoli ha grande importanza il concetto di **impedenza immagine**, che è definita come il valore dell'impedenza vista ai morsetti d'ingresso, quando il carico ai morsetti d'uscita ha questo stesso valore (è quindi come il quadripolo non esistesse).

Se poi il quadripolo è simmetrico (e una linea lo è naturalmente), questa viene chiamata **impedenza caratteristica** e viene normalmente indicata con **Zo**.

Il suo valore può essere ricavato calcolando due speciali valori di impedenza: quella d'ingresso quando l'uscita è aperta (caso di $R_c = \infty$, indicata con **Zi1**) e ancora quella d'ingresso, ma con l'uscita in cortocircuito (caso $R_c = 0$, indicata con **Zi2**)

L'impedenza caratteristica, è allora $Z_o = \sqrt{Z_{i1} \cdot Z_{i2}}$.

Ecco un calcolo (in MathCad) di tale valore per una linea di trasmissione lunga 10km, con parametri L e C noti, utilizzando lo schema della figura precedente.



Si vede che tale valore si mantiene costante per una certa gamma di frequenze. Si può inoltre osservare che corrisponde semplicemente a $Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$, che è reale e quindi è il valore di una pura resistenza, espresso in ohm.

Per quanto detto in precedenza sulle proprietà dell'impedenza caratteristica, utilizzando una R_c ed una R_g di pari valore (600 ohm), avremo dunque un trasferimento di massima potenza in tutta la gamma di frequenze utili, e in questo caso si dice che la linea è **adattata**

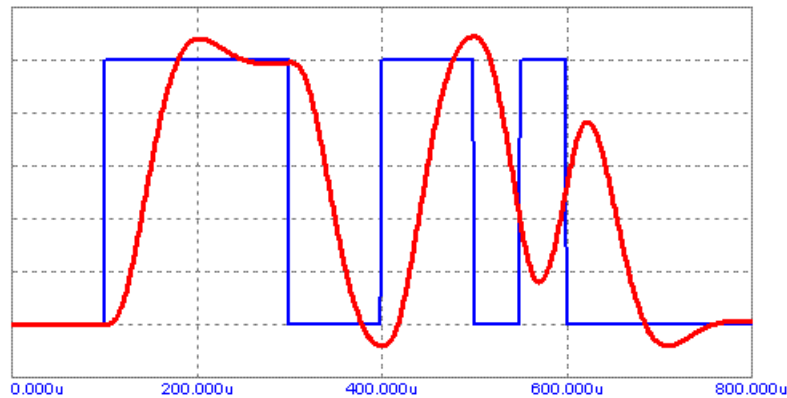
Distorsione del segnale

Malgrado l'adattamento, i limiti della gamma di frequenze utili della linea, condizionano la "forma" del segnale trasmesso, introducendo quindi una distorsione di questo.

In tal caso il quadripolo è visto come filtro, a cui può essere applicata l'analisi di Fourier.

Gli effetti di distorsione possono però oggi essere facilmente esaminati direttamente con programmi di simulazione, che riproducono il comportamento della linea.

Come esempio, vediamo la trasmissione di un segnale composto da 3 impulsi di diversa durata, sulla stessa linea considerata precedentemente, simulato con MicroCap9:



La traccia blu rappresenta il segnale trasmesso (V_g), quella rossa il segnale ricevuto (V_c).

Come si vede si nota già una distorsione a 5kHz (impulso da 200us), che diventa inaccettabile a 20kHz (impulso da 50us).

E' ovvio che si possa ovviare a questo decadimento interponendo lungo la linea circuiti attivi di riformazione del segnale.

Conclusioni

Credo che da quanto detto risulti evidente l'importanza concettuale dei quadripoli, ma per quanto riguarda le linee di trasmissione occorre sottolineare che il modello visto è applicabile solo a linee relativamente "corte".

Quando si superano determinate lunghezze (qualche decina di km) devono essere infatti considerati gli effetti di propagazione (con eventuali "riflessioni", cioè echi di ritorno), per cui si deve passare ad un più sofisticato modello a costanti distribuite (ma questo è tutto un altro... argomento).

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:G.schgor:quadripoli-perch>"