

ONDE RIFLESSE e RIFLESSIONI

Quantifichiamo l'energia riflessa

A cura di Gianfranco. I2VGO.

La volta scorsa abbiamo concluso che se una linea è chiusa su una resistenza di carico, **R_c**, di valore diverso dalla sua resistenza caratteristica, **R_o**, si ha "riflessione" cioè oltre all'onda, tensione e corrente, che si propaga dal generatore al carico, si ha anche un'onda, tensione e corrente, che si propaga dal carico al generatore.

Tanto maggiore o tanto minore è la distanza dal valore uno del risultato del rapporto R_c/R_o, tanto più ampia sarà l'entità dell'onda riflessa.

Il massimo o minimo valore del rapporto **R_c/R_o**, che prende il nome di *impedenza normalizzata*, **z**, lo si ottiene rispettivamente per la linea aperta ($R_c = \infty$) e per la linea chiusa in corto circuito ($R_c = 0$). A questi valori estremi della resistenza di carico, tutta l'onda che si propaga verso il carico è riflessa verso il generatore (il generatore diventa il carico per l'onda riflessa). Essa verrà assorbita o ancora riflessa nuovamente, totalmente o parzialmente, dal generatore secondo l'entità di diversità della resistenza interna del generatore, **R_i**, oppure della sua impedenza interna **Z_i**, verso la resistenza caratteristica, **R_o**.

Riassumendo:

-Carico adattato verso la linea: nessun segnale riflesso (il tutto è semplice da analizzare), si osserva che nessuna importanza ha, ai fini della riflessione, che il generatore sia adattato o no verso la linea.

-Carico disadatto verso la linea: abbiamo un segnale riflesso che sarà dissipato dal generatore solo se questi è adattato verso la linea altrimenti, in base all'entità di disadattamento, una parte è dissipata e un'altra nuovamente riflessa verso il carico.

Come valutare quantitativamente quanto viene riflesso per valori di resistenza di carico compresi tra zero e infinito diverso dalla resistenza caratteristica?

Vi sono solo tre metodi diversi per dire più o meno la stessa cosa, cioè di quanto il carico è disadatto verso la linea.

Essi sono:

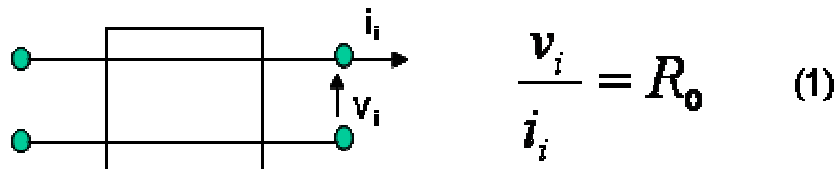
- Il coefficiente di riflessione.
- L'attenuazione di riflessione o return loss.
- Il rapporto onde stazionarie, SWR o ROS.

Per la dimostrazione delle formule finali dovremmo considerare almeno segnali periodici di forma sinusoidali. Essi sono rappresentati matematicamente come vettori in notazione esponenziale. Abbiamo prodotti, rapporti, somme e differenze di numeri complessi di funzioni con variabili del tempo e spazio (percorso lungo la linea). Non è il caso di riempire pagine e pagine di passaggi matematici con questi formalismi e tediarvi. Chi sa trattare analiticamente i vettori sa dove cercare. Senza perdere in rigidità useremo i valori istantanei dei segnali sinusoidali. Rappresentiamo tensioni, v , e correnti, i , con le lettere minuscole.

Il coefficiente di riflessione

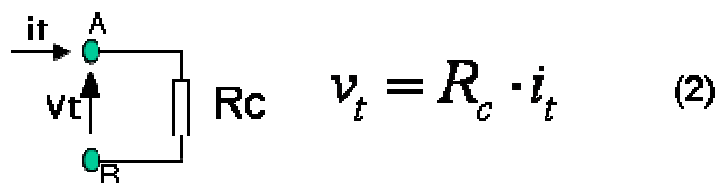
Quando il generatore è chiuso, lungo la linea tensione e corrente iniziano un percorso senza sapere nulla del carico connesso ai morsetti a valle della linea.

La linea ha un segnale proveniente dal generatore.
La linea impone:



Legge di Ohm della linea

Tensione e corrente arrivano sul carico.
Il carico impone:

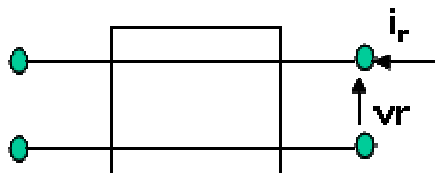


Legge di Ohm del carico.

Notate bene. Sul carico c'è sempre tensione e corrente totale.

Se siamo disadattati ($R_c \neq R_0$) la linea trasmette un segnale riflesso in senso opposto.

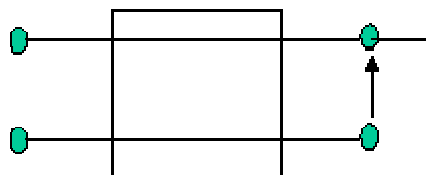
La linea impone sul segnale riflesso:



$$\frac{v_r}{i_r} = R_0 \quad (3)$$

Legge di Ohm della linea per l'onda riflessa

In totale sovrapponendo istante per istante, lungo la distanza della linea si avrà:



$$i_t = i_i - i_r \quad (4)$$

$$v_t = v_i + v_r \quad (5)$$

Leggi delle tensioni e delle correnti

Sovrapposizioni delle correnti. Sovrapposizioni delle tensioni.

Connettendo la linea con il carico occorre che tutte le cinque leggi, di ohm, delle tensioni e delle correnti siano rispettate.

Ponendo $R_c/R_0 = z$ (impedenza normalizzata) e risolvendo il sistema di equazioni (dall'1 alla 5), possiamo calcolare quanto vale la tensione riflessa, v_r , o ciò che è lo stesso, quanto vale il rapporto v_r/v_i , detto **coefficiente di riflessione**. Di norma è indicato con la lettera Γ (gamma maiuscolo).

$$\Gamma = \frac{v_r}{v_i} = \frac{z-1}{z+1} \quad z = \frac{R_c}{R_0} \quad v_r = \Gamma \cdot v_i \quad (6)$$

$$v_i = \frac{v_r}{\Gamma}$$

Il coefficiente è un numero puro senza dimensioni. Se il carico è resistivo, esso sarà un numero reale, se invece il carico è un'impedenza, il risultato del gamma sarà in forma complessa. Si può osservare che quando la linea è adattata $R_c=R_0$, risulta $z = 1$ e, quindi, il gamma è uguale a zero che corrisponde al valore di massimo adattamento.

I massimi valori estremi di gamma li otteniamo ponendo la linea prima in corto circuito e poi aperta. In tutti e due i casi, poiché $v_r = v_i$, il loro rapporto è uguale a ± 1 , si ha la massima riflessione.

Applicando la (6) otteniamo per linea in corto circuito $R_c = 0$:

$$z = \frac{0}{R_0} \quad \text{e quindi} \quad \Gamma = \frac{0-1}{0+1} = -1$$

e per la linea aperta:

$$z = \frac{\infty}{R_0} \quad \text{e quindi} \quad \Gamma = \frac{\infty-1}{\infty+1} = 1$$

In conclusione il gamma è un numero compreso tra **-1 e 1**.

Rispondo ora, anche per rilassare il Lettore, ad una critica arrivata in redazione. Federico ha scritto: "Lei *semplifica troppo, altro che precisione. Sul numero di ottobre ha dichiarato che è sbagliato chiamare impedenza caratteristica dei cavi coassiali ma resistenza caratteristica. Un cavo ha perdite a radiofrequenze. Oltre all'induttanza e capacità distribuita abbiamo la resistenza del filo, la conduttanza del dielettrico. Io ho testi professionali dove si parla solo di impedenza caratteristica Che testi legge lei? Non saranno tutti fessi a chiamarla impedenza*".

Caro Federico quando un modo di dire sbagliato è già entrato nell'uso non bastano di certo le imprecazioni dei puristi a cambiare la parola. Ti immagini se io mi permetto di "bacchettare" chi usa termini erroneamente diffusi dai media. Se dovrò comperare un cavo chiederò che abbia l'impedenza che desidero anche se sappiamo che **il valore di un'impedenza dipende dalla frequenza e quindi non potrebbe essere costante oltre ad avere distorsione di ampiezza e fase** Tutti noi spesso usiamo termini sbagliati.

-Quando devo spiegare il principio di funzionamento di un semplice alternatore di solito, prendo come esempio la dinamo della bicicletta.

-Se devo spiegare la luce bianca delle lampade fluorescenti devo prendere come esempio la cosiddetta lampada al neon (Il gas neon emette luce rossa).

-Se devo spiegare un adattatore di impedenza devo prendere come esempio l'oggetto "accordatore" che non fa solo risuonare l'antenna, ma soprattutto eleva o diminuisce il valore della parte reale ad una resistenza di 50 o 75 ohm, come fosse un trasformatore (selettivo) in salita o in discesa con il rapporto spire variabile.

-Se devo entrare nel merito di FIR, modulazioni, o oscillatori realizzati con tecniche numeriche, non posso usare il termine digitale usato per decenni sulle le modulazioni a due livelli, oscillatori PLL o FIR digitali. **Con un bit possiamo avere solo il segno di un segnale**, se esso è positivo o negativo, conoscere il suo valore medio. Il segnale può essere diviso con qualsiasi numero naturale o frazionario, ma non si potrà mai fare una divisione tra due segnali. **Potrò moltiplicare due segnali ma otterrò solo il segno del prodotto e mai un numero**. Infatti, si usano da decenni come moltiplicatori le logiche EX-OR ².

La moltiplicazione tra due numeri è tutta un altro oggetto. Per rappresentare segnali continui o discreti multilivello (di tutte le forme) in numero binario devo prima convertirli in numerico (minimo 3 bit).

-Quando scatta il magneto-termico di casa, è la tensione (causa) che viene a mancare e non la corrente (effetto).

Invece se devo spiegare la "Noise Figure", non cambia nulla nella definizione matematica se uso il termine **figura di rumore** (usato da decenni su molti libri universitari) o cifra. C'è un lungo elenco ³ di traduzioni errate in uso nella lingua italiana, senza che nessuno si scandalizzi, che non creano confusione. Basti pensare al nostro hobby. Nonostante Marconi, sotto il fascismo sui media, usasse correttamente il termine radio dilettanti, traducendo esattamente la parola americana Radio Amateurs, si è poi diffuso il vocabolo "radio amatore".

Termino il volo pindarico dicendo che Federico ha ragione un cavo reale possiede una resistenza di perdita, **r**, in serie all'induttanza del filo ed una conduttanza **g** in parallelo alla capacità tra i fili dovute al non perfetto isolamento del dielettrico. Osservando il modello elettrico è un'impedenza e non una resistenza. Tra i dilettanti vi sono tante affermazioni che prese di per sé sono esatte. Anche l'affermazione che non esistono i componenti resistenze è vera (sono tutte impedenze) oppure è vero che il francobollo della miniwhip è un'antenna, come le chiavi di casa che tengo in mano. In generale c'è una pigrizia o cultura mentale a non sforzarsi di fare valutazioni quantitative (anche grossolane) sui fondamentali elettrici prima di accendere il saldatore.

Forse non tutti sanno che un ottimo cavo coassiale si comporta come un'impedenza di valore alto e fortemente variabile, solo dalla quasi continua fino a circa 10-80 kHz (dipende dal tipo di coassiale). In questa banda il cavo è distorcente ⁴. Invece all'aumentare della frequenza la resistenza, **r**, anche se aumenta il suo valore, causa l'effetto pelle, aumenta molto meno rispetto al prodotto omega **L** e omega **C** che rende trascurabile la conduttanza **g**.

Che segnaliate

All'aumentare della frequenza
si ha che :

$$Z = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}} = \begin{matrix} r \ll \omega L \\ \omega C \gg g \end{matrix} \longrightarrow = \sqrt{\frac{L}{C}} = R_0$$

Tutti i parametri, **L**, **C**, **r**, **g**, di un buon cavo sono ottimizzati in maniera tale da avere l'impedenza caratteristica invariante verso frequenza (non distorcente) e quindi una resistenza apparente, **R₀**, dalle frequenze di decimi di MHz fino alle altissime frequenze dove è possibile usare cavi coassiali.

Per le basse frequenze si usano altri tipi di linee. Esempio: il doppino telefonico, R₀=120 ohm.

È chiaro Federico? Ora dirai che anche il carico raramente è una resistenza. Se il carico è l'impedenza di ingresso di un buon ricevitore dove in tutta la banda d'uso la riflessione è irrilevante possiamo trattarla analiticamente come fosse una perfetta resistenza di carico. Per le antenne, hai ragione, in pochi tipi di antenne otterremo in una banda ristretta un carico che sia puramente resistivo. Infatti, volutamente ho citato l'impedenza normalizzata, \vec{z} , anche per rapporto tra due resistenze, in modo da poter inserire nella definizione di \vec{z} un'impedenza \mathbf{Z}_c . In questo modo il coefficiente di riflessione è un numero complesso con parte reale e immaginaria. La (6) diventa:

$$\vec{z} = \frac{\vec{Z}_c}{R_0} \quad \vec{\Gamma} = \frac{\vec{z} - 1}{\vec{z} + 1} = \frac{\vec{V}_r}{\vec{V}_i} \quad (7)$$

L'attenuazione di riflessione o return loss

In molti casi è comodissimo misurare direttamente l'attenuazione (in dB) che c'è fra un'onda incidente e un'onda riflessa

Il return loss non è altro che il modulo del rapporto tra la tensione riflessa e la tensione incidente cioè il modulo del gamma, espresso in unità logaritmiche.

$$|\vec{\Gamma}|_{db} = 20 \cdot \log_{10} |\vec{\Gamma}| = 20 \cdot \log_{10} \frac{|\vec{V}_r|}{|\vec{V}_i|} \quad (8)$$

È un numero reale sempre negativo perché il gamma è sempre minore o uguale a 1.

Gli estremi sono 0 dB (tutta la tensione è riflessa) e meno infiniti dB (per zero di tensione riflessa). **Poiché non esiste al mondo un carico resistivo talmente perfetto che abbia valore zero di reattanza intrinseca** si possono ottenere valori massimi di -30, -40 dB di adattamento (sempre che la strumentazione sia in grado di misurarlo).

Non sarà mai sufficiente affermare l'enorme semplicità ed immediatezza di conoscere quanta tensione o potenza è riflessa da un carico disadattato usando la misura del **return loss**, espresso in dB.

Esempio. L'ingresso d'antenna di un ricevitore ha un return loss di -20dB. Ricevendo, da una linea, un segnale di **-63dBm** (S9+10dB) possiamo conoscere immediatamente, con una semplice somma algebrica, il valore della potenza riflessa verso l'antenna, che è di **-83dBm**. -63+ (-20).

Oggi, grazie all'**SDR**, la misura è accessibile a molti senza avere costosi strumenti. Ricevitori come ad esempio Perseus, svolgono funzioni di Power e Level meter, Spectrum Analyzer e pure con scadenti ed economici generatori sinusoidali o di rumore diventano, anche se limitati, dei Scalar Network.

Aggiungendo la costruzione di un semplice ibrido passivo la misura del return loss, su carichi in HF, diventa immediata.

Il rapporto onde stazionarie, ROS o SWR.

La diffusione di questo metodo appartiene alla storia della radiotecnica.

In presenza di disadattamento i vettori della tensione incidente e riflessa viaggiano in direzioni opposte, sulla distanza di linea, mentre ruotano alla frequenza del segnale.

Lungo la linea si forma un'onda risultante, ferma, perciò detta *stazionaria*. I valori massimi di quest'onda, chiamati *ventri*, si ottengono quando i due vettori, incidente e riflesso, sono in fase ($\mathbf{V}_i + \mathbf{V}_r$). I valori minimi, detti *nod*i, si ottengono quando i due vettori sono in opposizione di fase ($\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_r$). Il fatto che i due massimi o minimi lungo la linea distano, in posizione fissa, di metà lunghezza d'onda, **ha permesso di ricavare indirettamente, per oltre settant'anni, la frequenza dei segnali** fino a quando, grazie alla tecnologia, si riuscì a realizzare i frequenzimetri. È il metodo per antonomasia, grazie alla semplicità e basso costo dei rosmetri, di tutti i radioamatori. Il fatto che richieda una potenza minima e tollera potenze elevate, permette di tenere sotto controllo l'adattamento del trasmettitore verso la linea.

Il Rapporto Onda Stazionaria, ROS o Standing Wave Ratio, SWR è il rapporto tra il valore massimo (ventre) e valore minimo (nodo) dell'onda stazionaria.

$$SWR = \frac{|\mathbf{V}_i + \mathbf{V}_r|}{|\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_r|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (9)$$

A linea adattata e senza perdite, i valori di tensione efficaci o di picco dell'onda incidente, sono costanti tra il generatore ed il carico. Non abbiamo massimi e minimi, il ROS è uguale ad uno ed è il valore più piccolo che si possa ottenere.

A linea aperta o in cortocircuito $\mathbf{V}_i = \mathbf{V}_r$, il valore massimo del ventre raggiunge il doppio della tensione incidente ed il minimo si annulla a zero ($\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_r$).

Quindi il ROS è un semplice numero reale che va da uno all'infinito, nella pratica un SWR > di 30 è un carico quasi in corto circuito o sicuramente aperto.

Il fatto che per semplicità strumentale occorra fare manualmente un riferimento ad uno della tensione incidente (fondo scala strumentino), diffuse la moda (crea solo confusione) di accompagnare il valore SWR riferito a uno. Cosa che non vedrete mai in nessuna specifica di cataloghi professionali.

Dire >> **Ho un ROS di una virgola uno**<< è molto più semplice e chiaro, oltre che esatto, che dire>> **Ho un ROS di uno punto uno due punti uno** <<. Togliete sempre ciò che non esiste o è inutile.

Dalla (9) appare evidente che **SWR** e Γ sono legati e sono due modi diversi per dire la stessa cosa. Non solo, conoscendo il valore di uno dei tre metodi di misura possiamo in qualsiasi momento ricavare gli altri come pure la **Zc**.

La letteratura amatoriale è ricca di queste relazioni.

Ricordatevi che dai valori del ROS, return loss o il modulo del gamma, non potremo mai ricavare come è fatta l'impedenza di carico o se il suo valore è maggiore o minore della resistenza caratteristica della linea.

Si può sapere solo il valore del modulo della **Zc**. Per sapere i valori della parte resistiva e della reattanza che formano l'impedenza di carico, serve una strumentazione che ci fornisca il coefficiente di riflessione in forma complessa, parte reale e parte immaginaria. Solo se il ROS è uno (o quasi) possiamo dire che il carico è una resistenza da 50 o 75 ohm.

Nella tabella seguente, un riassunto sugli estremi di valore dei tre metodi.

Resistenza di carico Rc.	Coefficiente di riflessione Γ	Return loss	ROS o SWR	Note
Linea in corto-circuito	-1	0db	Fondo scala	Massimo disadattamento
Linea lasciata aperta	1	0dB	Fondo scala	Massimo disadattamento
Rc=Ro	0	-30, -40dB	1	Massimo adattamento

Se trovate errori o qualcosa non è stato chiaro scrivete alla redazione.

Non pensiate che sia un lavoro facile dare affermazioni categoriche quasi assolute cercando di sintetizzare molti fenomeni elettrici con la stessa teoria. Devo verificare molti scenari, prima di porre un "Mai. "; usare i condizionali è facile, non si sbaglia mai. Qualcosa. però, mi può scappare oppure per me era ignota. Ho bisogno che segnaliate qualsiasi errore.

Grazie e tanti auguri per un Buon anno.

Note e segnalazioni

1)Re 9/2011.

Molti segnali di test che ha usato Roelof nella relazione citata sono NDB locali, la ricezione era per onda di terra. La mia affermazione:

"che 17 kHz e NDB non sono certo onda di cielo" era riferito alle misure della relazione di Roelof.

Rke 10/2011 Era sparito "quasi" l'affermazione:" Tutti i monopoli corti sono piatti dalla **quasi** continua a..."

2) Lo schema elettrico del famoso modulatore bilanciato MC1496 (che molti OM hanno usato) che realizza il prodotto analogico di due segnali, non è altro che lo schema elettrico dell'OR-esclusivo della famiglia logica lineare ECL della Motorola. I radioamatori dell'Amsat a fine anni ottanta utilizzavano (forse senza sapere il perché) come moltiplicatori per i loops di Costas dei loro demodulatori digitali PSK, logiche OR esclusivo delle famiglie TTL o CMOS.

3) Il caso più eclatante è il tipo di vettura detta *spider* che tutti leggono spaider (ragno). Negli anni cinquanta i dirigenti Fiat dovendo dare un nome a

questo nuovo tipo di auto sportiva e scoperta che desse l'idea di velocità la chiamarono **Speeder**. Per la preoccupazione che in un'Italia di allora poco istruita, non si pronunciasse la parola correttamente, decisero di fare come nei paesi slavi cioè di non dare importanza all'ortografia, ma di scrivere esattamente come si pronuncia (gli slavi parlano bene inglese anche per questo motivo. Oltre ai film, Cinema e TV, in lingua originale: mai esistito il doppiaggio) Diedero alla stampa il nome "**Spider**" È bastato che un giornalista RAI dando prova di saper leggere l'inglese, pronunciasse in radio il termine Spaider che rapidamente si diffuse. Quando un termine è ormai entrato nell'uso comune, **è del tutto inutile, se non addirittura scorretto, correggere l'interlocutore**, con il termine esatto.

4) Fu un grosso problema alla fine dell'ottocento con le lunghe linee aeree bilanciate telefoniche (soprattutto le digitali, telegrafiche, ma è un discorso troppo lungo) il fatto che la linea si comportasse come un'impedenza, quindi dipendente dalla frequenza, e di conseguenza distorcente, fino alla frequenza dell'ordine delle centinaia di Hertz. **Per fortuna un fattore mille meglio rispetto al cavo coassiale**. Curioso che, se anche fosse esistito, avrebbe solo peggiorato la situazione (il cavo coassiale comparve per risolvere altri problemi a fine anni quaranta).

Ai quei tempi la distorsione della voce, sui lunghi percorsi, era intollerabile. Per ottenere una resistenza caratteristica da quasi zero Hertz il mitico e grande Heaviside impose una condizione di uguaglianza dei parametri della linea che prende il suo nome:

$$\frac{L}{r} = \frac{C}{g}$$

Qualora fosse verificata questa uguaglianza, si può dimostrare che tutti i termini reattivi sono annullati. In questa condizione, poiché **Ro** è indipendente dalla frequenza anche da valori da decimi di Hertz, **si dice che la linea è priva di distorsione in banda audio**. Per le linee corte (come qualsiasi bifilare o fili altoparlanti degli audiofili) si verifica, con discreta approssimazione la condizione di Heaviside. Invece per le linee lunghe, questa condizione non si realizza se non aggiungendo fisicamente lungo il percorso di linea delle induttanze concentrate dette di **pupinizzazione** o di **krarupizzazione** se l'aumento dell'induttanza è ottenuto mediante l'avvolgimento di un nastro di lega ferroso attorno ai conduttori ai fini di aumentarne l'induttanza.

Vedi Federico che anche in questo caso l'impedenza della linea è scomparsa.

Gianfranco,I2VGO