

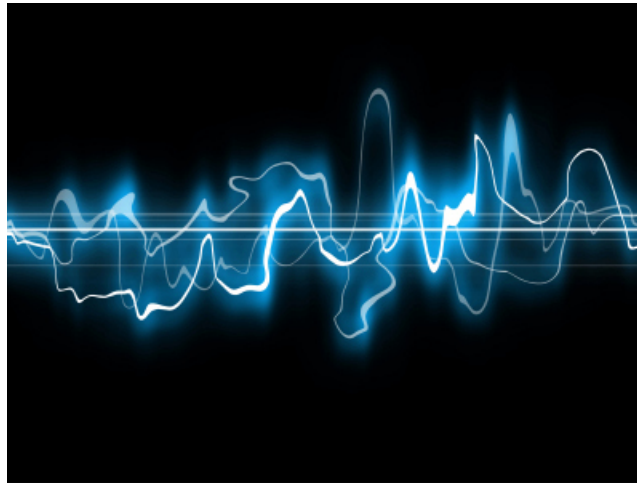
Riccardo Guerra (Guerra)

LA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA, TERZA PARTE

30 June 2012

Tipi di segnali da analizzare

In questa terza parte vorrei presentare in forma semplificata le caratteristiche principali degli spettri di alcuni tipi di segnali, che molto frequentemente devono essere analizzati per la verifica della compatibilità elettromagnetica di un prodotto.



Onda sonora

I segnali ad onda continua (CW)

Una suddivisione molto grossolana della tipologia di segnali che normalmente devono essere analizzati per la verifica della compatibilità elettromagnetica di un prodotto può essere:

- **i segnali ad onda continua (CW: Continuous Wave);**
- **i segnali impulsati;**
- **il rumore.**

Segnali CW: periodici, ripetitivi, stazionari

I segnali ad onda continua (CW) son quei segnali il cui andamento temporale **non ha soluzione di continuità**, ad esempio i segnali sinusoidali. Se si suppone che un segnale CW sia anche **periodico**, si può dimostrare analiticamente che è possibile scomporlo in un insieme di segnali sinusoidali mediante la serie di Fourier. E' proprio questo insieme che fornisce lo spettro del segnale.

La **periodicità** richiesta ai segnali CW per la scomposizione in serie di Fourier è in pratica una condizione molto restrittiva, in quanto in teoria si dovrebbe avere a disposizione il segnale da tempo infinito e garantire la sua presenza fino all'infinito. Nella realtà quindi nessun segnale è rigorosamente periodico. Spesso però alcuni segnali reali presentano una porzione del loro andamento temporale che si ripete nell'intervallo di osservazione. Perciò sarebbe più corretto parlare di **segnali ripetitivi**.

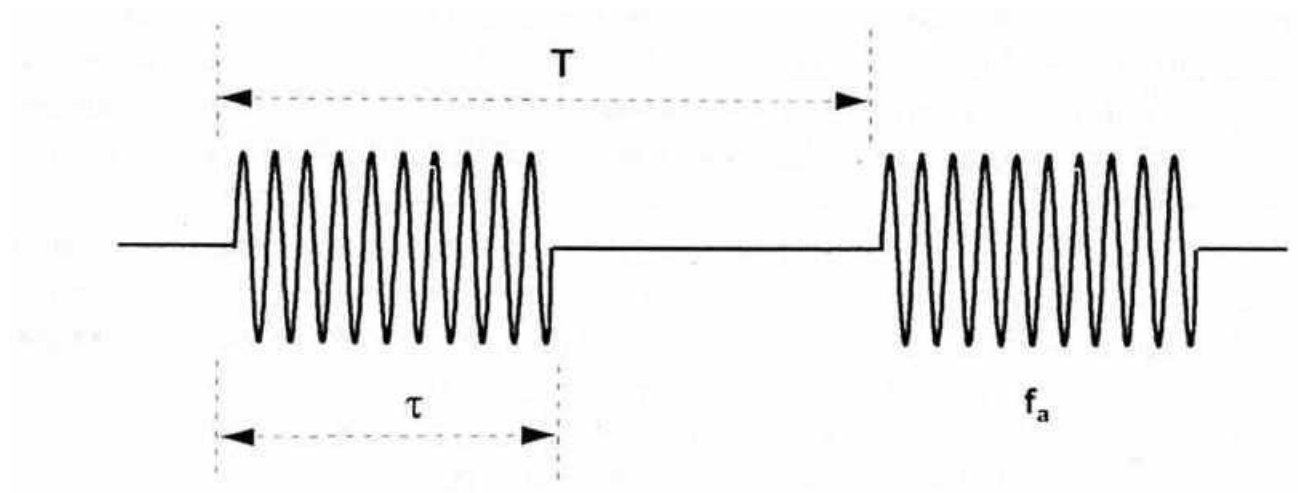
Per la validità della composizione spettrale di un segnale CW fornita da un analizzatore di spettro, è necessario che tale segnale sia **stazionario** nell'intervallo di analisi, coincidente in pratica con il tempo di spazzolamento. La stazionarietà del segnale non può essere verificata dallo strumento, perciò è necessario utilizzare un oscilloscopio in parallelo all'analizzatore, mediante il quale si controlla la costanza della forma d'onda durante l'intervallo in cui si effettua l'analisi spettrale.

Se il segnale non è periodico o ripetitivo, si può dimostrare mediante la teoria di Fourier che tutte le componenti spettrali che lo compongono assumono un'ampiezza tendente a zero, perciò il parametro ampiezza non è più significativo. Ha invece interesse conoscere la distribuzione in frequenza di queste componenti; tale parametro, misurato in watt/hertz, prende il nome di **densità spettrale**. Con questa grandezza si indica la maggiore o minore concentrazione di componenti spettrali ognuna di ampiezza infinitesima nei diversi intervalli frequenziali. Si può anche considerare la densità spettrale come l'indicatore dell'energia o potenza contenuta nel segnale per ogni intervallo unitario di frequenza.

I segnali impulsati: spettro di un'onda rettangolare

Si tratta di segnali che sono presenti solamente in alcuni intervalli di tempo; negli intervalli di inattività spesso questi segnali sono nulli.

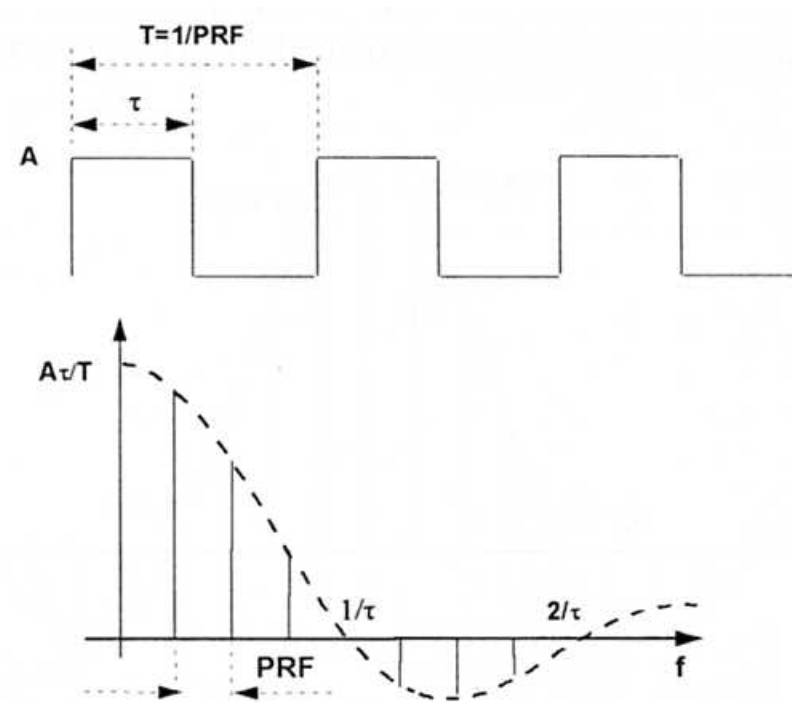
Il caso più semplice è quello di un segnale sinusoidale modulato con un'onda rettangolare.



segnale sinusoidale modulato con un'onda rettangolare

I principali parametri di interesse che caratterizzano questo tipo di segnali sono la frequenza di ripetizione dei pacchetti ($PRF = 1/T$), la loro durata τ , la frequenza della portante f_a .

Dalla teoria:



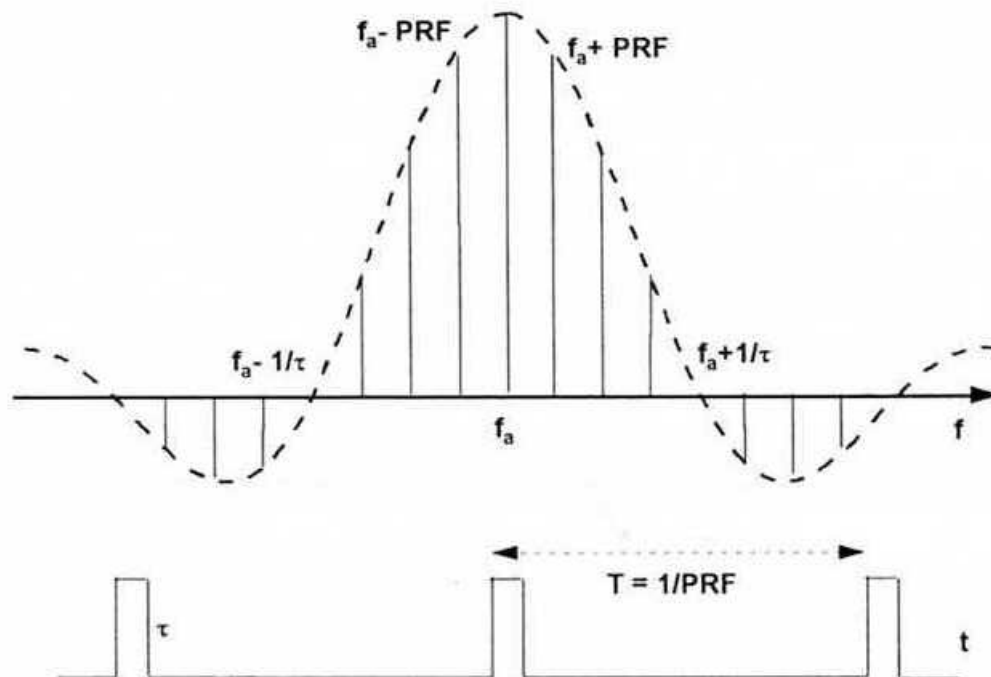
onda rettangolare e relativo spettro

la durata dell'intervallo τ durante il quale l'onda rettangolare assume un valore diverso da zero e l'intervallo T fra un impulso ed il successivo, il cui inverso fornisce la frequenza di ripetizione degli impulsi (**PRF**: Pulse Repetition Frequency).

In figura è riportato anche in forma qualitativa lo spettro dell'onda rettangolare; è composto da infinite componenti spettrali, ognuna distanziata di un intervallo pari a $1/T = \text{PRF}$ e con una diversa ampiezza.

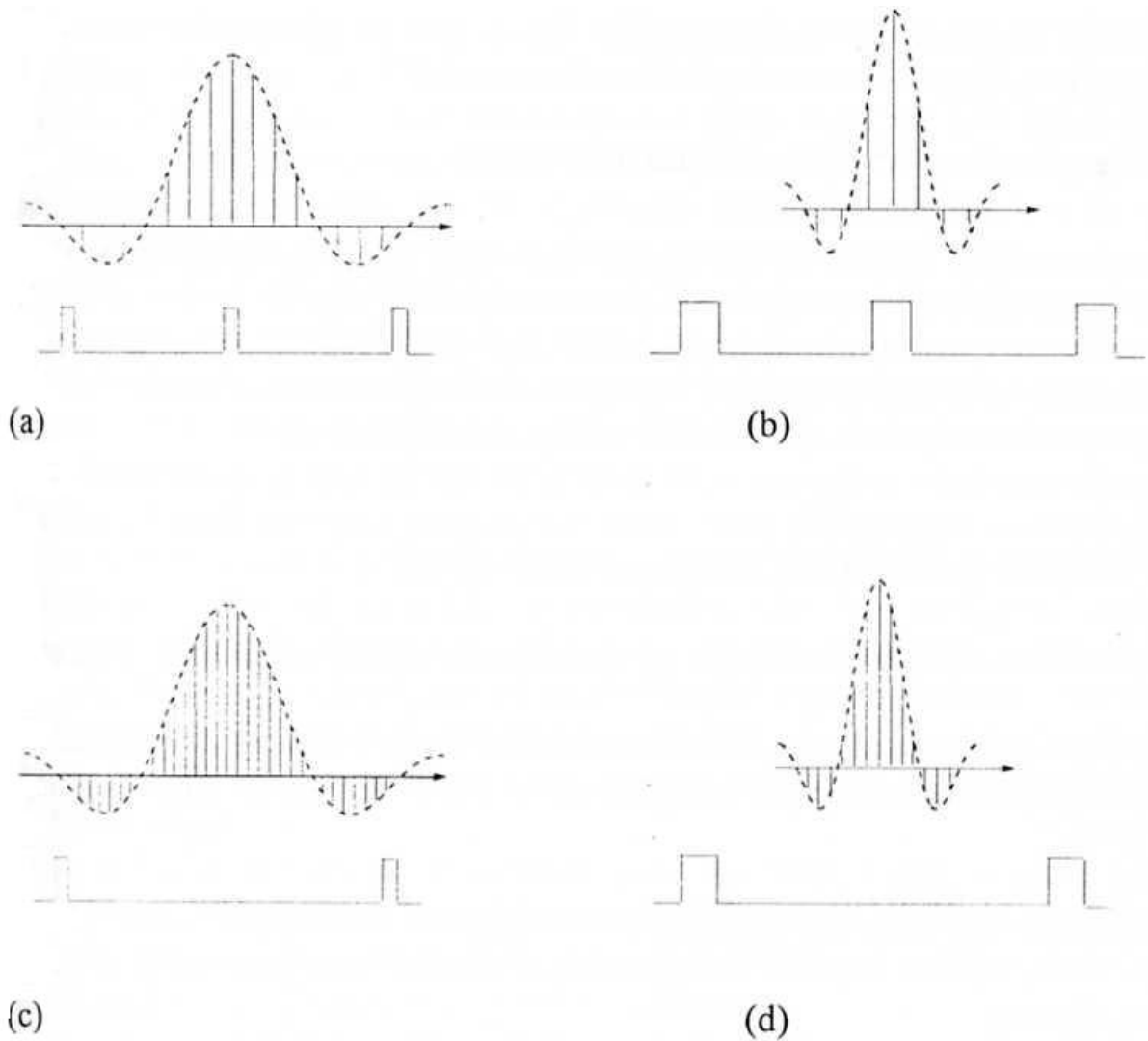
Spettro di un'onda sinusoidale modulata con un'onda rettangolare

Ricorrendo alla teoria della trasformata di Fourier si può dimostrare che lo spettro di un'onda di un'onda sinusoidale f_a modulata con un'onda rettangolare è formato da una componente fondamentale di frequenza f_a con infinite coppie simmetriche di componenti laterali, ognuna separata in frequenza di una quantità multipla di $1/T = \text{PRF}$ e con ampiezze il cui inviluppo è dato dalla funzione [sinc](#).



spettro di sinusoide modulata con onda rettangolare

Si possono fare alcune considerazioni.



andamento dello spettro di un segnale modulato con onda rettangolare

Nel grafico (a) si noti la distanza frequenziale fra le singole componenti ed i valori per i quali l'involuppo dello spettro si annulla. Questi parametri sono determinati dalle caratteristiche dell'onda rettangolare modulante, in particolare dal suo duty-cycle. Negli altri sono riportati gli spettri del segnale impulsato al variare dei parametri temporali dell'onda rettangolare modulante.

Nel grafico (b) si è lasciata inalterata la frequenza degli impulsi dell'onda rettangolare, mentre si è aumentata la loro durata. Trascurando l'influenza sull'ampiezza, si può notare che la distanza frequenziale fra le componenti è rimasta

inalterata, mentre si sono ridotte le ampiezze dei lobi dell'inviluppo e quindi all'interno di ogni lobo si ha un numero sempre minore di componenti.

All'aumentare della durata τ dei pacchetti, i lobi si restringono. Se la durata di un pacchetto diventa pari al periodo di ripetizione T , si ha un segnale CW.

Nel grafico (c) si è lasciata inalterata la durata τ di ogni singolo impulso del segnale modulante, mentre si è aumentato il suo periodo. Sempre trascurando l'effetto sull'ampiezza, si può notare che si infittiscono le righe spettrali, mentre rimane inalterata la forma dell'inviluppo.

Nel grafico (d) si è aumentata la durata degli impulsi, mentre si è diminuita la loro frequenza. Si può notare la diminuzione della distanza frequenziale delle singole componenti ed un contemporaneo restringimento della larghezza dei vari lobi.

Influenza della larghezza di banda del filtro selettivo

Dalla precedente serie di grafici dello spettro di un segnale impulsato è possibile comprendere la predisposizione che deve essere adottata per l'analisi di questa categoria di segnali.

Un parametro di fondamentale importanza per questo tipo di analisi è la **larghezza di banda B** del filtro selettivo. L'operatore ha la possibilità di sceglierlo generalmente, ma in questo tipo di analisi è imposto dalle norme.

Per l'analisi di un segnale impulsato si devono mettere in relazione fra loro la larghezza di banda B del filtro selettivo e la distanza frequenziale fra le varie componenti, funzione della frequenza di ripetizione dei pacchetti. E' possibile quindi fare la seguente suddivisione:

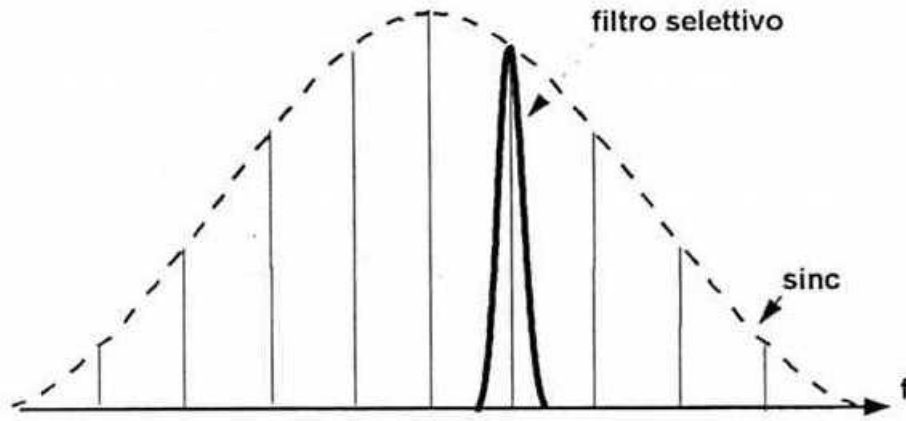
- larghezza di banda inferiore alla distanza fra le componenti. In questo caso si parla di analisi spettrale di **tipo line**;
- larghezza di banda superiore alla distanza fra le componenti in modo che all'interno del filtro siano sempre presenti contemporaneamente più componenti spettrali. In questo caso si parla di analisi spettrale di **tipo pulse**.

La distinzione fra i due tipi di analisi è solo funzione della larghezza di banda del filtro selettivo utilizzato, spesso imposto dalle norme, messo in relazione con il contenuto spettrale del segnale da analizzare.

E' importante sottolineare che i due tipi di analisi portano ad una presentazione dello spettro che deve essere interpretata diversamente, perciò è necessaria una certa cautela da parte dell'operatore nell'utilizzare i risultati forniti.

Analisi di tipo line

Si effettua un'analisi di tipo line se è soddisfatta la disuguaglianza $B < PRF$.

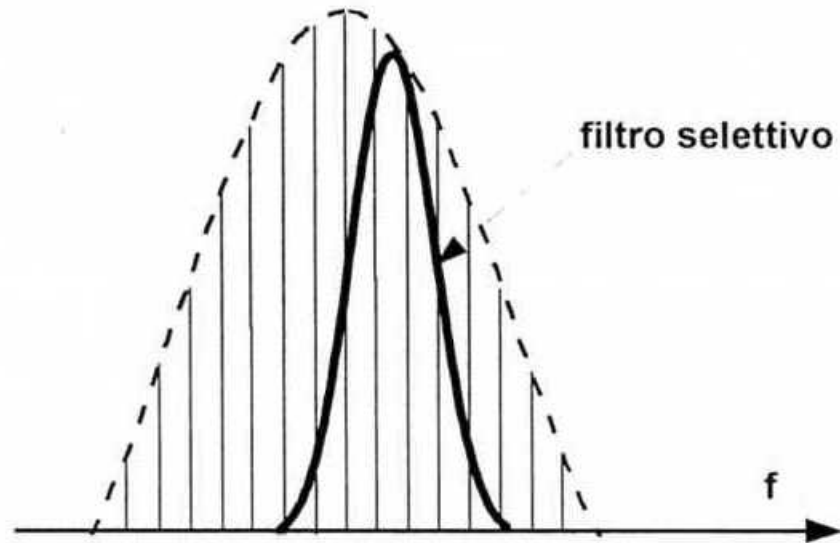


analisi spettrale di tipo line

Tenuto presente il comportamento reale dei blocchi che costituiscono un analizzatore di spettro, si può dimostrare che si effettua un'analisi di tipo line se come minimo risulta $B < 0.3 PRF$; per garanzia di operare nelle condizioni ipotizzate è preferibile sia soddisfatta la relazione $B < 0.1 PRF$.

Analisi di tipo pulse

Nel caso si debba effettuare una analisi spettrale con $B > PRF$, cioè con una banda passante B del filtro selettivo maggiore della distanza frequenziale fra due componenti, ci si trova nelle condizioni schematizzate in figura.



analisi spettrale di tipo pulse

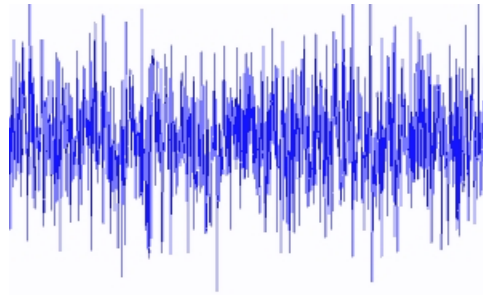
Si può dimostrare che lo strumento effettua l'analisi con modalità di tipo pulse se la disuguaglianza è almeno $B > 1.7PRF$, ma sempre in modo tale per cui all'interno della banda del filtro siano comprese più componenti spettrali, ma non più lobi; non si deve quindi superare la quantità $1/\tau$.

Il rumore come segnale da analizzare

Si verifica sovente che nell'analisi spettrale si abbia all'ingresso un rumore, che si vuole caratterizzare nei confronti della compatibilità elettromagnetica.

Si può considerare un rumore o disturbo un segnale con un andamento temporale del tutto casuale con nessuna ripetitività fra le singole porzioni. Uno dei pochi parametri che si può utilizzare per la descrizione di questo tipo di segnali è **la distribuzione della loro ampiezza**.

Per semplicità supponiamo di avere a che fare con una distribuzione di tipo gaussiano, cioè tale che i valori di ampiezza siano distribuiti secondo una curva "a campana".

*rumore*

I parametri che caratterizzano un segnale con distribuzione gaussiana sono **il valore centrale** o medio, **la varianza** o la sua radice quadrata che prende il nome di **deviazione standard**.

Nel caso il valore medio sia nullo la varianza può essere interpretata come la potenza dissipata su una resistenza di 1 Ohm, mentre la deviazione standard del rumore coincide con il suo valore efficace.

Argomenti correlati

[La compatibilità elettromagnetica, prima parte](#)

[La compatibilità elettromagnetica, seconda parte](#)

Appendici

[La funzione sinc](#)

[I decibel](#)

Bibliografia

Appunti e dispense prof. C.Offelli

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Guerra:la-compatibilit-elettromagnetica-terza-parte>"