

## Esercitazione

# Analisi armonica

### 1 - Oggetto

---

- Analisi di segnali nel dominio della frequenza (DFT e FFT).
- Aspetti operativi per il corretto campionamento.
- Strumenti virtuali per l'analisi armonica.

### 2 - Strumentazione impiegata

---

- Scheda DAQ National Instruments PCI 6024E
- Software National Instruments Labview
- Generatore di forme d'onda arbitrarie Agilent 33120A

### 3 - Analisi di segnali nel dominio della frequenza

---

Viene effettuata una elaborazione numerica di segnali, per ottenere informazioni riguardo al loro spettro in frequenza. Lo spettro analizzato risulta limitato alla banda compresa tra la frequenza zero e quella di campionamento.

I segnali trattati sono stati ottenuti sia per via sperimentale sia attraverso simulazione. Nel primo caso il segnale prodotto dal generatore di funzione viene acquisito dalla scheda plug-in, nel secondo caso è lo stesso strumento virtuale, realizzato con LabView, che genera un segnale in forma numerica e ne effettua l'analisi armonica.

Tale strumento, *Generator & FFT.VI*, consente di:

- impostare la frequenza del segnale  $f_0$ ,
- scegliere il tipo di forma d'onda (sinusoidale, rettangolare e triangolare),
- aggiungere, eventualmente, un prefissato ammontare di rumore gaussiano,
- assegnare la durata della finestra di osservazione  $T_w$  e il numero totale di campioni  $N$ .

Su questi campioni applica l'algoritmo FFT (o la DFT a seconda del numero di campioni acquisiti) e visualizza sia la forma d'onda che il suo spettro in frequenza (modulo e fase).

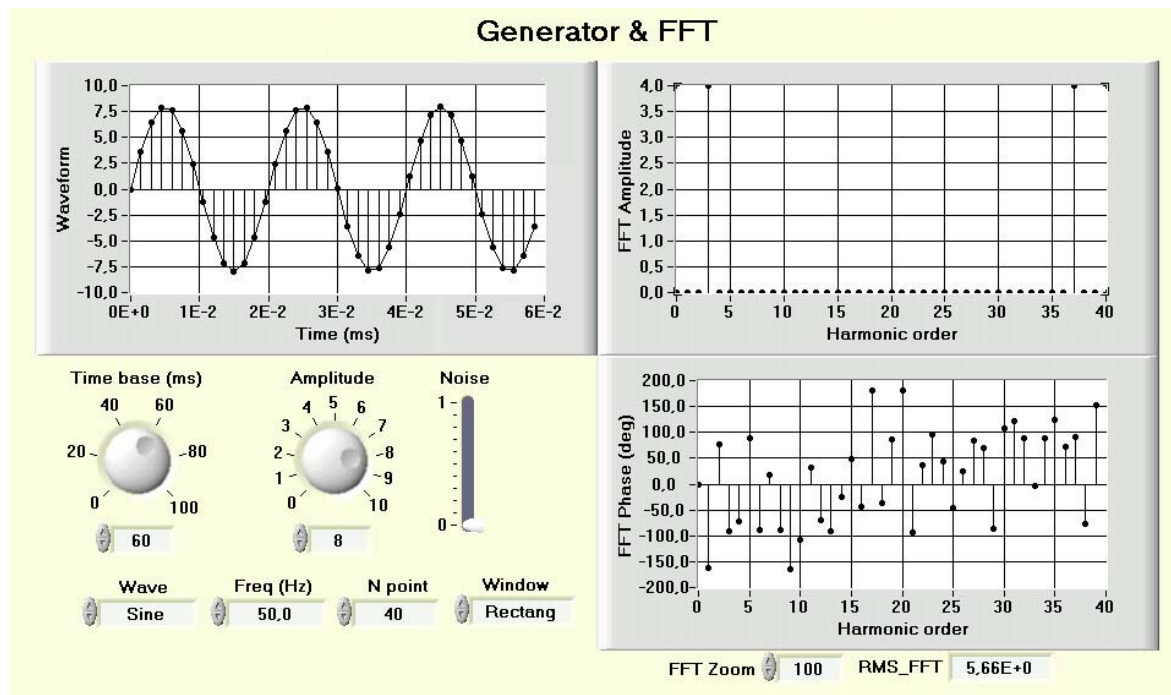
#### Aspetti operativi per il corretto campionamento

Per analizzare gli effetti dei fenomeni di *aliasing* e *leakage* si variano la frequenza  $f_0$  del segnale di ingresso, il numero  $N$  di campioni acquisiti per forma d'onda e la velocità di campionamento.

Nella Fig.3.1 è riportato il pannello frontale dello strumento virtuale *Generator & FFT.VI*.

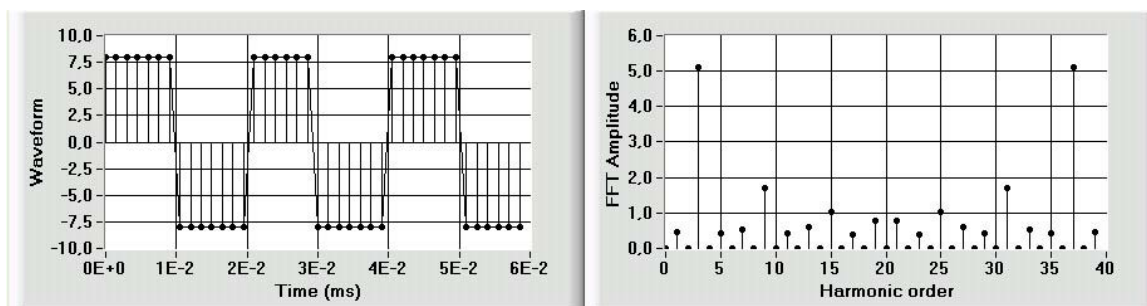
Questo mostra un segnale sinusoidale correttamente campionato, in modo da valutare la FFT su una finestra contenente un numero esatto di periodi della fondamentale:  $T_w=3T_0$ .

In tal caso, la FFT rivela perfettamente l'unica riga effettivamente presente nello spettro, corrispondente alla frequenza  $f_0=50$  Hz, ed evidenzia anche la prima replica attorno alla frequenza di campionamento. Si noti che lo strumento valuta un numero di componenti spettrali pari al numero  $N$  dei campioni utilizzati. Nell'esempio, il numero di campioni è 40 e la risoluzione in frequenza è pari a  $1/3$  della fondamentale  $f_0$ . Si noti anche come una sinusoide con ampiezza pari a 8, abbia uno spettro con due righe, ciascuna con altezza pari a 4.



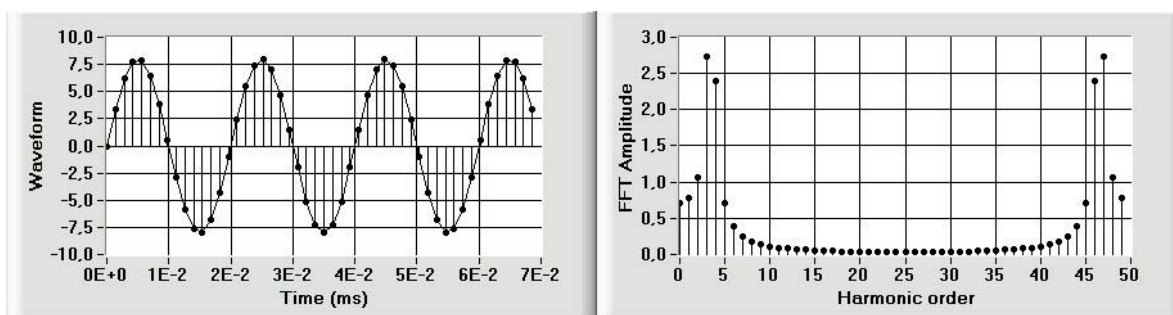
**Fig.3.1** - Pannello frontale dello strumento *Generator & FFT.VI*;  
 $f_0=50\text{Hz}$ ;  $T_w=3T_0$ ;  $N=40$ .

In Fig.3.2 è riportato il caso di un segnale rettangolare campionato per un numero intero di periodi della fondamentale. Tuttavia, poiché lo spettro in banda base è infinitamente esteso, è presente inevitabilmente l'*aliasing* e l'interferenza con la prima replica dello spettro.



**Fig.3.2** - Segnale rettangolare:  $f_0=50\text{Hz}$ ;  $T_w=3T_0$ ;  $N=40$ .

Nella Fig.3.3 è riportato, invece, il caso in cui l'onda sinusoidale è campionata in modo da interessare un numero non intero di periodi della fondamentale, in particolare  $T_w=3.5T_0$ . È presente in tal caso la distorsione di *leakage*, ovvero di dispersione spettrale.

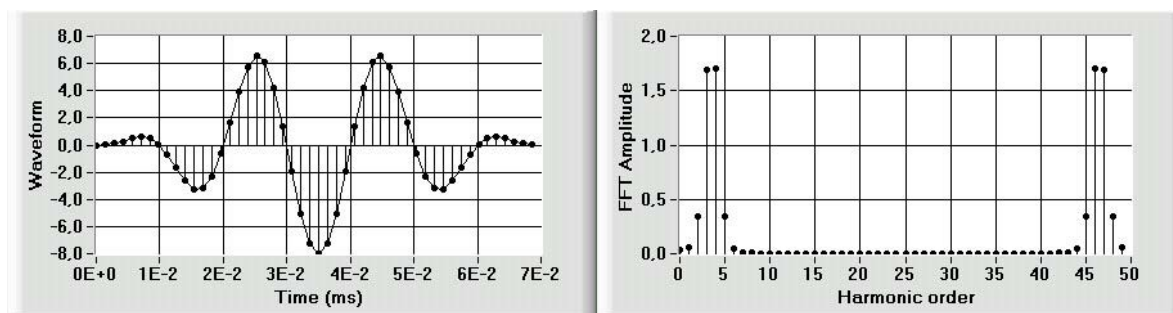


**Fig.3.3 - Sincronizzazione non corretta:**  $f_0=50\text{Hz}$ ;  $T_w=3.5T_0$ ;  $N=50$ .

Esiste la possibilità di ridurre il fenomeno della dispersione spettrale di *leakage* mediante l'impiego di opportune finestre di campionamento (*smoothing windows*).

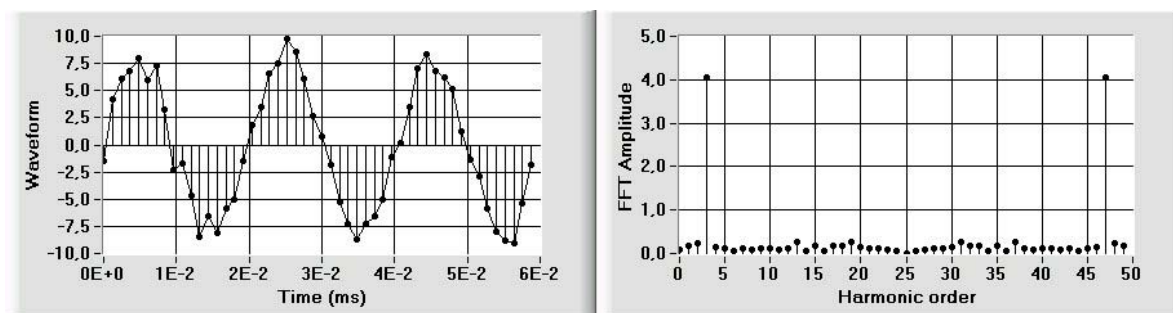
Nella Fig.3.4 viene riportato ancora il caso del segnale sinusoidale campionato con  $T_w=3.5T_0$ , ma che è stato trattato una finestra di Hanning, molto usata nella pratica. L'osservazione dello spettro conferma l'attesa diminuzione del fenomeno di dispersione spettrale.

In pratica, sono disponibili numerose finestre di campionamento; però non ne esiste una preferibile in generale. Infatti la bontà dei risultati conseguibili dipende, volta per volta, dallo specifico andamento del segnale di ingresso.



**Fig.3.4 - Finestra di Hanning su segnale sinusoidale:**  $f_0=50\text{Hz}$ ;  $T_w=3.5T_0$ ;  $N=50$ .

La Fig.3.5 mostra l'effetto del rumore additivo di tipo gaussiano, sovrapposto a un segnale sinusoidale campionato correttamente. L'influenza del rumore sul riconoscimento delle righe spettrali è meno marcata del caso in cui si verifica la mancata sincronizzazione.



**Fig.3.5 – Segnale sinusoidale con rumore additivo gaussiano.**

### Esempio di acquisizione e analisi armonica

L'analisi spettrale su dati campionati relativi a segnali periodici, sia acquisiti direttamente tramite scheda, sia richiamati da file, richiede l'impiego di un algoritmo che consenta di valutare correttamente la frequenza fondamentale.

In tal modo è possibile impiegare solo i campioni che cadono entro una finestra di osservazione contenente uno o più periodi completi del segnale.

Ci si pone quindi nelle condizioni ottimali per l'esecuzione di una corretta analisi armonica.

Uno strumento virtuale che realizza queste considerazioni è *DVM & FFT*, il cui pannello frontale è riportato in Fig.3.6. Il calcolo dello spettro viene svolto sui campioni che cadono entro un solo periodo; pertanto è stata prevista preliminarmente la valutazione della frequenza fondamentale  $f_0$  tramite il noto strumento *Frequency.VI*.

Nell'esempio di applicazione raffigurato in Fig.3.6, è stata analizzata la forma d'onda della corrente di magnetizzazione assorbita da un trasformatore a vuoto, rilevata sperimentalmente in laboratorio. In si nota che lo spettro a righe di tale corrente contiene sostanzialmente, oltre alla fondamentale a 50 Hz, anche le armoniche 3, 5 e 7.

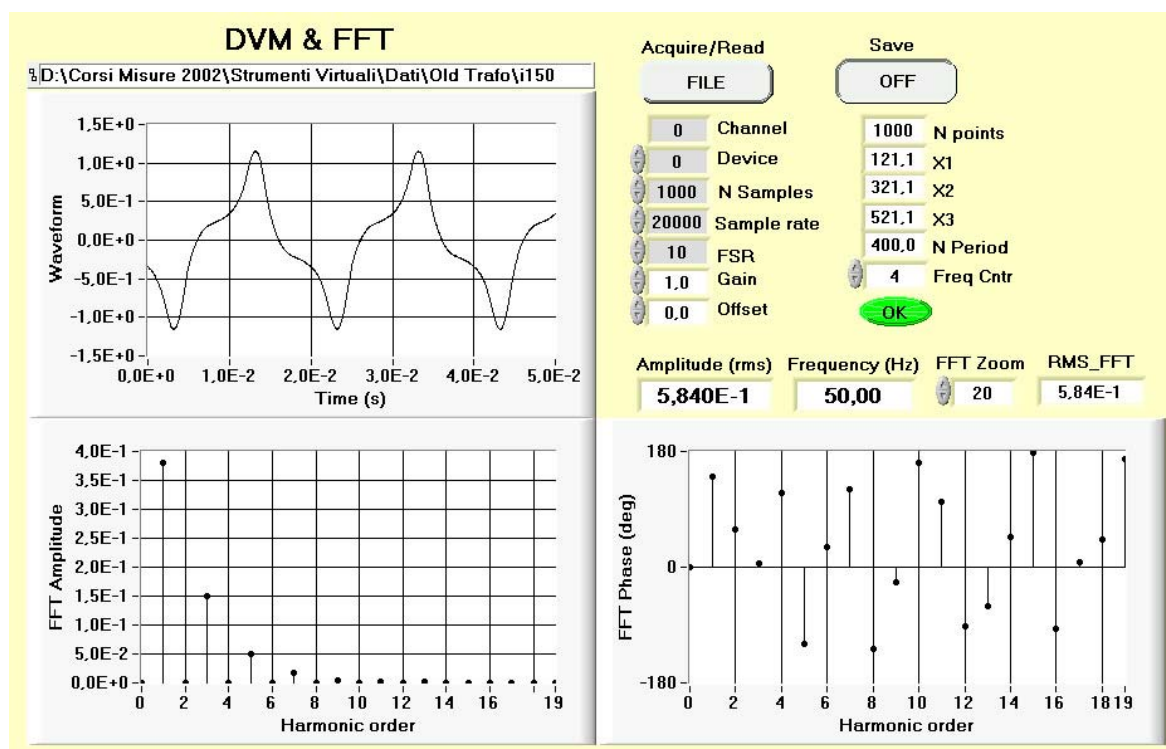


Fig.3.6 - Corrente di magnetizzazione di un trasformatore e suo spettro.