

GX LII-2

Analisi FFT globale delle acquisizioni A/B

Guida all'uso dello script GNU Octave `fft_partitore.m`

Scopo: individuare automaticamente le componenti spettrali residue più significative presenti nell'intera campagna di misura di un singolo partitore, mantenendo separate le configurazioni A e B.

Versione della guida: 1.0 - agosto 2026. La guida descrive il comportamento dello script `fft_partitore.m` allegato.

GNU Octave | CSV Rigol | CH1 = VSENSE | CH2 = VOUT

1. Scopo e filosofia dell'analisi

Lo script non nasce per produrre una FFT da osservare manualmente per ogni CSV. Una campagna completa contiene molte acquisizioni e genererebbe un numero eccessivo di grafici. L'obiettivo è invece comprimere l'informazione spettrale dell'intera campagna in un riepilogo leggibile.

Per ciascun partitore vengono elaborate separatamente tutte le acquisizioni A e tutte le acquisizioni B. Dopo aver rimosso la componente continua e la fondamentale intenzionale, lo script calcola lo spettro residuo e conserva, per ogni frequenza, il massimo coefficiente osservato nella campagna.

La domanda a cui risponde e quindi:

Quali componenti spettrali, oltre alla fondamentale di prova, sono riuscite a emergere maggiormente nell'intera serie A e nell'intera serie B?

Importante: lo script non decide automaticamente la causa fisica di un picco. Una componente può essere un'armonica, una spuria della fixture o della catena di acquisizione, una risonanza, un alias oppure un altro fenomeno da verificare.

2. Struttura attesa della cartella

Lo script è pensato per essere copiato direttamente nella directory del singolo partitore. Nella stessa cartella devono essere presenti i CSV e il file di associazione già usato per l'analisi Bode.

```
banco_taratura/
├── 1k/
│   ├── fft_partitore.m
│   ├── associazione_bode_1k.csv
│   ├── 001_10kHz_A.csv
│   ├── 001_10kHz_B.csv
│   ├── 002_20kHz_A.csv
│   ├── 002_20kHz_B.csv
│   └── ...
```

Formato del file di associazione:

```
frequenza, file_A, file_B
10kHz, 001_10kHz_A.csv, 001_10kHz_B.csv
20kHz, 002_20kHz_A.csv, 002_20kHz_B.csv
...
```

3. Convenzione dei canali

Canale	Significato
CH1	VSENSE
CH2	VOUT

Entrambi i canali vengono analizzati. Nel riepilogo, per ogni frequenza viene riportato il valore maggiore tra CH1 e CH2, ma il CSV di output conserva anche l'informazione su quale canale ha prodotto quel massimo.

4. Sequenza di elaborazione

Per ciascun CSV lo script esegue questa catena di operazioni:

Passo	Operazione	Funzione
1	Lettura CSV	Legge Increment, CH1 e CH2.
2	Associazione f_test	Ricava la frequenza intenzionale dal file di associazione.
3	Griglia comune	Seleziona l'Increment piu comune e un N comune di campioni.
4	Fit nel tempo	Sottrae DC e fondamentale esatta f_test.
5	Finestra Hann	Riduce la leakage spettrale.
6	FFT monolatera	Calcola lo spettro in ampiezza equivalente Vpk.
7	Aggregazione	Costruisce separatamente gli involucri massimi A e B.
8	Picchi	Seleziona i massimi locali piu forti e li classifica.

5. Griglia temporale e bin FFT

Per confrontare direttamente le FFT e necessario che i file selezionati abbiano la stessa griglia di frequenza. Lo script controlla quindi Increment e numero di campioni.

Dall'Increment temporale si ricava:

$$f_s = 1 / \Delta t$$

Fra i file viene scelto l'Increment piu comune. I file con Increment differente vengono esclusi e segnalati nel terminale.

Fra i file compatibili viene poi scelto:

$$N_{comune} = \min(N_i)$$

Ogni acquisizione viene ritagliata centralmente a N_{comune} campioni. La risoluzione spettrale diventa:

$$\Delta f = 1 / (N_{comune} * \Delta t) = 1 / T$$

I bin sono i punti discreti della griglia FFT: $f_k = k * \Delta f$. Usare lo stesso Δt e lo stesso N significa quindi confrontare bin che corrispondono alle stesse frequenze.

Esempio tipico: con Increment = 4 ns e N = 300000 si ottengono $f_s = 250$ MS/s, $T = 1.2$ ms, Δf circa 833.3 Hz e Nyquist = 125 MHz.

6. Rimozione della fondamentale

La fondamentale non viene eliminata cancellando semplicemente il bin piu vicino. Lo script esegue un fit sinusoidale alla frequenza esatta indicata nel file di associazione:

$$x(t) = A \sin(2 \pi f_0 t) + B \cos(2 \pi f_0 t) + C$$

Il residuo usato per la FFT e:

$$r(t) = x(t) - x_{fit}(t)$$

Questa scelta riduce molto il rischio che la fondamentale intenzionale e la sua leakage dominino lo spettro residuo. Le armoniche $2*f_0$, $3*f_0$, ecc. non vengono rimosse e rimangono quindi disponibili per l'analisi.

7. Finestra Hann e normalizzazione

Prima della FFT viene applicata una finestra Hann. La finestra riduce la dispersione spettrale quando una componente non cade esattamente al centro di un bin. Lo script compensa il guadagno coerente della finestra e restituisce lo spettro monolatero in Vpk.

$$w[n] = 0.5 - 0.5 \cos(2 \pi n / (N - 1))$$

8. Aggregazione globale A e B

Le configurazioni A e B restano sempre separate. Per ciascun bin viene conservato il massimo coefficiente trovato in tutta la campagna:

$$S_A(f) = \max_i |X_A,i(f)|$$

$$S_B(f) = \max_i |X_B,i(f)|$$

CH1 e CH2 vengono prima accumulati separatamente. Nel riepilogo, a ogni frequenza, viene scelto il maggiore dei due e viene memorizzato anche il file di origine.

Interpretazione: S_A e S_B non sono spettri medi. Sono involuppi dei massimi osservati. Servono a scoprire quali righe spettrali sono state più forti almeno una volta durante la campagna.

9. Selezione dei picchi

Lo script cerca i massimi locali nello spettro aggregato e seleziona i più forti. I due parametri principali sono:

```
numero_picchi = 20;
separazione_picchi_bin = 3;
```

Parametro	Significato
numero_picchi	Numero massimo di componenti riportate per A e per B.
separazione_picchi_bin	Distanza minima, in bin, tra due picchi selezionati; evita di contare più volte la stessa struttura spettrale.

10. Classificazione delle armoniche

Per il CSV che ha prodotto il massimo di una determinata componente, lo script verifica se la frequenza del picco è compatibile con un multiplo intero della frequenza di prova:

$$f_p \text{ circa } n * f_test, \text{ con } n \geq 2$$

Se la condizione è soddisfatta, la colonna classificazione contiene armonica_n. In caso contrario viene scritto non_classificata.

Attenzione agli ordini molto elevati: la classificazione è formale. Una spuria fissa a 62.5 MHz, se il massimo proviene da una misura a 10 kHz, può risultare matematicamente "armonica_6250". Questo non dimostra che sia realmente la 6250a armonica. Per interpretare correttamente il risultato vanno controllati anche ftest_sorgente_Hz, il file sorgente e la ricorrenza della stessa frequenza in altre misure.

11. File prodotti

File	Contenuto
fft_top_A.csv	Picchi residui piu forti dell'insieme A.
fft_top_B.csv	Picchi residui piu forti dell'insieme B.
fft_spettro_massimo.csv	Spettro aggregato completo, bin per bin, per CH1/CH2 e A/B.
fft_riassunto_AB.png	Una figura con due pannelli: A sopra e B sotto.

11.1 Colonne di fft_top_A.csv e fft_top_B.csv

Colonna	Significato
f_Hz	Frequenza del bin selezionato.
amp_Vpk	Ampiezza massima osservata, espressa in Vpk.
amp_dBVpk	$20 \log_{10}(\text{amp_Vpk})$.
canale	CH1_VSENSE oppure CH2_VOUT.
ftest_sorgente_Hz	Frequenza intenzionale del CSV che ha prodotto il massimo.
file_sorgente	Nome del CSV da cui proviene il massimo.
classificazione	armonica_n oppure non_classificata.

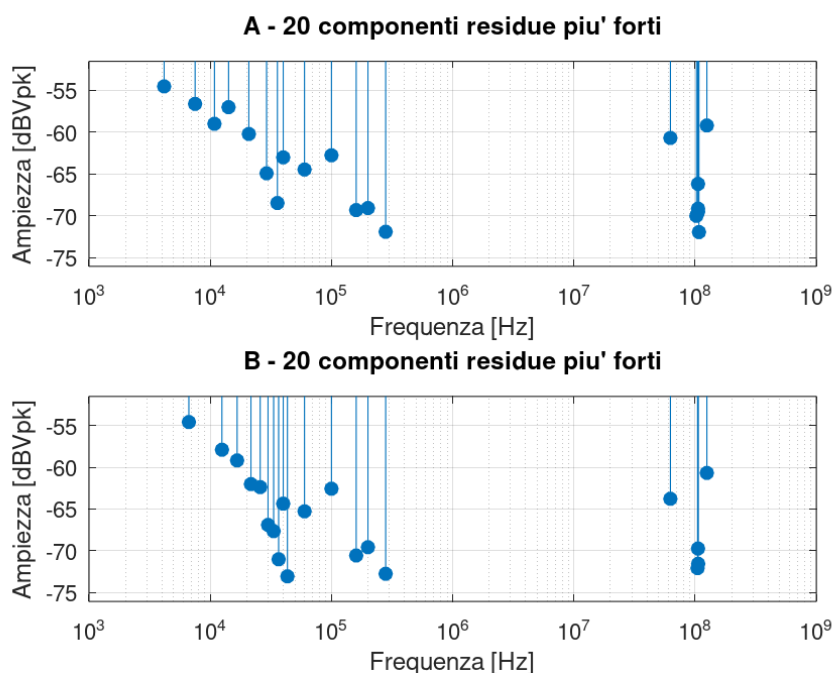
11.2 Colonne di fft_spettro_massimo.csv

f_Hz, A_CH1_max_Vpk, A_CH2_max_Vpk, A_max_Vpk,
B_CH1_max_Vpk, B_CH2_max_Vpk, B_max_Vpk

Questo file conserva l'intero risultato aggregato e permette di eseguire analisi successive senza ricalcolare tutte le FFT.

12. Grafico riassuntivo

La figura contiene due pannelli nella stessa finestra. L'asse X è logaritmico e rappresenta la frequenza; l'asse Y è espresso in dBVpk. I due pannelli usano la stessa scala verticale per facilitare il confronto diretto tra A e B.



Esempio reale di fft_riassunto_AB.png per una campagna resistiva.

13. Istruzioni d'uso

1. Copiare fft_partitore.m nella directory del partitore da analizzare.
2. Verificare che nella stessa directory siano presenti i CSV A/B e il file di associazione.
3. Aprire GNU Octave e portarsi nella directory del partitore.

```
cd('D:\circuiti\analisi_bode\banco_taratura\1k')
```

4. Eseguire lo script digitando:

```
fft_partitore
```

5. Controllare nel terminale Increment, numero di file compatibili, N comune, Delta f e Nyquist.
6. Al termine, aprire fft_riassunto_AB.png e soprattutto fft_top_A.csv / fft_top_B.csv per l'interpretazione dei picchi.

14. Se sono presenti piu file di associazione

Se nella cartella esiste piu di un file che contiene la parola associazione, lo script interrompe l'esecuzione. In questo caso impostare esplicitamente il nome all'inizio del programma:

```
fileAssociazione = 'associazione_bode_1k.csv';
```

15. Parametri modificabili

```
numero_picchi = 20;
separazione_picchi_bin = 3;
salva_png = true;
mostra_tabella_terminale = true;
fileAssociazione = '';
```

Parametro	Uso
numero_picchi	Aumentare se si desidera una lista piu lunga di componenti significative.
separazione_picchi_bin	Aumentare se una singola struttura produce troppi massimi ravvicinati.
salva_png	Se false, mostra la figura ma non salva il PNG.
mostra_tabella_terminale	Se false, non stampa la classifica nel terminale; i CSV vengono comunque creati.
fileAssociazione	Lasciare vuoto per ricerca automatica oppure indicare il nome esatto.

16. Cosa controllare durante l'esecuzione

- Increment di riferimento e frequenza di campionamento.
- Numero di file compatibili rispetto al totale.
- Eventuali CSV esclusi per Increment differente.
- N comune e durata temporale effettivamente analizzata.
- Delta f, cioè la spaziatura dei bin FFT.
- Frequenza di Nyquist.
- File sorgente e frequenza di prova associati ai picchi principali.