

# AGGREGAZIONE DI EMISSIONI CONDOTTE IN RETI DC: STUDIO E MODELLISTICA

L. Sandrolini<sup>1</sup>, M. Simonazzi<sup>1</sup>, A. Mariscotti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione – DEI  
Università di Bologna – Viale del Risorgimento 2, 40136 Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni – DITEN  
Università di Genova – Via alla Opera Pia 11a, 16145 Genova

Le reti DC presentano vantaggi rilevanti in termini di efficienza, minori perdite di conversione e integrazione più semplice con convertitori e dispositivi elettronici. Tuttavia, l'integrazione massiccia di dispositivi di commutazione, come inverter e convertitori DC-DC, comporta nuove sfide in termini di compatibilità elettromagnetica (EMC), soprattutto legate alle emissioni condotte a bassa frequenza. Queste emissioni, tipicamente comprese nell'intervallo di frequenze tra 2 kHz e 150 kHz (detto anche intervallo delle *supraharmonics*), non sono coperte adeguatamente dalle tecniche di filtraggio tradizionali [1]. La loro propagazione lungo i cavi DC può generare interferenze con sistemi di comunicazione, degrado della qualità dell'energia e malfunzionamenti di dispositivi sensibili [2]. La letteratura recente ha evidenziato la necessità di strumenti e metriche per caratterizzare queste emissioni. Tra le proposte più significative vi sono due indici definiti per le emissioni condotte a bassa frequenza in reti DC, che non richiedono ipotesi sul tipo di raddrizzatore utilizzato o sulla sincronizzazione rispetto alla rete DC a monte. Per valutare l'effetto aggregato delle emissioni, sono stati impiegati due indici:

- LFSD (Low Frequency Sinusoidal Disturbance): una misura in dominio della frequenza dell'ampiezza complessiva delle componenti sinusoidali a bassa frequenza (analoghe agli armonici), normalizzata rispetto al valore medio DC.
- SA (Sum of Amplitudes): somma delle ampiezze spettrali relative, che riflette in maniera più diretta il concetto di ripple in ambito DC.

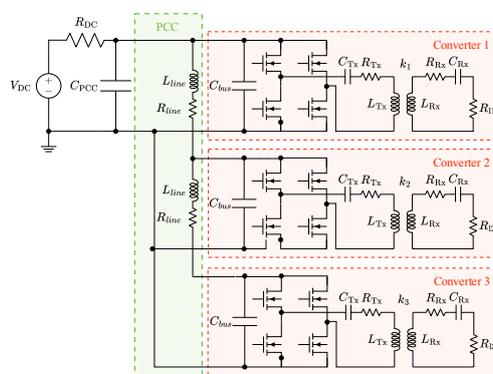


Fig. 1: schema circuitale di una rete DC con tre caricabatterie wireless in derivazione.

A differenza dei tradizionali indici di distorsione armonica per sistemi AC (come il THD), il LFSD e il SA sono concepiti per la natura unidirezionale e senza componente fondamentale

dei segnali in DC. Le grandezze elettriche considerate includono tensioni ai capi dei condensatori dei bus DC, la tensione al punto di connessione comune (PCC), le correnti in ingresso ai convertitori e la corrente fornita dalla sorgente DC. Particolare attenzione è stata posta alle reti che alimentano cariche wireless, o Wireless Power Transfer (WPT), assunti tipicamente identici e connessi in derivazione alla rete DC, come mostrato in Fig. 1. Sono stati simulati 90 scenari differenti, combinando tre configurazioni di carico e tre combinazioni del coefficiente di accoppiamento, variando per ciascuno in modo casuale anche la fase del PWM tra i tre convertitori. I risultati ottenuti sono stati analizzati statisticamente per cogliere le tendenze generali e l'entità delle emissioni nei diversi punti della rete e sono mostrati in Fig. 2. I grafici mostrano che l'effetto aggregato delle emissioni è fortemente influenzato dalle condizioni operative, anche quando i convertitori sono nominalmente identici.

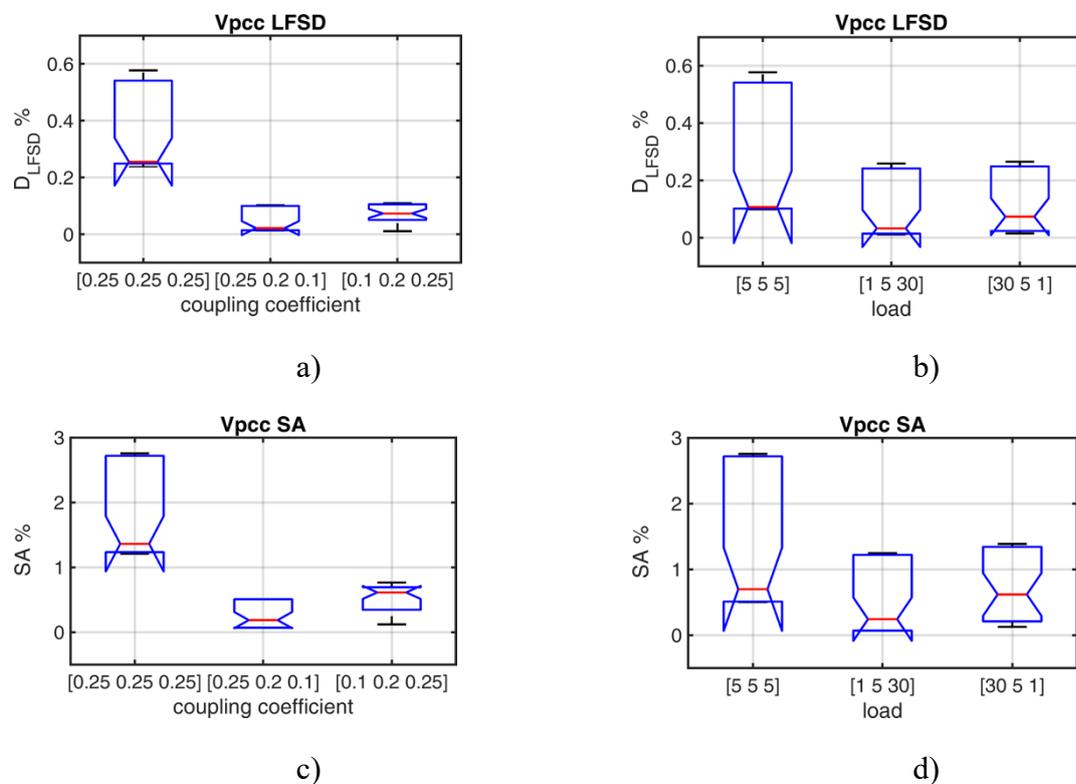


Fig. 2: distribuzione stocastica del valore degli indici LFSD e SA per i casi di variazione di coefficiente di accoppiamento, rispettivamente a) e c), e carico rispettivamente b) e d).

Questa analisi mette in luce l'importanza di studiare il comportamento congiunto di più convertitori in reti DC, sottolineando come la sola valutazione dei singoli dispositivi non sia sufficiente per garantire la compatibilità elettromagnetica dell'intera rete.

- [1] Mariscotti, A.; Sandrolini, L.; Simonazzi, M. Supraharmonic Emissions from DC Grid Connected Wireless Power Transfer Converters. *Energies* 2022, 15, 5229.
- [2] A. Mariscotti, L. Sandrolini and M. Simonazzi, "Wide-Frequency Equivalent Circuit Modelling of a DC/DC Converter for Conducted Emissions," 2024 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe, Brugge, Belgium, 2-5 Sep. 2024, pp. 798-803, doi: 10.1109/EMCEurope59828.2024.10722719.