

ANALISI TEORICA E SPERIMENTALE DI INVERTER MULTILIVELLO

G. Grandi, J. Loncarski, M. Srndovic

Dip.to di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione - DEI
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

L'attività nel settore di circuiti elettronici di potenza presso l'Unità di Bologna ha visto dapprima il completamento dell'analisi del *ripple* della corrente di uscita negli inverter PWM multifase a tensione impressa [1] con alcune verifiche sperimentali su sistemi trifase e penta-fase [2], in collaborazione con la Liverpool John Moores University (UK).

L'analisi è stata recentemente estesa ai convertitori trifase multilivello, con particolare riferimento alla configurazione cascaded H-bridge a tre livelli. In particolare, è stato possibile determinare analiticamente una "mappatura" dell'ampiezza picco-picco del *ripple* di corrente di uscita. In Fig. 1 è rappresentato l'andamento del *ripple* normalizzato di corrente (r) nel primo quadrante, facilmente estendibile per simmetria all'intero periodo. Lo studio del *ripple* negli inverter a tre livelli (3L) ha consentito una comparazione con il *ripple* degli inverter tradizionali a due livelli (2L), a parità di tensione massima di uscita ed a parità di tensione di cella in funzione dell'indice di modulazioni (m), come mostrato in Fig. 2 (*ripple* medio, r_{avg}).

Sempre grazie alla collaborazione con il gruppo del prof. Levi della Liverpool John Moores University, è stato inoltre possibile validare sperimentalmente gli sviluppi analitici e numerici, ottenendo ottimi risultati [3], alcuni dei quali sono mostrati in Fig. 3.

L'attività di studio teorico e sperimentale sul *ripple* di corrente nei convertitori multifase e multilivello è stata riorganizzata e presentata nella Tesi di Dottorato [4], che ha recentemente ottenuto un premio ed il riconoscimento di "Outstanding PhD research" da parte di Springer.

Lo studio delle modulazioni "carried-based" e "space-vector" per gli inverter trifase multilivello ha anche portato alla sintesi di un algoritmo di modulazione originale, che consente di implementare molto semplicemente la modulazione ottimale, basata sul cosiddetto "centraggio" degli impulsi di tensione corrispondenti ai livelli "pivot" [5]. L'algoritmo proposto è stato verificato sia a livello di simulazioni numeriche, sia a livello sperimentale [6], con implementazione sul semplice ed economico processore Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3, e piattaforma di sviluppo "Arduino DUE" (costo 36 €). In Fig. 4 sono mostrati alcuni risultati.

Sempre con riferimento alla tecnologia multilivello, a completamento dell'attività in collaborazione con il Gruppo di Ricerca del prof. Borghi, è stato ultimato il generatore multilivello con forme d'onda di tensione arbitrarie (20 kHz, ± 15 kV), che ha consentito l'esecuzione di una gamma molto ampia di test su attuatori al plasma a scarica a barriera (DBD) [7].

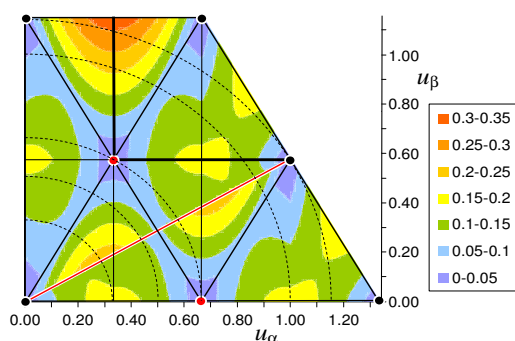


Fig. 1: Mappa del *ripple* di corrente normalizzato nel primo quadrante della tensione di uscita (in per unit).

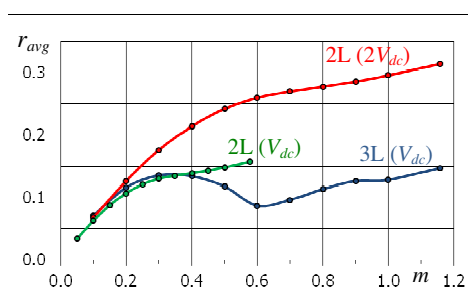


Fig. 2: Valor medio del *ripple* di corrente in funzione dell'indice di modulazione per inverter a 2 e 3 livelli.

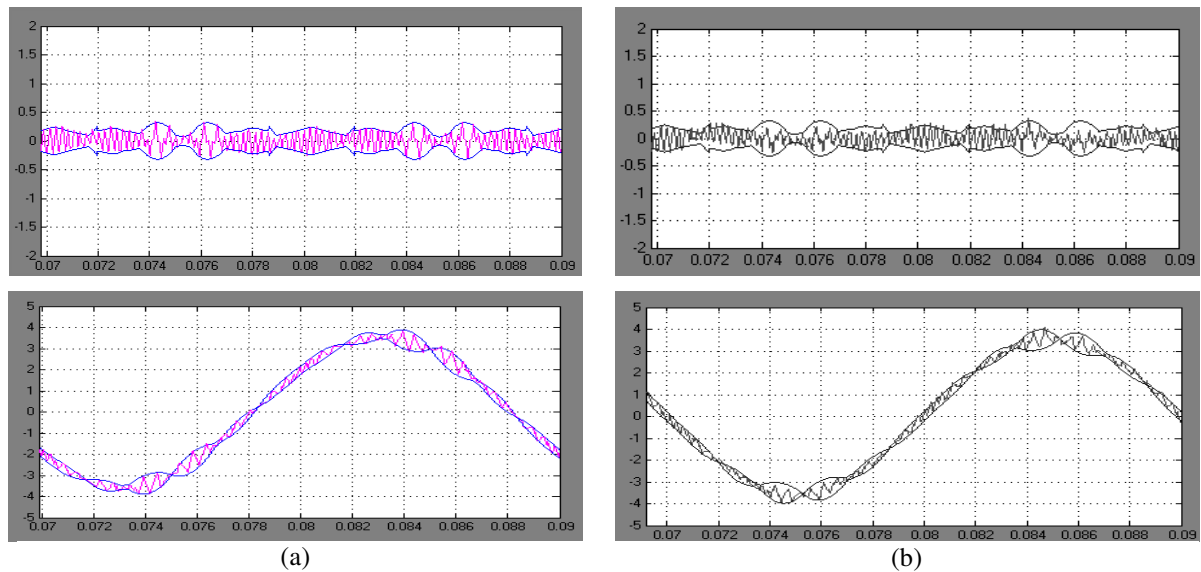


Fig. 3: *Ripple della corrente d'uscita (in alto) e valore istantaneo della corrente (in basso) con evidenziato l'involuppo teorico nel caso inverter a 3 livelli ($m=1$): (a) simulazioni numeriche, (b) risultati sperimentali.*

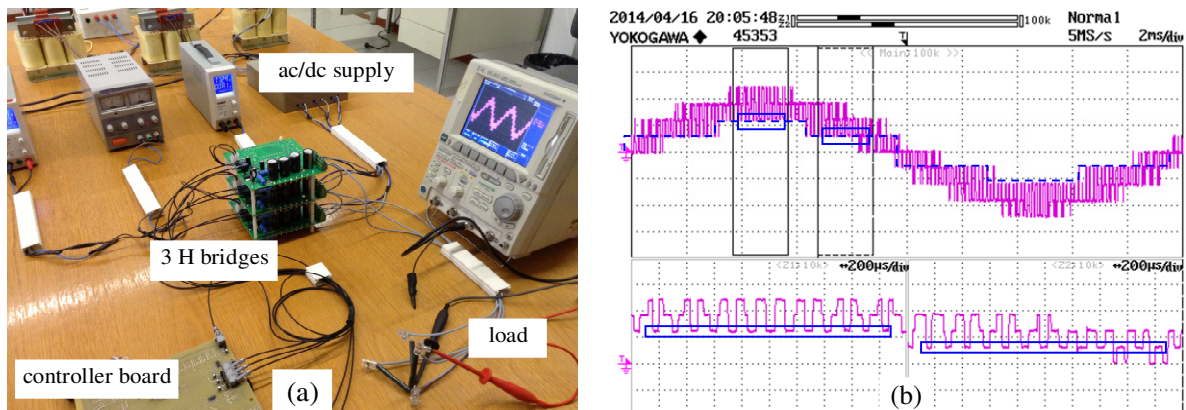


Fig. 4: *Inverter trifase H-bridge a tre livelli realizzato presso l'Unità di Bologna: (a) setup sperimentale, (b) esempio di tensione di fase d'uscita con zoom sui livelli di tensione pivot ($m=1$)*

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Grandi, J. Loncarski: "Analisi e confronto dell'oscillazione picco-picco di corrente negli inverter multi-fase", XXIX Riunione Annuale dei Ricercatori di Elettrotecnica, ET13, Padova, 2013.
- [2] J. Loncarski, O. Dordevic, G. Grandi, "Experimental Verification of Current Ripple Amplitude in Five-Phase PWM VSIs," Proc. of 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Wien (Austria), 10-13 Nov. 2013. doi: [10.1109/IECON.2013.6699977](https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6699977)
- [3] G. Grandi, J. Loncarski, O. Dordevic: "Analytical evaluation of output current ripple amplitude in three-phase three-level inverters", accettato ed in fase di pubblicazione, IET Power Electronics Journal, 2014, doi: [10.1049/iet-pel.2013.0837](https://doi.org/10.1049/iet-pel.2013.0837).
- [4] J. Loncarski: "Peak-to-peak output current ripple analysis in multiphase and multilevel inverter," Springer Theses, Recognizing the outstanding PhD research, 2014, ISSN: 2190-5053.
- [5] G. Grandi, J. Loncarski: "Simplified implementation of optimised carrier-based PWM in three-level inverters," IET Electronics Letters Journal, vol. 50, no. 8, pp. 631-633, April 2014, doi: [10.1049/el.2014.0043](https://doi.org/10.1049/el.2014.0043).
- [6] G. Grandi, J. Loncarski: "Implementation of carrier-based centered PWM in three-phase three-level inverter," Speedam Conference, Sorrento, Italy, June 18-20, 2014.
- [7] F.A. Dragonas, G. Grandi, G. Neretti: "High-voltage high-frequency arbitrary waveform multilevel generator for dielectric barrier discharge", Speedam Conference, Sorrento, Italy, June 18-20, 2014.