

MOLTIPLICATORI DI TENSIONE COCKCROFT-WALTON ALIMENTATI AD ONDA QUADRA PER LA PROPULSIONE IONICA

S. Baldisserri, R. Mandrioli, G. Neretti, M. Ricco, A. Cristofolini

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione - DEI
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Viale del Risorgimento 2, Bologna

I progressi nella tecnologia di propulsione ionica stanno portando a sviluppi in diversi campi, tra cui il monitoraggio del clima, le telecomunicazioni e altre missioni stratosferiche [1], [2]. Lo sviluppo di circuiti elettronici ad alta densità di potenza ed efficienza gioca un ruolo cruciale nel potenziale impiego dei propulsori ionici. Come si vede in Fig. 1, i convertitori di potenza DC/DC utilizzati in questo tipo di applicazioni sono solitamente costituiti da tre stadi: un inverter risonante (DC/AC), un trasformatore di isolamento step-up ad alta tensione e uno stadio di raddrizzamento (AC/DC) [3]. Le applicazioni tipiche richiedono tensioni e potenze di uscita dell'ordine di circa 10-30 kV e 0,1-1 kW.

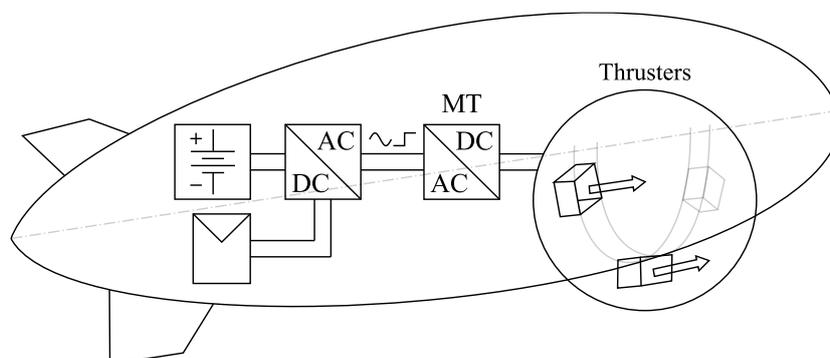


Fig. 1. Principali convertitori di potenza per un dirigibile a propulsione ionica in atmosfera.

Lo stadio di raddrizzamento è comunemente realizzato mediante un moltiplicatore di tensione (MT). I MT, costituiti da una configurazione in cascata di diodi e condensatori, sono ampiamente utilizzati perché in grado di fornire un rapporto di step-up di tensione significativamente elevato senza impiegare dispositivi attivi e quindi alimentazioni flottanti. Introdotto per la prima volta da Villard nel 1901 e da Greinacher nel 1921, il circuito MT ha ottenuto un riconoscimento significativo nel 1932, quando Cockcroft e Walton lo impiegarono per ottenere la prima disintegrazione nucleare artificiale [4]. Il MT originale, la configurazione half-wave (HW), è mostrata in Fig. 2. Questo tipo di circuito elettronico sfrutta una configurazione in cascata di n stadi composti da diodi e condensatori, garantendo un elevato guadagno di tensione, bassa sollecitazione dei diodi e dei condensatori, compattezza ed elevata efficienza. Gli svantaggi principali di questa topologia sono il ripple e la caduta della tensione di uscita dovuti alla carica e alla scarica dei condensatori [5].

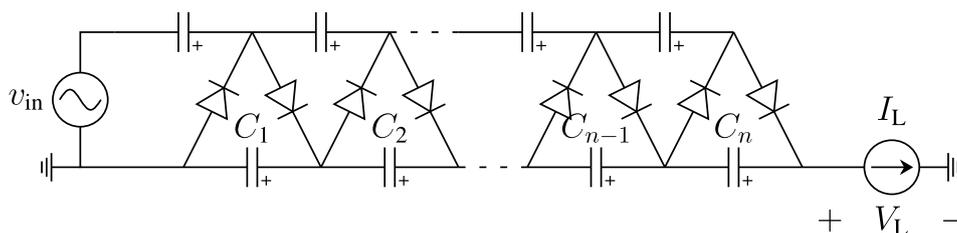


Fig. 2. Moltiplicatore di tensione HW con n stadi.

Fino ad ora i MT sono stati analizzati considerando una tensione di ingresso sinusoidale. Questo, tuttavia, introduce un peso e una complessità significativi nel sistema. Un approccio alternativo è quello di utilizzare un sistema senza trasformatore, alimentando il MT direttamente con la tensione di uscita a onda quadra dell'inverter. Questa configurazione richiede un numero maggiore di stadi per ottenere lo stesso livello di tensione di uscita, ma potenzialmente evita il trasformatore.

La caduta di tensione di uscita normalizzata $\Delta \bar{V}_L$ e la risposta dinamica del moltiplicatore di tensione HW alimentato con tensione sinusoidale e ad onda quadra sono mostrate in Fig. 3a e Fig. 3b, rispettivamente, per un diverso numero di stadi n .

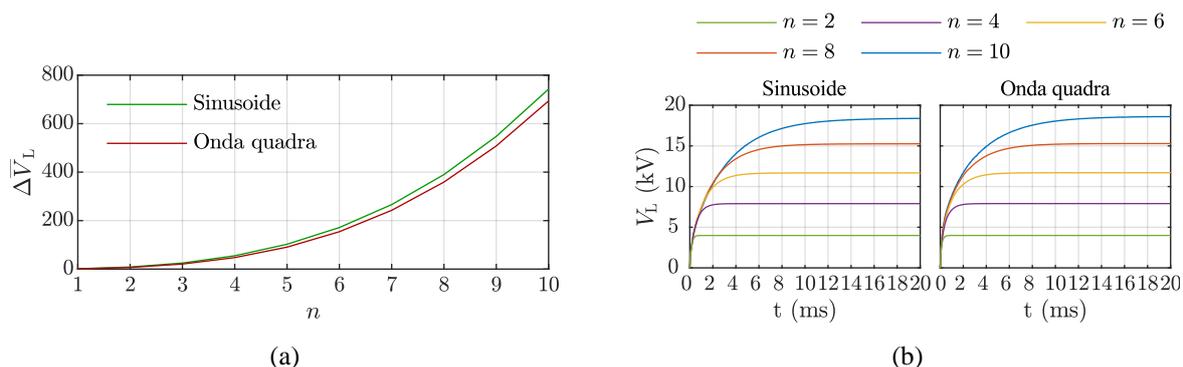


Fig. 3. (a) Caduta di tensione di uscita normalizzata e (b) risposta dinamica del moltiplicatore di tensione HW alimentato con tensione sinusoidale e ad onda quadra.

I risultati dimostrano che con l'approccio ad onda quadra si ottiene una caduta di tensione di uscita inferiore rispetto al caso sinusoidale, ed una risposta dinamica più veloce. Questo approccio potrebbe aprire la strada a un trade-off del peso del sistema e ad un design semplificato in campi in cui dimensioni e peso sono vincoli critici. L'uso di una tensione di ingresso a onda quadra introduce delle sfide, come i picchi di corrente dovuti a transitori capacitivi più rapidi. Sebbene questi picchi possano avere un impatto sulla sollecitazione dei componenti, sono gestibili date le basse correnti tipiche di queste applicazioni [6].

Referenze

- [1] C. E. D. Riboldi, M. Belan, S. Cacciola, R. Terenzi, S. Trovato, D. Uselli, G. Familiari *et al.*, "Preliminary sizing of high-altitude airships featuring atmospheric ionic thrusters: An initial feasibility assessment," *Aerospace*, vol. 11, no. 7, pp. 1-26, 2024.
- [2] H. Xu, Y. He, K. L. Strobel, C. K. Gilmore, Kelley, C. C. Hennick, T. Sebastian, M. R. Woolstone, D. J. Perreault, and S. R. H. Barrett, "Flight of an aeroplane with solid-state propulsion," *Nature*, vol. 563, no. 7732, pp. 532-535, Nov 2018.
- [3] Y. He and D. J. Perreault, "Lightweight high-voltage power converters for electroaerodynamic propulsion," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics*, vol. 2, no. 4, pp. 453-463, 2021.
- [4] J. D. Cockcroft and E. T. Walton, "Experiments with high velocity positive ions," *Proceedings of the royal society of London. Series A, containing papers of a mathematical and physical character*, vol. 129, no. 811, pp. 477-489, 1930.
- [5] S. Baldisserri, R. Mandrioli, G. Neretti, M. Ricco, A. Cristofolini, "Symmetrical Cockcroft-Walton Voltage Multipliers with Multiple Intermediate Loads for Ionic Propulsion in Atmosphere," *IEEE Transportation Electrification Conference & Expo + Electric Aircraft Technologies Symposium*, 2025.
- [6] S. Baldisserri, R. Mandrioli, G. Neretti, M. Ricco, A. Cristofolini, "Square-Wave-Fed Cockcroft-Walton Voltage Multipliers for Ionic Propulsion in Atmosphere," *IEEE Transportation Electrification Conference & Expo + Electric Aircraft Technologies Symposium*, 2025.