

ANALISI NUMERICA DELLA COMMUTAZIONE DELLE NEI LANCIATORI ELICOIDALI

Sami Barmada, Antonino Musolino, Marco Raugi, Rocco Rizzo, Mauro Tucci

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi
Largo Lucio Lazzarino, 56126 Pisa

A causa dell'elevato valore del gradiente di induttanza i lanciatori elicoidali o Helical Coil Electromagnetic Launchers (HEML) [1] possono essere utilizzati per accelerare masse rilevanti a velocità intermedie. Lo schema di principio di un HEML è riportato in figura 1. La sezione alimentata dello statore è limitata a una regione che "segue" l'armatura. La commutazione delle spazzole e la formazione di archi rappresentano i principali fattori che limitano le prestazioni di questi lanciatori [2], [3].

Per comprendere il meccanismo di formazione degli archi consideriamo la spazzola superiore assumendo che la sua lunghezza sia maggiore dello spazio che separa le aree di contatto di due spire adiacenti dello statore. La commutazione avviene in due passi:

- 1) la spazzola è contemporaneamente in contatto con due spire;
- 2) la spazzola abbandona l'area di contatto della spira più a sinistra.

Al passo 1 una porzione dell'avvolgimento di statore è cortocircuitata ed è accoppiata con la parte rimanente dello statore e con l'avvolgimento di armatura. Se al passo 2 la corrente nella spira cortocircuitata non è nulla può esserci la formazione di un arco elettrico fra la spazzola e l'area di contatto appena abbandonata. La formazione di archi fra l'altra spazzola e gli avvolgimenti di statore può essere spiegata in modo del tutto analogo.

Com'è noto gli archi possono essere descritti in modo approssimato utilizzando caratteristiche dinamiche [4] o statiche [5]. I modelli basati sulle caratteristiche dinamiche forniscono descrizioni accurate ma sono di difficile identificazione e spesso non contengono una dipendenza esplicita dalla lunghezza dell'arco. Il loro uso è necessario quando la corrente dell'arco può cambiare direzione. Occorre osservare che in questi dispositivi gli effetti capacitivi sono trascurabili e che l'alimentazione è effettuata mediante generatori di tensione costanti. L'inversione di polarità della tensione fra gli elettrodi è quindi da escludere; ciò permette di utilizzare modelli basati sulle caratteristiche statiche che in queste situazioni sono in grado di fornire risultati sufficientemente accurati.

La figura 2 riporta il confronto fra le correnti assorbite dal lanciatore ottenute tenendo conto e trascurando la presenza degli archi. Le differenze sono inferiori al 10%; le oscillazioni avvengono in corrispondenza delle commutazioni. La figura 3 mostra gli andamenti delle forze di spinta sull'armatura. In entrambi i casi si osservano marcate oscillazioni in corrispondenza delle commutazioni nonostante le correnti assorbite presentino solo delle oscillazioni di ampiezza ridotta. Questo è dovuto alla lunghezza finita (nella direzione del moto) dei conduttori di statore. La regione alimentata dello statore non segue l'armatura: quando la spazzola striscia sul conduttore (passo 1), la distanza aumenta (l'armatura si sposta ma la porzione alimentata rimane sempre la stessa) e la forza diminuisce. A seguito della commutazione la regione alimentata fa un balzo in avanti e la forza subisce una ampia discontinuità.

La presenza degli archi riduce l'ampiezza della discontinuità; infatti, le correnti non possono subire discontinuità e quindi è necessario un intervallo finito di tempo per spostare la regione alimentata dello statore dopo che la spazzola lascia una spira. Inoltre durante

l'esistenza dell'arco l'armatura avanza e quando la corrente finale scorre nella nuova regione dell'avvolgimento di statore, la posizione relativa di quest'ultimo con l'armatura non è più ottimale; questo è il motivo per cui i picchi della forza di spinta ottenuti dal modello che considera la formazione degli archi sono più piccoli di quelli del modello senza archi. Come conseguenza di ciò la velocità predetta dal modello che tiene conto della presenza degli archi è 48 m/s mentre nell'altro caso si ottiene 61 m/s.

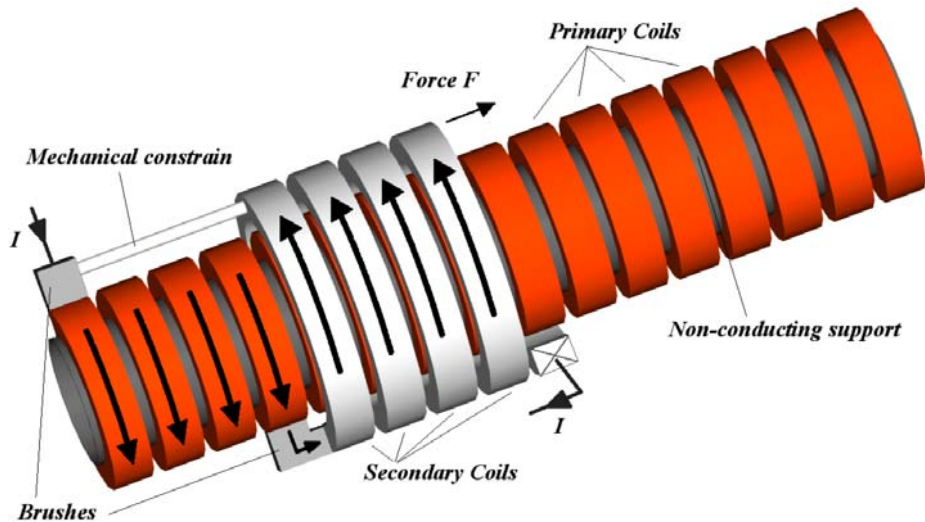


Figura 1. Vista tridimensionale del lanciatore analizzato.

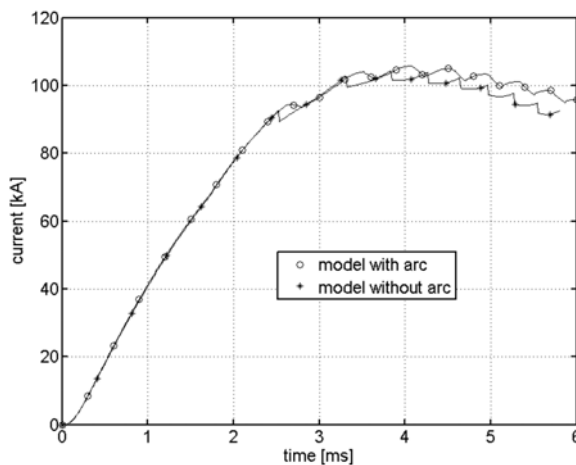


Figura 2. Confronto fra le correnti assorbite dal lanciatore.

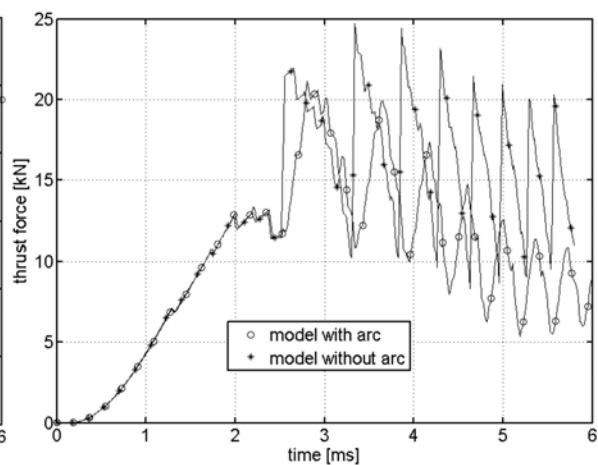


Figura 3. Confronto fra le forze di spinta.

Bibliografia

- [1] K. Thom, J.Jr Norwood, 'Theory of an electromagnetic mass accelerator for achieving hypervelocities', Tech. note D-886, NASA, Washington DC (USA), June 1961.
- [2] P. Mongeau, 'Analysis of Helical Brush Commutation', IEEE Trans. on Magnetics, 1984, 20, (2), pp. 231-234.
- [3] T. G.Engel, D. Slurs, W. C. Nunnally, 'Prediction and verification of electromagnetic forces in helical coil launchers', IEEE Trans. on Magnetics., 2003, 39, pp. 112-115.
- [4] K. J. Tseng, Y. Wang, D. M. Vilathgamuwa, 'An experimentally verified hybrid Cassie-Mayr electric arc model for power electronic simulations', IEEE Trans. on Power Electronic, 1997, 12, (3), pp. 429-436.
- [5] W. B. Nottingham, 'A new equation for the static characteristic of the normal electric arc' AIEE Transaction, 1923, 2, pp. 302-310.