

UN SISTEMA INNOVATIVO DI LEVITAZIONE MAGNETICA STABILIZZATO MEDIANTE CORRENTI INDOTTE

S. Barmada¹, A. Musolino¹, M. Raugi¹, R. Rizzo¹, M. Tucci¹, and V. M. Matrosov²

¹Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione, Università di Pisa
Via Diotisalvi 2, 56126, Pisa

²Accademia delle Scienze della Russia, Mosca, Russia

La possibilità di sviluppare sistemi di levitazione magnetica basati sulla forza repulsiva fra magneti permanenti ha interessato molti ricercatori. Tutti i tentativi in tal senso devono tenere conto dell'instabilità intrinseca di tali sistemi come affermato dal teorema di Earnshaw (1842). In un sistema di trasporto basato sulla levitazione magnetica la presenza di conduttori in moto relativo suggerisce un modo di aggirare l'ipotesi di stazionarietà su cui si basa il teorema di Earnshaw [1].

In questa memoria viene presentato un sistema innovativo di levitazione magnetica stabilizzato mediante correnti indotte. La sospensione magnetica è assicurata dalla forza repulsiva fra due sistemi di magneti permanenti che si trovano sia sui binari, sia sul veicolo. La presenza di una lamina di materiale conduttore che circonda i magneti sui binari permette di stabilizzare dinamicamente il sistema. Le correnti ivi indotte per effetto mozionale dai magneti posti sul veicolo interagiscono con questi stessi magneti dando luogo ad un sistema di forze stabilizzanti.

La figura 1a mostra la struttura magnetica del binario e di un modulo del veicolo. Le direzioni di magnetizzazione sono indicate dalle frecce nere. I magneti sono di tipo Nd-Fe-B. Il binario è racchiuso da una lamina di alluminio e la sua struttura è uniforme lungo la direzione del moto. Le dimensioni del sistema analizzato sono ripostate in fig. 1b mentre il posizionamento dei moduli del veicolo lungo il binario è mostrato in fig. 1c.

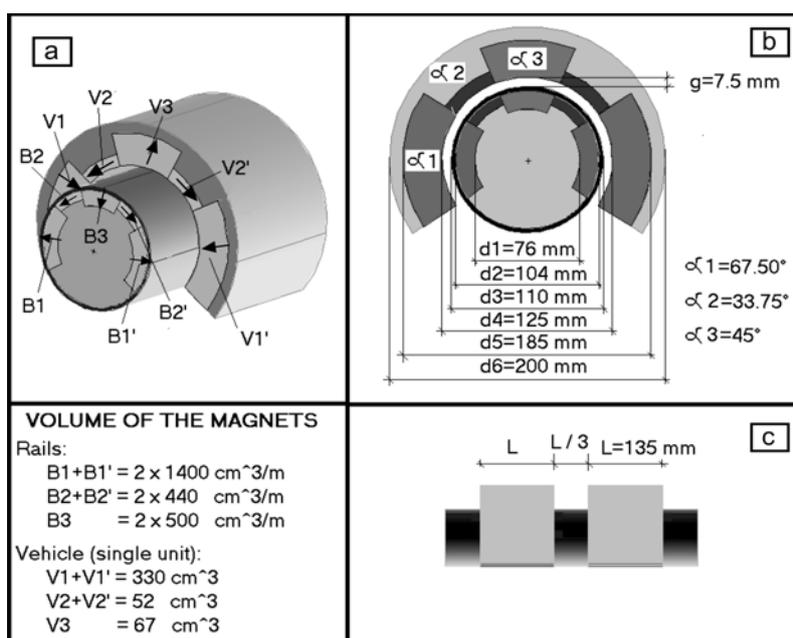


Fig. 1. Rappresentazione schematica del sistema di levitazione proposto.

Lo studio del moto del veicolo richiede la soluzione di un problema elettromeccanico. L'analisi elettromagnetica è stata condotta tramite una formulazione ibrida FEM-MOM [2] [3]. Il moto del veicolo, ipotizzato rigido, è descritto da sei gradi di libertà: le coordinate del baricentro e gli angoli di Eulero.

Quando il veicolo trasla rispetto al binario un sistema di correnti viene indotto sulla lamina di alluminio in corrispondenza delle discontinuità della struttura magnetica del veicolo.

Le correnti indotte sono più intense in corrispondenza delle regioni caratterizzate da una ridotta distanza fra il veicolo ed il binario e sono più deboli sul lato opposto dove la distanza è aumentata. Analoga distribuzione avranno le forze di tipo repulsivo che si esercitano fra queste correnti e i magneti sul veicolo con un effetto che contrasta quello destabilizzante dovuto alle interazioni fra i magneti permanenti.

Sono state effettuate parecchie simulazioni del sistema per velocità nell'intervallo compreso fra $v_z = 10 \text{ m/s}$ e $v_z = 100 \text{ m/s}$.

La fig. 2 mostra la componente della forza lungo l'asse x in funzione di uno spostamento del veicolo nella direzione positiva dell'asse x stesso per differenti valori di velocità. Quando il veicolo è fermo o equivalentemente, pur muovendosi, non viene considerata la presenza della lamina di alluminio, la forza esercitata sul veicolo ha un effetto destabilizzante in quanto è equiversa allo spostamento stesso e quindi tende a incrementarlo. Viceversa quando si tiene conto dell'effetto delle correnti indotte la forza esercitata sul veicolo ha un effetto stabilizzante anche per velocità relativamente basse.

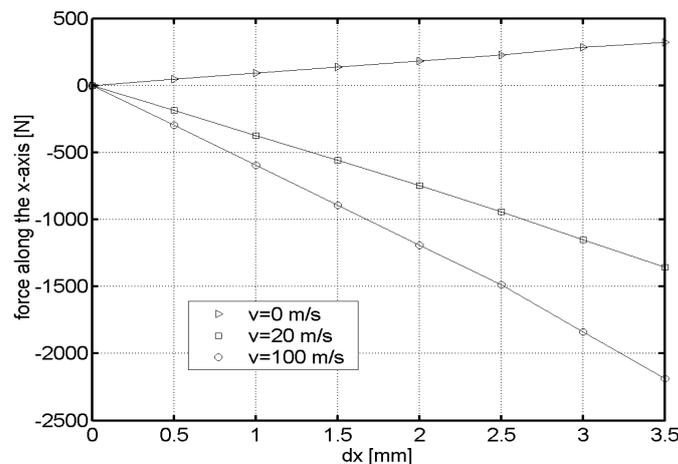


Fig. 2. Forza lungo x in corrispondenza di uno spostamento del veicolo per differenti valori di velocità.

Le correnti indotte esercitano forze sul veicolo anche lungo la direzione di sostentamento e del moto. Mentre la prima delle due non altera apprezzabilmente il comportamento globale del sistema la seconda produce una forza frenante che può essere anche molto intensa. Questo è un serio inconveniente che può però essere sostanzialmente ridotto sostituendo la lamina di alluminio con una distribuzione di "null flux coils".

- [1] S. Earnshaw "On the nature of molecular forces which regulate the constitution of luminiferous ether," *Trans. Camb. Phil. Soc.* 7. 1842, pp. 97-112.
- [2] S. Barmada, A. Musolino, M. Raugi, "Hybrid FEM/MOM formulation for eddy current problems with moving conductors," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 36, 4, pp. 827-830, Jul 2000.
- [3] S. Barmada, A. Musolino, M. Raugi, R. Rizzo, "Force and torque evaluation in hybrid FEM-MOM formulations," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 37, n. 5, pp. 3108-3111, Sept. 2001.