

Sự phân bố từ trường và lực đẩy trong một hộp số từ dạng ống

■ **THS. NGUYỄN ĐỨC KHƯƠNG; TS. NGUYỄN TUẤN PHƯƠNG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo trình bày cấu trúc, nguyên lý hoạt động của một hộp số từ đặc biệt dạng ống ứng dụng trong truyền động thẳng. Bằng việc sử dụng mô hình mạch từ, mật độ từ trường và từ phổ tương ứng trong khe hở không khí do từng cơ cấu sinh ra được tính toán. Ngoài ra, phương pháp xác định mật độ từ trường sau khi điều biến bởi lõi thép cũng được giới thiệu và mô phỏng.

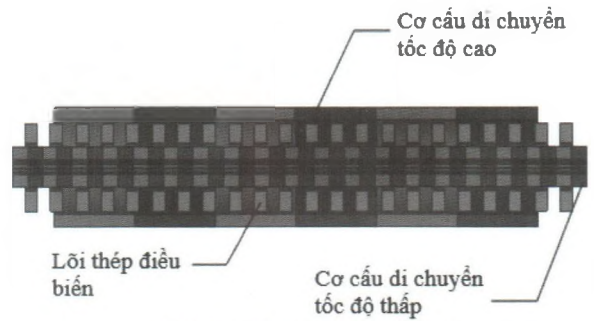
TỪ KHÓA: Hộp số từ, hộp số từ dạng ống, động cơ tuyến tính hộp số từ.

ABSTRACT: This paper presents the structure and operating principle of a special tubular magnetic gear for direct-drive applications. By using the magnetic circuit model, the flux densities and spectrums in the air-gaps excited by the single-movers are calculated. In addition, the method to predict the magnetic flux density which modulated by the steel core is also introduced and simulated.

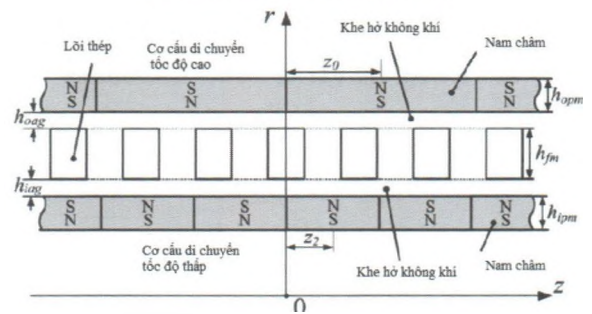
KEYWORDS: Magnetic gear, tubular magnetic gear, magnetic geared linear motor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, máy điện tuyến tính ứng dụng trong công nghiệp nhận được nhiều sự quan tâm từ các nhà khoa học. Tuy nhiên, để nâng cao mật độ lực đẩy dẫn đến kích thước của động cơ cũng trở nên lớn hơn [1]. Để giải quyết vấn đề này, hộp số được phát triển. So với các loại hộp số cơ khí thông dụng thì hộp số từ có nhiều ưu điểm hơn như: độ tin cậy lớn hơn, giảm tiếng ồn, có khả năng bảo vệ khi quá tải, không cần bảo dưỡng nhiều và tuổi thọ lớn hơn [2, 3]. Sau đây, hộp số từ được kết hợp với máy điện tuyến tính để tạo thành máy điện tuyến tính hộp số từ [4]. Mặt khác, việc ứng dụng máy điện tuyến tính hộp số từ chủ yếu được ứng dụng ở chế độ máy phát ứng dụng trong các dạng năng lượng tái tạo như năng lượng sóng biển, năng lượng thủy triều. Ngoài ra, hộp số từ dạng đồng tâm cũng được nghiên cứu để ứng dụng trong các chuyển động quay. Vấn đề kết hợp động cơ tuyến tính với hộp số từ dạng ống vẫn chưa được nghiên cứu nhiều. Bài báo giới thiệu một hộp số từ dạng ống dạng ống đặc biệt. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động cũng như sự phân bố từ trường trong động cơ được trình bày theo cả hai phương hướng kính và hướng trục.



Hình 1.1: Cấu trúc của hộp số từ



Hình 1.2: Mô hình 2D của hộp số từ

2. NỘI DUNG

2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Hình 2.1 và Hình 2.2 thể hiện cấu trúc của hộp số từ dạng ống bao gồm 3 phần chính: cơ cấu di chuyển tốc độ thấp, cơ cấu di chuyển tốc độ cao và lõi thép. Trong đó, nam châm phía ngoài đóng vai trò là cơ cấu di chuyển tốc độ cao, nam châm phía trong đóng vai trò cơ cấu di chuyển tốc độ thấp và lõi thép được giữ cố định giữa hai cơ cấu di chuyển nói trên. Thông số chi tiết của hộp số được thể hiện trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Thông số của hộp số từ

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
N_c	Số lõi thép điều chế	21 [mm]
N_{hp_m}	Số đôi cực của cơ cấu di chuyển tốc độ thấp	6 [mm]
N_{hp_m}	Số đôi cực của cơ cấu di chuyển tốc độ cao	15 [mm]
L	Chiều dài tác dụng	264 [mm]
D_i	Đường kính của cơ cấu di chuyển tốc độ thấp	60 [mm]
D_h	Đường kính của cơ cấu di chuyển tốc độ cao	96 [mm]
h_r	Độ dày của lõi thép điều chế	6 [mm]
h_{pm}	Độ dày của nam châm	4 [mm]

Hộp số từ hoạt động dựa trên hiện tượng điều biến từ trường. Khi cơ cấu di chuyển tốc độ cao chuyển động tịnh tiến, từ trường do nó tạo ra được điều biến sang một tần số khác thông qua lõi thép. Từ trường sau khi điều biến này tương tác với từ trường do cơ cấu di chuyển tốc độ thấp tạo ra và sinh ra lực đẩy trên cơ cấu này với một tốc độ di chuyển khác. Ngược lại, nếu cơ cấu di chuyển tốc độ thấp chuyển động tịnh tiến, từ trường do nó tạo ra được điều biến thành một tần số khác thông qua lõi thép, tương tác với từ trường do cơ cấu di chuyển tốc độ cao tạo ra và sinh ra lực đẩy. Như vậy, thông qua lõi thép điều biến, cơ cấu di chuyển tốc độ thấp và cao tác động tương hỗ với nhau để tạo ra lực đẩy trên các cơ cấu.

2.2. Cơ sở lý thuyết

Trong hộp số từ, lực điện từ được tạo ra bởi nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ thấp được tính toán qua công thức (1) [5]:

$$F_{lpm} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{(2n-1)\pi} H_{lc} h_{lpm} \times \cos \left[(2n-1) N_{lpm} \frac{2\pi}{L} (z - z_{l0}) \right] \quad (1)$$

Trong đó: H_{lc} - Lực từ kháng của nam châm; h_{lpm} - Độ dày của mỗi nam châm; Z - Vị trí của nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ thấp và Z_{l0} - Vị trí ban đầu tương ứng. Độ từ thẩm của lõi thép có thể được tính toán theo công thức (2):

$$P = P_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4P_a}{(2m-1)\pi} \sin \left[(2m-1) N_{pp} \frac{2\pi}{L} z \right] \quad (2)$$

Trong đó: P_0 - Thành phần một chiều của vật liệu; P_a - Biên độ từ thẩm của nam châm.

$$\begin{aligned} B_{lpm} &= F_{lpm} \cdot P \\ &= \frac{4}{\pi} H_{lc} h_{lpm} P_0 \cos \left[N_{lpm} \frac{2\pi}{L} (z - z_{l0}) \right] \\ &+ \frac{8}{\pi^2} H_{lc} h_{lpm} P_a \times \sin \left[(N_{lpm} + N_{pp}) \frac{2\pi}{L} z - N_{lpm} \frac{2\pi}{L} z_{l0} \right] \\ &+ \frac{8}{\pi^2} H_{lc} h_{lpm} P_a \times \sin \left[N_{hpm} \frac{2\pi}{L} z + N_{lpm} \frac{2\pi}{L} z_{l0} \right] \\ &= B_{lpm}^1 + B_{lpm}^2 + B_{lpm}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Với $n = 1, m = 1$, cường độ từ trường gây ra bởi nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ thấp có thể được tính toán theo công thức (3). Trong đó: B_{lpm}^3 có cùng số đôi cực với số đôi cực của nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ cao.

Mặt khác, dòng điện tương đương gây ra bởi nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ cao được thể hiện trên công thức (4).

$$I_{hpm} = \frac{4}{\pi} H_{hc} h_{hpm} \sin \left[N_{hpm} \frac{2\pi}{L} (z - z_{h0}) \right] \quad (4)$$

Vì vậy, lực đẩy sinh ra trên cơ cấu di chuyển tốc độ cao có thể được tính toán theo định luật Lorentz theo công thức (5).

$$\begin{aligned} F_{hm} &= \int_{-L/2}^{L/2} \pi D_l I_{hpm} B_{lpm}^3 dz \\ &= \frac{16}{\pi^2} D_l H_{hc} h_{hpm} H_{lc} h_{lpm} P_a L \times \cos \left[N_{hpm} \frac{2\pi}{L} z_{h0} + N_{lpm} \frac{2\pi}{L} z_{l0} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Tính toán tương tự, cường độ từ trường tạo bởi nam châm trên cơ cấu di chuyển tốc độ cao được thể hiện qua công thức (6).

$$\begin{aligned} B_{hpm}^3 &= \frac{8}{\pi^2} H_{hc} h_{hpm} P_a \times \sin \left[N_{lpm} \frac{2\pi}{L} z + N_{hpm} \frac{2\pi}{L} z_{h0} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

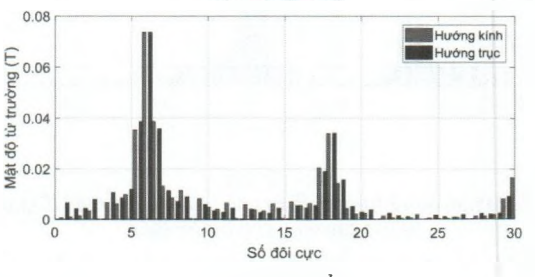
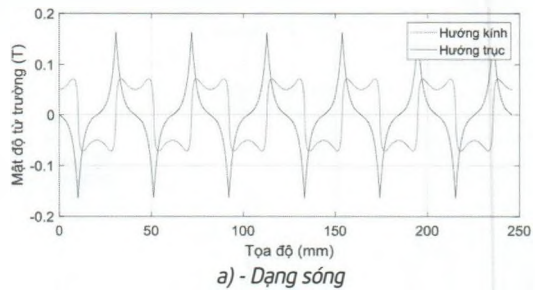
Lực đẩy sinh ra trên cơ cấu di chuyển tốc độ thấp được tính toán qua công thức (7).

$$\begin{aligned} F_{lm} &= \frac{16}{\pi^2} D_l H_{hc} h_{hpm} H_{lc} h_{lpm} P_a L \times \cos \left[N_{hpm} \frac{2\pi}{L} z_{h0} + N_{lpm} \frac{2\pi}{L} z_{l0} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

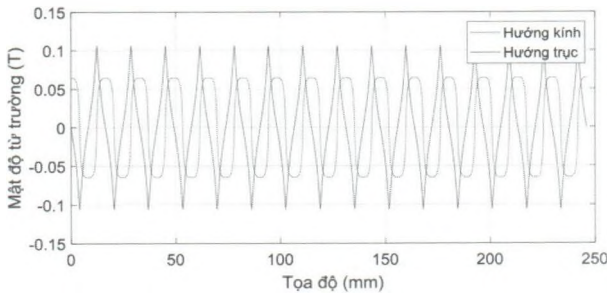
2.3. Kết quả mô phỏng

Hình 2.3 trình bày sự phân bố mật độ từ trường ở dạng sóng và dạng phổ do cơ cấu di chuyển tốc độ cao sinh ra. Từ kết quả trên có thể thấy, giá trị lớn nhất của mật độ từ trường là 0,15 T theo chiều hướng kính và 0,06 T theo chiều hướng trục. Ngoài ra, từ phân tích phổ ở Hình 2.3b có thể thấy rằng, giá trị mật độ từ trường lớn nhất ở đối cực số 6, là trùng với số đôi cực của cơ cấu di chuyển tốc độ cao.

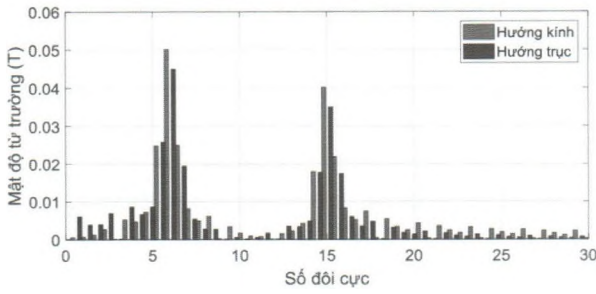
Sự phân bố mật độ từ trường dạng sóng và dạng phổ do cơ cấu di chuyển tốc độ thấp sinh ra được trình bày trong Hình 2.4. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, giá trị lớn nhất của mật độ từ trường đạt 0,1 T với chiều hướng kính và 0,06 T theo chiều hướng trục.



Hình 2.1: Phân bố từ trường và từ phổ tạo ra bởi cơ cấu di chuyển tốc độ cao



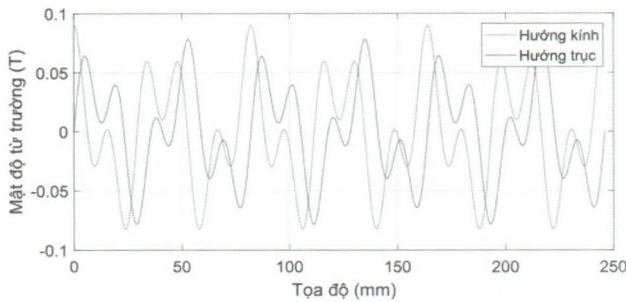
a) - Dạng sóng



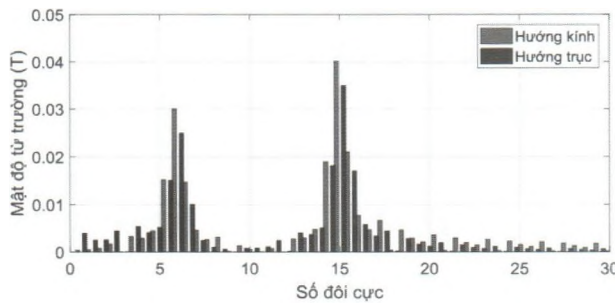
b) - Từ phổ

Hình 2.2: Phân bố từ trường và từ phổ tạo ra bởi cơ cấu di chuyển tốc độ thấp

Mặt khác có thể thấy rằng, mật độ từ trường theo chiều hướng trục có xu thế lớn hơn so với chiều hướng kính. Bên cạnh đó, từ phân tích phổ ta thấy rằng, giá trị lớn nhất của mật độ từ trường ở bậc 15 - cũng chính bằng số đôi cực của cơ cấu di chuyển tốc độ cao.



a) - Dạng sóng

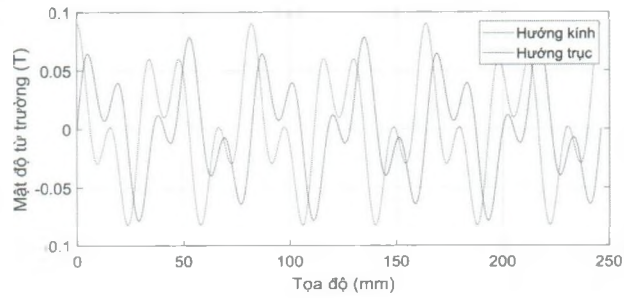


b) - Từ phổ

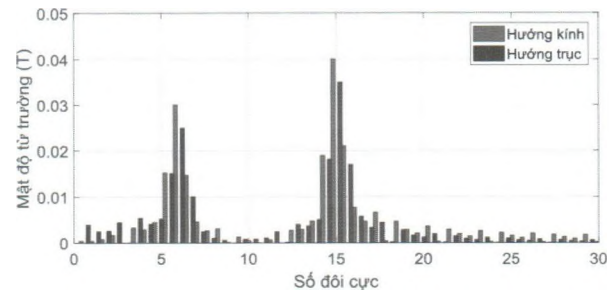
Hình 2.3: Phân bố từ trường và từ phổ tạo ra bởi cơ cấu di chuyển tốc độ cao điều chế bởi lõi thép

Hình 2.3 và Hình 2.4 cho thấy sự phân bố mật độ từ trường trong khe hở không khí do cơ cấu di chuyển tốc độ cao sinh ra được điều chế bởi lõi thép và do cơ cấu

di chuyển tốc độ thấp sinh ra được điều chế bởi lõi thép tương ứng. Từ phân tích phổ ở Hình 2.3b, sóng hài bậc 6 do nam châm của cơ cấu di chuyển tốc độ cao đã được điều biến thành bậc 15 thông qua lõi thép. Bên cạnh đó, sóng hài bậc 15 do cơ cấu di chuyển tốc độ thấp sinh ra được điều biến thành bậc 6 như ở Hình 2.4b. Điều này là phù hợp với thông số cấu trúc của hộp số từ được đề xuất trong bài báo.



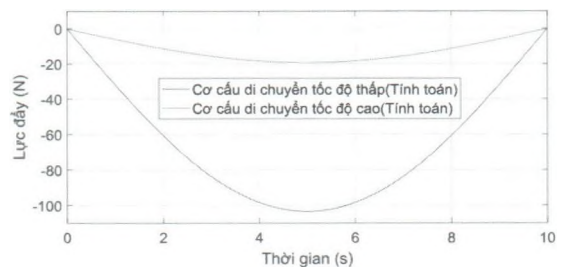
a) - Dạng sóng



b) - Từ phổ

Hình 2.4: Phân bố từ trường và từ phổ tạo ra bởi cơ cấu di chuyển tốc độ thấp điều chế bởi lõi thép

Để khảo sát lực đẩy mà hộp số từ có thể truyền, cơ cấu di chuyển tốc độ cao được cố định trong khi cơ cấu di chuyển tốc độ thấp chuyển động với vận tốc 3,75 mm/s. Kết quả mô phỏng lực đẩy tối đa hộp số có thể truyền được thể hiện trên Hình 2.5. Từ kết quả mô phỏng cho thấy, lực đẩy tối đa trên cơ cấu di chuyển tốc độ thấp là 103 N và trên cơ cấu di chuyển tốc độ cao là 19 N. Từ kết quả mô phỏng trên có thể ước lượng được tỷ số truyền của hộp số từ là 5,42.



Hình 2.5: Lực truyền của hộp số từ

3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, cơ sở lý thuyết tính toán mật độ từ trường gây ra bởi các nam châm trên hai cơ cấu di chuyển của hộp số từ được tính toán và mô phỏng. Bên cạnh đó

hiện tượng điều biến từ trường do lõi thép tạo ra cũng như lực đẩy tối đa của hộp số được giới thiệu. Từ kết quả mô phỏng cho thấy, từ trường do cơ cấu di chuyển tốc độ thấp sinh ra được điều biến sang cùng bậc với bậc của từ trường do cơ cấu di chuyển tốc độ cao sinh ra và ngược lại. Kết quả nghiên cứu của bài báo là tiền đề cho việc tính toán và phân tích tốc độ, lực đẩy cũng như tỷ số truyền của hộp số từ dạng ống.

Tài liệu tham khảo

- [1]. K. T. Chau, D. Zhang, J. Z. Jiang, C. Liu and Y. J. Zhang (2007), *Design of amagnetic-gearred outer-rotor permanent-magnet brushless motor forelectric vehicles*, IEEE Transactions on Magnetics, vol.43, no.6, pp.2504-2506.
- [2]. Ben McGilton, Markus Mueller and Alasdair McDonald (05 February 2018), *Review of Magnetic Gear Technologies and their Applications in Marine Energy*, IET Renewable Power Generation, vol.12, Issue 2, pp.174-181.
- [3]. Mizuki Ubukata and Tomoyuki Shimono (Aug, 2017), *Discussion on Comparison of Magnetic Geared Linear Motors with Different Magnetization Direction*, 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Sydney.
- [4]. Shuangxia Niu, S. L. Ho and W. N. Fu (October 2011), *Performance Analysis of a Novel Magnetic-Geared Tubular Linear Permanent Magnet Machine* IEEE Transactions on Magnetics, vol.47, no.10, pp.3598-3601.
- [5]. Wenlong Li, K. T. Chau and Jianguo Li (June 2011), *Simulation of a Tubular Linear Magnetic Gear Using HTS Bulks for Field Modulation*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.21, no.3, pp.1167-1170.

Ngày nhận bài: 10/01/2022

Ngày chấp nhận đăng: 15/02/2022

Người phản biện: TS. Đặng Việt Phúc

TS. Trần Văn Khôi