開磁路形リニアパラメトリックモータの磁心幅に関する考察

Magnetic Core Width of a Linear Parametric Motor with Open Magnetic Circuit

木村 泰明・石川 和己・菊地 新喜

東北学院大学工学部 多賀城市中央 1-13-1 (〒985-8537)

Y. Kimura, K. Ishikawa and S. Kikuchi

Department of Electrical Engineering, Tohoku Gakuin University., 1-13-1 Chuo, Tagajo 985-8537

This paper describes the magnetic core width of a linear parametric motor with open magnetic circuit. The static thrust, thrust-to-input power ratio, and thrust-to-mass ratio are improved by increasing the magnetic core width. The static thrust increased 36% when an iron plate was installed on each magnetic pole of the motor with a core width of 34 mm. The effects of the iron plate on performance characteristics of the motor increase as the core width increases.

Key words: linear parametric motor, open magnetic circuit, magnetic core width

1. はじめに

リニアパラメトリックモータ（以下LPaMと略記）は、共通磁路の磁気飽和による、パラメトリック発振を利用し進行磁界を形成して駆動するモータである。長所として単相電源で駆動が可能で、構造が簡単、堅牢といった点があげられる。このため家庭用搬送装置への応用が期待されている。一方、短所として固定子と可動子との間に吸引力が発生するため、強固な支持機構が必要であることが挙げられる。

これまで、開磁路形LPaMは二次側巻線数の検討、モータの磁極面上に磁性体を設置することなどにより特性改善が図られてきた^{(1),(2)}。

本論文では、開磁路形LPaMの設計法確立のため、磁心幅を変えた5種類のモータを試作し、磁心幅とモータ特性の関係について検討を行った。

2. 開磁路形LPaMの基本構成

Fig.1に開磁路形LPaMの基本構成を、Table1に各部寸法を示す。P₁, P₃が励磁側磁極、P₂, P₄が共振側磁極、B₁が共通磁路となっており、それぞれI型コアを用いて製作した組み立て磁心である。

一次側巻線N₁には単相電源E₁を、二次側巻線N₂には同調用コンデンサCを接続している。各磁極には巻線数762 turnsのコイルを挿入している。762 turnsは隣接するコイルと接触しない最大の巻数である。

巻線には直径0.7 mmの銅線を用いており、断面積は0.38 mm²となる。電流密度Jを5 A/mm²に設定すると巻線の許容電流は2 Aとなる。そのため、巻線電流を2 Aとし、実験を行っている。なお、巻線は一次、二次側とも並列に接続しており、巻線数N₁=N₂=762 turns一定としている。

各部寸法はモータ長L=115 mm、モータ高H=55 mm一定とし、磁心幅W=17 mmを基準として約1.5, 2, 2.5, 3倍幅とした25, 34, 43, 51 mmとしている。二次側磁性体として1 mm厚の鉄板5枚を積層し、二次導体として1 mm厚のアルミニウム板を用いた複合二次導体としている。

励磁側に接続した単相電源E₁の電圧を上昇させていくと磁路中で最も断面積の小さい共通磁路B₁で磁気飽和が起こり共振側巻線のインダクタンスが周期的に変動する。この時、二次側に接続された同調用コンデンサCが適当な値ならばパラメトリック発振が生じ、P₄からP₁方向へ進行磁界が形成され二次側導体は同方向へ駆動される。

Fig. 1 Structure of linear parametric motor with an open magnetic circuit.

Table 1 Dimensions of linear parametric motor with an open magnetic circuit.

Magnetic core width W [mm]	17	25	34	43	51
Magnetic core height H [mm]	55.0				
Magnetic core length L [mm]	115.0				
Number of turns N_1, N_2 [turns]	762				
W/L	0.15	0.22	0.30	0.37	0.44

3. 実験結果

Fig.2に5台のモータの磁心重量,コイル重量,総重量を示す。磁心重量は磁心幅が2倍になると重量も2倍と比例しているが,コイル重量は増加するものの磁心重量ほどの増加率ではないことがわかる。

Fig.3に各モータの交流磁化特性を示す。これより,すべてのモータにおいて磁気飽和が起きているのが確認できる。また,モータの磁心幅が広がるに従い,誘起される電圧 E_2 が上昇していることがわかる。これは磁極断面積が広がることにより,磁気抵抗が減少し,インダクタンスが増加したためと考えられる。

Fig.4は同調用コンデンサに対する静推力特性である。それぞれのモータにおいて最大の静推力が得られる最適なコンデンサ値があることがわかる。またその値は磁心幅が広がるに従い小さくなっていくのがわかる。これも磁心幅が広がることでモータのインダクタンスが増加するためと考えられる。

Fig.5に5台のモータの空隙磁束密度分布を示す。これはモータ中心線を測定したもので,グラフ下部の斜線部分は各磁極 P_1 から P_4 に相当する。磁心幅 $W=17$ mmのモータでは磁極 P_2 上の空隙磁束密度が低い傾向が見られたが,磁心幅が広がるに従い励磁側磁極 P_1, P_3 上及び,共振側磁極 P_2, P_4 上の空隙磁束密度はほぼ等しくなっていることがわかる。

Fig.6に磁心幅 W と磁心長 L の比 W/L に対する静推力,推力入力比,推力質量比の各特性を示す。静推力は磁心幅にほぼ比例して増加しており,推力質量比は磁心幅が広がるに従って増加した。推力入力比に関しては40 N/kW程度でほぼ一定となった。

Fig. 2 Relationship between magnetic core width and weight of motors.

Fig. 3 AC magnetization curves.

Fig. 4 Relationship between tuning capacitance and static thrust.

Fig. 5 Air gap flux density distribution.

Fig. 6 Relationship of magnetic core width-to-length ratio to characteristics.

次に特性値の改善のためにモータ磁極上に磁性体を設置し同様の検討を行った。磁心幅 $W=17$ mm のモータにおける過去の検討では静推力が約 24% 増加する結果を得ている³⁾。また磁性体寸法の検討では長さ $l_p=32$ mm, 厚さ $t_p=1$ mm, 幅 w_p は磁心幅 W と等しい場合に静推力が最大になることがわかって⁴⁾いる。そのため今回の検討でも磁極面上磁性体の幅は各モータの磁心幅と同一とし、長さ $l_p=32$ mm, 厚さ $t_p=1$ mm 一定とした。

Fig. 7, 8 に磁極面上磁性体を設置したときの開磁路形 LPaM の基本構成図と磁極面上磁性体の拡大図を示す。

Fig. 9 に磁極面上磁性体を設置した時の同調用コンデンサに対する静推力特性を示す。磁極面上磁性体を設置しない場合と

傾向は同様であり、最大の静推力を得られる同調用コンデンサの値が各磁心幅のモータに存在することがわかる。

Fig. 10 に磁極面上磁性体を設置した時の 5 台のモータの静推力、推力入力比、推力質量比の各特性を示す。磁極面上磁性体を設置することで静推力、推力入力比、推力質量比の全てにおいて改善が見られる。

また磁心幅 $W=34$ mm のモータでは、磁極面上磁性体を設置することで静推力が約 36% 増加した。従来の磁心幅 17 mm のモータでは約 24% の増加であったことを考えると、磁心幅を広げると磁極面上磁性体の効果も増加することがわかる。

Fig. 7 Structure of linear parametric motor with iron plate P_{Fe}

Fig. 8 Iron plate P_{Fe}

Fig. 9 Relationship between tuning capacitance and static thrust.

Fig. 10 Relationship of magnetic core width-to-length ratio to characteristics.

4. まとめ

磁心幅 W が広がるに従い、静推力、推力質量比は増加し、推力入力比はほぼ一定となった。また磁極面上磁性体を設置した場合の静推力は、磁心幅の増加にほぼ比例した。

磁極面上磁性体による効果はモータの磁心幅が増加するに従って、さらに大きくなることがわかった。

静推力 F_s が磁心幅にほぼ比例することから、開磁路形 LPaM を設計する際には、必要とされる推力から磁心幅を決定することができると思われる。

文献

- 1) H. Tan, S. Kikuchi, K. Ishikawa: *National Convention Record IEE of Japan*, 5-106 (2000).
- 2) K. Ishikawa, M. Ishizuka, S. Kikuchi: *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 23, 1577 (1999).
- 3) K. Ishikawa, M. Ishizuka, S. Kikuchi: *Paper of Technical Meeting of Magnetics*, MAG-97-247, *IEE of Japan* (1997).
- 4) H. Tan, K. Ishikawa, S. Kikuchi: *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 25, 1215 (2001).

2001 年 10 月 9 日受理, 2002 年 2 月 7 日採録