

両面駆動形リニアパラメトリックモータの特性値におよぼす磁心形状の影響

Influence of Magnetic Core Shape on Motor Characteristics
of Linear Parametric Motor with Double Driving Surfaces

関本達也・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)

T. Sekimoto, K. Ishikawa, and S. Kikuchi

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

This paper describes influence of magnetic core shape on the characteristic value of a linear parametric motor with double driving surfaces. We used six different magnetic core motors having a constant winding area. Maximum static thrust occurs at optimum tuning capacitance. The optimum tuning capacitance was inserted, then characteristic values were compared. Results showed that the optimum value occurs at pole pitch τ .

Key words: double driving surfaces, linear motor, parametric motor, pole pitch

1. はじめに

リニアパラメトリックモータ(以下 LPaM) は共通磁路の磁気飽和を利用したパラメトリック発振を用いて, 単相電源から非対称二相交流を発生させて進行磁界を形成し, 二次導体を駆動するリニア誘導モータ(LIM)である。

LPaM の特徴としては構造が簡単で堅牢であること, 固定子にスロットがなく, 巻線を型巻きして磁心に挿入できるため製作が容易であること, 単相電源で駆動するため家庭内での応用が期待できること, などが挙げられる^{1) 4) 7)}。本研究で使用している両面駆動形 LPaM^{1) 4)} は 2 つの共通磁路を有し, 両面から出る磁束を利用して駆動するリニアモータである。

本論文は両面駆動形 LPaM の設計法の検討^{5) 7)} と特性値の改善を目的としてモータ磁心のポールピッチ τ がモータ特性に与える影響を実験的に検討した結果について述べている。

2. 両面駆動形 LPaM の基本構成

Fig.1 に両面駆動形 LPaM の基本構成を示す。P₁, P₃ が励磁側磁極, P₂, P₄ が共振側磁極, Bc₁, Bc₂ が共通磁路で

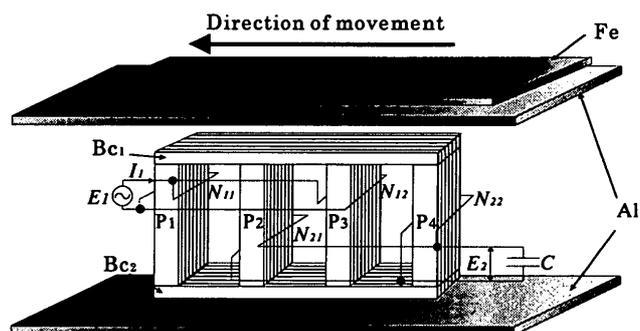


Fig. 1 Structure of LPaM with double driving surfaces.

ある。固定子は I 型磁心を組み立てて構成しており, 各寸法のモータ磁心を容易に製作することができ, 設計法を検討する際に有用である。試作したモータに用いた I 型磁心は, 長手方向に磁化容易軸を持つ 0.35 mm 厚の方向性珪素鋼板を積層した磁心である。

励磁側磁極 P₁, P₃ に挿入された巻線 N₁₁, N₁₂ には単相電源を接続し, 共振側磁極 P₂, P₄ に挿入した巻線 N₂₁, N₂₂ には同調用コンデンサ C を接続している。単相電源からの印加電圧を増加させていくと脚部磁心より断面積の小さい共通磁路 Bc₁, Bc₂ が最初に磁気飽和し, 共振側巻線のインダクタンスが電源の二倍周期で変動を始める。このとき共振側に接続された同調用コンデンサの値が適当であればパラメトリック発振が生じ, 二次側には一次側に対し位相がほぼ 90 度ずれた正弦波電圧 E₂ が誘起される。この位相の異なる一次電圧と二次電圧により Fig. 1 の矢印方向に進行磁界が形成され, LIM として動作する。

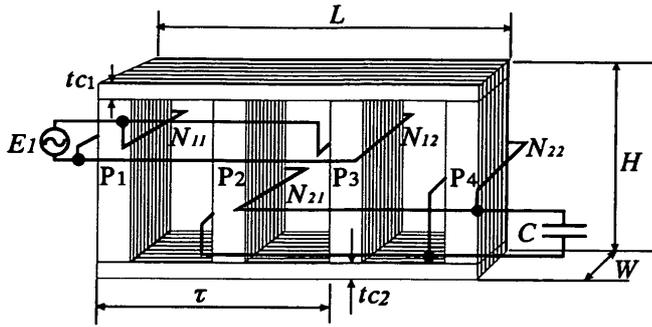


Fig. 2 Shape of magnetic core.

Table 1 Dimensions of LPaM with double driving surfaces.

Pole pitch	τ (mm)	50	60	70	80	90	100
Magnetic core height	H (mm)	95	74	61	52.5	46.5	42
Magnetic core length	L (mm)	85	100	115	130	145	160
H/L		1.12	0.74	0.53	0.40	0.32	0.26
Thickness of common magnetic path	tc_1, tc_2 (mm)	5.0					
Magnetic core width	W (mm)	17.0					
Mass	M (kg)	1.44	1.44	1.45	1.46	1.54	1.54
Number of turns	$N_{11}, N_{12}, N_{21}, N_{22}$ (turns)	762					

今回の検討に用いた両面駆動形LPaMの磁心形状と設計諸元を Fig.2, Table1 に示す。今回はポールピッチの増減に伴う磁心形状の変化がモータ特性に与える影響の検討を行うため、従来のポールピッチ $\tau = 70\text{mm}$ のモータを基準として、ポールピッチ $\tau = 50\text{mm}, 60\text{mm}, 80\text{mm}, 90\text{mm}, 100\text{mm}$ とした6台のモータを試作して比較検討を行った。

試作したモータは窓面積が一定となるよう、ポールピッチ τ を長くしたモータでは磁心高 H を低く、また短くしたモータでは磁心高 H を高く設計した。また、磁心幅 W 、共通磁路厚 tc_1, tc_2 及び巻線数 $N_{11}, N_{12}, N_{21}, N_{22}$ は一定としている。今回巻線に用いた銅線半径は 0.35mm 、電流密度を 5A/mm^2 としているので、コイル一つあたりに流す電流は 2A となり、コイルを二つ並列に接続しているため一次電流は 4A までとした。

二次導体としては厚さ 2mm のアルミニウム板と 2mm 厚の鉄板を張り合わせた複合二次導体を用い磁気ギャップ 3mm を隔てて設置している。Table 1 中の H/L は磁心の高さ H と長さ L の比率である。今回設計したモータではポールピッチが長いモータほど H/L の比率は小さくなっている。また、試作したモータはポールピッチが長くなるほど

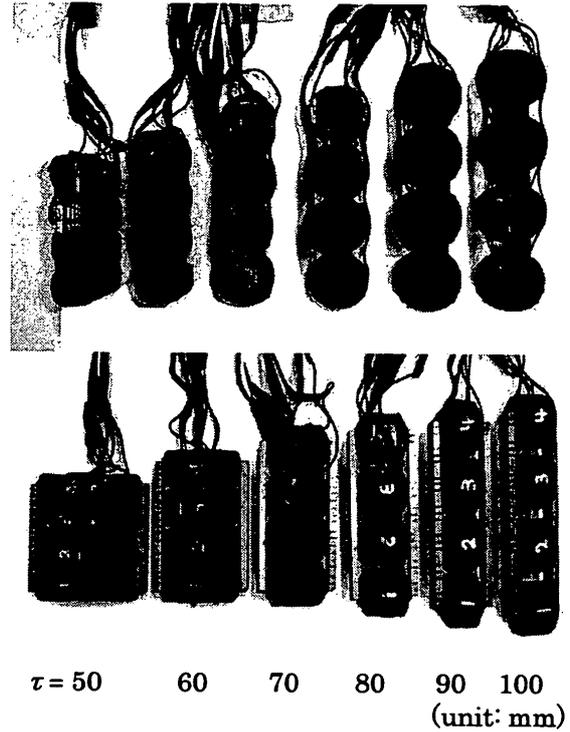


Fig. 3 Experimental motors.

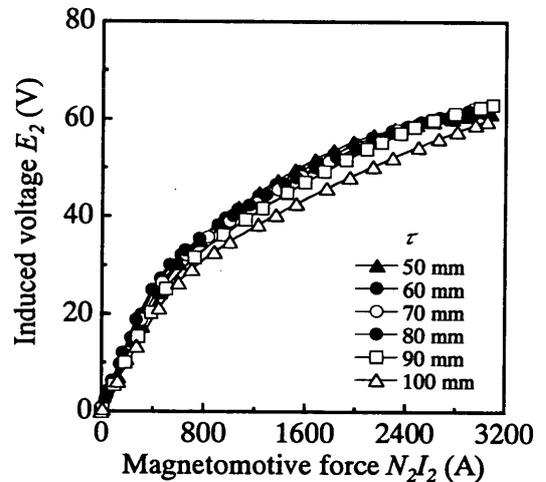


Fig. 4 AC magnetization curves.

質量が増加していることが分かる。

Fig.3 は試作したモータの外観である。

3. 両面駆動形LPaMの基本特性

Fig.4 に試作したそれぞれのモータの交流磁化特性を示す。交流磁化特性は、励磁側巻線を開放し起磁力 N_2I_2 に対する誘起電圧 E_2 を測定したものである。それぞれのモータにおいて、磁気飽和を起こしていることが確認でき、誘起電圧がほぼ同程度の値となっていることが分かる。

Fig. 5 に同調用コンデンサ C に対する静推力 F_s の関係を示す。これを見ると各モータにおいて最大の静推力が発生する最適な同調用コンデンサの値が存在することが分かる。

発生する静推力はポールピッチ $\tau = 60$ mm のモータで最大約 4.5 N 得られており、ポールピッチ τ が長くなるに従い発生する静推力は小さくなっている。また、ポールピッチ $\tau = 50$ mm のモータでは発生する静推力は 3.5 N 程度であった。

Fig. 5 において各モータの静推力 F_s が最大になるときの同調用コンデンサ C を接続した時の拘束試験の結果を Fig. 6, Fig. 7 に示す。拘束試験は、二次導体を設置した状態で、一次電流 $I_1 = 4$ A まで行った。

Fig. 6 はそれぞれのモータにおいて一次電圧 E_1 に対する二次電圧 E_2 の関係、Fig. 7 は一次電圧 E_1 に対する二次電

流 I_2 の関係を示したものである。

これを見るといずれの関係においてもパラメトリック発振による二次電圧 E_2 および、二次電流 I_2 が生じ始める一次電圧 E_1 はどのモータにおいてもほぼ等しくなっているが、発振後に二次側に確立する二次電圧 E_2 および、二次電流 I_2 はポールピッチ τ が変化すると異なった値を示している。

Fig. 8 は Fig. 6 Fig. 7 に示した拘束試験の結果より、一次電流 $I_1 = 4$ A を流したときの二次電圧 E_2 及び二次電流 I_2 とポールピッチ τ の関係を示す。これを見ると二次電圧 E_2 、二次電流 I_2 ともにポールピッチ τ が長くなるにしたがい減少する傾向になっていることが分かる。このグラフより、ポールピッチの変化によるパラメトリック発振への影響が明らかとなり、今後シミュレーション等による検討を行う際の指針となる。

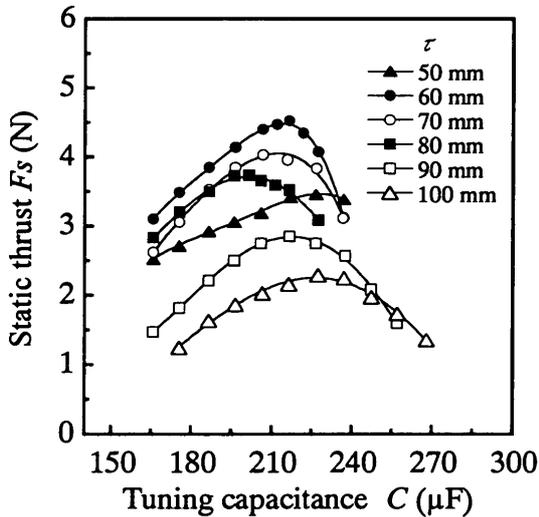


Fig. 5 Relationship between static thrust F_s and tuning capacitance C .

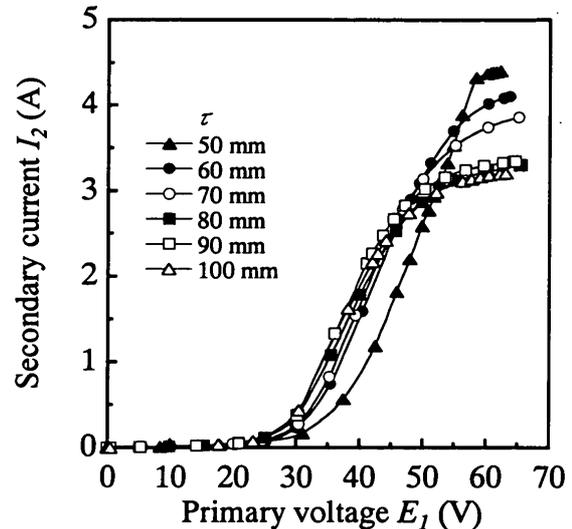


Fig. 7 Secondary current I_2 characteristics.

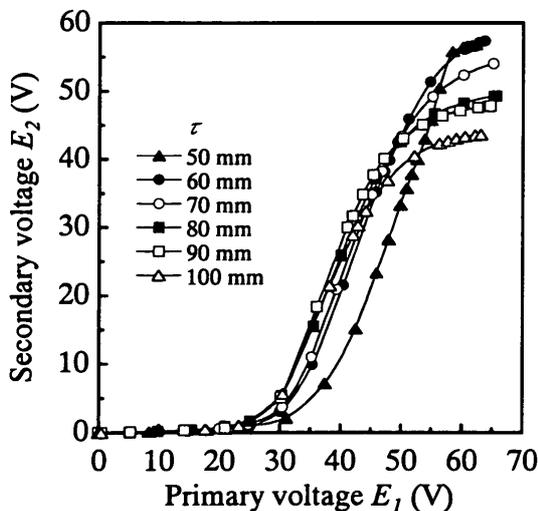


Fig. 6 Secondary voltage E_2 characteristics.

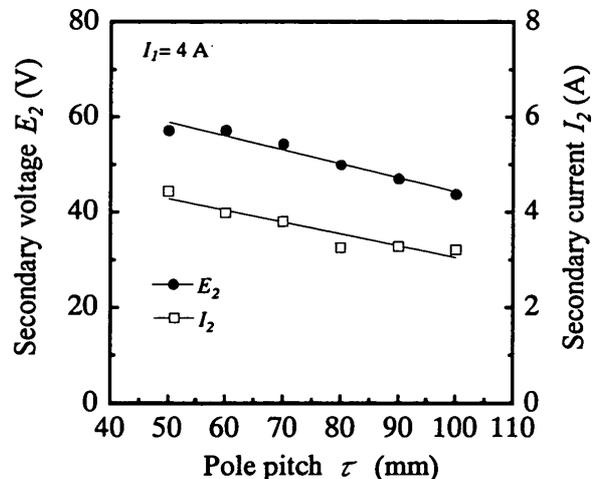


Fig. 8 Relationship of pole pitch τ to secondary voltage E_2 and secondary current I_2 .

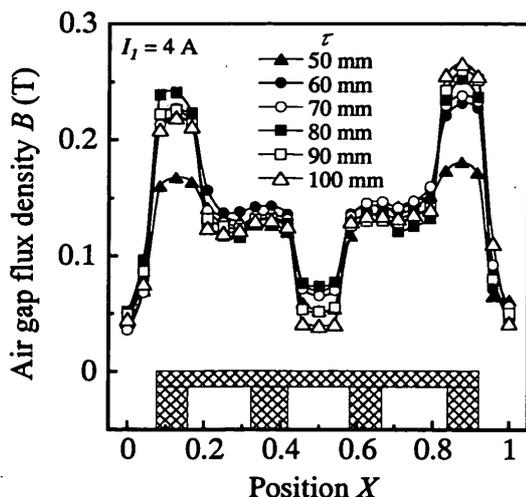


Fig. 9 Air gap flux density distribution.

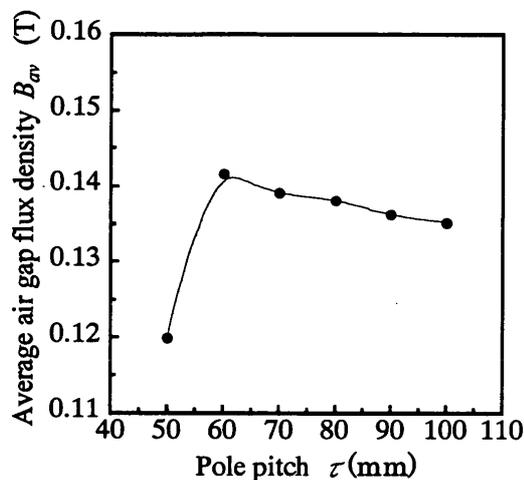
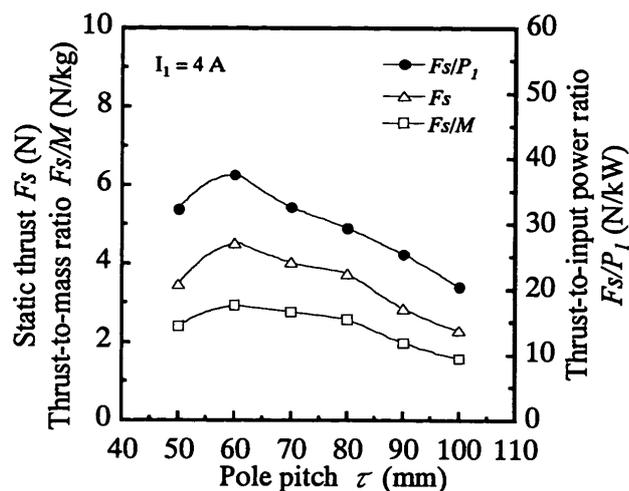


Fig. 10 Average value of Air gap flux density.

Fig. 9 に共通磁路 B_{c1} 上の磁心幅中心部において垂直方向に発生する空隙磁束密度分布を示す。それぞれのモータの共振側には静推力 F_s が最大になるときの同調用コンデンサ C を接続している。グラフの斜線部は磁心の位置を示している。また、横軸は各モータにおいて巻線部分を含んだ全長を規格化して示している。これを見ると空隙磁束密度は脚部磁心上で高く、脚部間で低い値を示していることが分かる。このグラフより、空隙磁束密度の平均値をもとめ、各モータで比較したものを Fig. 10 に示す。これを見ると、空隙磁束密度の平均値はポールピッチ $\tau=60$ mm のとき最大となっており、二次導体への有効磁束密度が一番大きくなっていくことが分かる。

Fig. 11 に両面駆動形 LPaM のポールピッチ τ に対する静推力 F_s , 推力入力比 F_s/P_1 , 推力質量比 F_s/M の関係を示す。これを見るといずれの特性値も $\tau=60$ mm のとき最大となり、ポールピッチ τ が長くなるに従い特性値が低下していくことが分かる。

Fig. 11 Relationship between pole pitch τ and performance characteristics.

これは $\tau=60$ mm のとき漏れ磁束が少なく二次導体への有効磁束が大きいと考えられる。また $\tau=50$ mm のモータにおいては $\tau=60$ mm のモータよりもすべての特性値が低くなっていることから、特性値に対しポールピッチ τ には最適値が存在することが分かる。

4. まとめ

以上、両面駆動形 LPaM の磁心形状がモータ特性に与える影響について 6 台のモータを試作し実験的に検討した。その結果、空隙磁束密度の平均値がポールピッチ $\tau=60$ mm のとき最大となることや、ポールピッチ τ が長いモータほど質量が増加していることにより、ポールピッチおよび磁心形状 H/L には推力質量比等の特性値が最大となる値が存在することが分かった。また、従来のポールピッチ $\tau=70$ mm ($H/L=0.53$) のモータと比較して、今回新たに試作したポールピッチ $\tau=60$ mm ($H/L=0.74$) のモータにおいて特性改善が得られた。

文 献

- 1) M. Ishizuka, K. Ishikawa, S. Kikuchi : *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 23, 4-2, 1581 (1999).
- 2) M. Ishizuka, K. Ishikawa, S. Kikuchi : *Tbhoku-Section Joint Convention Record of Institutes of Electrical and Information Engineers, Japan 2C1* (1997).
- 3) K. Ishikawa, M. Ishizuka, S. Kikuchi : *IEEE Trans. Magn.*, 34, 2054-2056 (1998).
- 4) K. Ishikawa, M. Ishizuka, S. Kikuchi : *The Journal of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan*, 17, 12, 1155 (1997).
- 5) T. Sekimoto, K. Ishikawa, S. Kikuchi : *Paper of Technical Meeting of Magnetics, MAG-00-76*, IEE of Japan (2000).
- 6) S. Kikuchi, K. Ishikawa, M. Ishizuka, H. Tan, T. Sekimoto : *Paper of Technical Meeting of Magnetics, MAG-00-176*, IEE of Japan (2000).
- 7) T. Sekimoto, K. Ishikawa, S. Kikuchi : *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 25, 4-2, 1219 (2001).

2001年10月9日受理, 2002年1月17日採録