開磁路形 LPaM の動作特性に関する考察

Performance Characteristics of a Linear Parametric Motor with an Open Magnetic Circuit

丹博希・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)

H. Tan, K. Ishikawa, and S. Kikuchi

Dept. of Electrical Engng, Tohoku Gakuin Univ., 1-13-1 Chuo, Tagajo 985-8537

(2000 年 10 月 6 日受理, 2001 年 1 月 24 採録)

This paper describes the operating characteristics of a linear parametric motor with an open magnetic circuit. An iron plate was installed on the magnetic pole state in order to increase the thrust. As a result, the thrust increased by 26%. To optimize the design of the motor, the relation between the width of the magnetic core and the static thrust was examined. The static thrust increased when the width of the magnetic core was increased. As a result, it was possible to improve the thrust-to-input power ratio and the thrust-to-mass ratio.

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

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

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、単相電源で簡単に駆動でき、極めて構造が簡単であるため低コストで製作出来るが、三相 LIM に比べて推力質量比が低い為更なる特性改善が必要である^{1),2)}。

これまで筆者等は、4 脚積層形 LPaM を改良して、開磁路構造を持つ開磁路形 LPaM を試作し特性改善を行ってきた^{3),4)}。

本論文では開磁路形 LPaM の設計法の確立を目的として磁心幅の寸法とモータ特性の関係について検討を行ない、さらに推力増加を目的として、磁極面上に磁性体 P_n を設置して検討を行ったので報告する。

2. 基本構成および実験結果

Fig. 1 に開磁路形 LPaM の基本構成を、Table 1 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 が共通磁路でありそれぞれ I 型 core を用いて構成された組み立て磁心である。磁心幅 W は、17 mm を基準として 1.5 倍幅の 25 mm, 2 倍幅の 34 mm の 3 種類を検討した。二次側には二次導体としてアルミニウム板 $RP_{Al} = 1$ mm, 二次側磁性体として 1 mm 厚の鉄板を 5 枚積層した $B_2(RP_{Fe}) = 5$ mm の複合二次導体を

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

Magnetic core height H [mm]	55.0		
Magnetic core width W [mm]	17.0	25.0	34.0
Magnetic core length L [mm]	115.0		
Thickness of common magnetic path tc [mm]	5.0		
Number of turns N ₁ , N ₂ [turns]	1524		

用いて測定を行った。一次巻線 N_1 には単相電源 E_1 , 二次巻線 N_2 には同調用コンデンサ C が接続されており、巻線数は $N_1 = N_2 = 1524$ turns 一定としている。

Fig. 2 にモータの交流磁化特性を示す。これは励磁側を解放した状態で起磁力 Ni_2 を徐々に増加したときの誘起電圧 E_2 の関係を示したものである。グラフよりこの磁心は飽和特性を示しており、磁心幅が増加すると誘起電圧が高くなっていることが分かる。これは磁心幅が増加することによって磁束が増加したためである。

Fig. 3 に磁心幅 17 mm のモータの無負荷特性を示す。一次電圧 $E_1 = 70$ V 付近で二次電圧 E_2 が急激に増加しておりパラメトリック発振が生じていることが分かる。又、発振確立後は E_2 , i_2 共にほぼ一定の値となってい

Fig. 2 AC magnetization curves.

Fig. 4 Relation of the tuning capacitance to the static thrust.

Fig. 3 No-load characteristics.

る。磁心幅 25 mm, 34 mm においても同様の傾向となっている。

Fig. 4 に磁心幅の異なる 3 台のモータの同調用コンデンサ C に対する静推力 F_s 特性を示す。グラフより各磁心幅ごとに最も静推力 F_s が得られる同調用コンデンサ C が存在していることが分かる。静推力 F_s は磁心幅を 1.5 倍, 2.0 倍と増加させることによってそれぞれ 1.63 倍, 2.17 倍と磁心幅の増加以上に特性改善が見られた。

Fig. 5 に 3 台のモータの空隙磁束密度分布を示す。ここでは、モータの長さ方向を X , 幅方向を Z としている。各モータの端部において磁束密度の増加がみられ端部効果が確認できる。

Fig. 6 に 3 台のモータの磁心幅中心線上の空隙磁束密度分布を比較して示す。又、下部の塗りつぶし部分は磁心部形状を表している。グラフより磁心幅を増加させることによって空隙磁束密度が増加し、それに伴

Fig. 5 Air gap flux density distributions.

って平均磁束密度も増加している。

Fig. 7 に磁心幅の異なるモータの各特性値を示す。同調用コンデンサ C は、各磁心幅に対して最も高い静推力 F_s の得られた値を用いている。磁心幅を増加させることによって静推力 F_s , 推力入力比 F_s/P_1 , 推力質量比 F_s/M 共に増加していることが分かる。

Fig. 8 に磁極上から発生する磁束を有効に利用する為に磁極上に磁性体を設置した開磁路形 LPaM の外観図を示す。以前の検討により磁性体の長さについては

Fig. 6 Air gap flux density distributions.

Fig. 7 Relation of the magnetic core width to the characteristics.

Fig. 8 Structure of a linear parametric motor with an open magnetic circuit.

お互いが接触しない範囲で最大の長さ、厚さについては出来る限り薄くする方が望ましいという結果が得られているので、それに基づいて $l_r = 32$ mm, $l_p = 1$ mm 一定とし、今回は磁性体幅 w_r の検討を行った⁶⁾。

Fig. 9 に磁極面上磁性体幅 w_r に対する静推力 F_s 特性を示す。グラフより各磁心幅 W において w_r がモータの磁心幅と一致した場合に最も高い静推力が得られていることが分かる。

Fig. 10 に磁心幅 $W = 17$ mm のモータを用い、磁極面上磁性体幅 $w_r = 6, 17, 34$ mm の磁性体を設置したときの空隙磁束密度分布を示す。グラフより磁性体幅

Fig. 9 Relation of the iron plate width to the static thrust.

Fig. 10 Air gap flux density distributions.
(Magnetic core width $W = 17$ mm)

が広がるにつれて磁束密度が下がることが分かる。

Fig. 11 に磁心幅 $W = 17$ mm のモータを用い、磁極面上磁性体幅 $w_p = 17$ mm の有無による空隙磁束密度分布を示す。●が磁極面上磁性体 P_{Fe} を設置しない場合、○が設置した場合である。磁極面上磁性体 P_{Fe} を設置することによって磁極上における空隙磁束密度のピーク値は減少しているが、磁極間において増加していることが分かる。それに伴い平均磁束密度 B_{av} も増加している。磁心幅 $W = 25, 34$ mm 幅のモータにおいても同様の傾向が見られた。

Fig. 12 に各モータの磁極面上磁性体の有無による同調用コンデンサ C に対する静推力 F_s 特性を示す。グラフより磁極面上磁性体を設置することによって、どの磁心幅においても静推力が増加していることが分かる。

Fig. 13 に磁性体を設置した各モータの W に対する特性値を示す。Fig. 7 と比較して磁極上に磁性体を設置することによって静推力 F_s 、推力入力比 F_s/P_i 、推力質量比 F_s/M 共に増加していることが分かる。

3. まとめ

磁極面上に磁性体を設置して推力増加の検討を行い、磁性体の最適寸法を見出した。この結果に基づいて、幅の異なる 3 種類のモータの特性値を検討した結果、磁心幅を 2 倍とし ($W = 34$ mm) 磁極面上に最適な磁性体を設置したモータは、 $W = 17$ mm のモータと比較して、静推力 F_s を 2.88 倍、推力質量比 F_s/M を 1.53 倍に改善することが出来た。

謝辞

本研究の一部は、平成 11 年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(c)(2) (No.11650295) により行われた

文献

- 1) 石川和己, 菊地新喜, 一ノ倉理, 渡辺忠昭, 村上孝一: 電気設備学会誌, 15, 11, 1074 (1995)
- 2) K. Ishikawa, S. Kikuchi: *IEEE Trans. on Magn.*, 35, 3565 (1999)
- 3) 川上峰夫, 石川和己, 菊地新喜: 日本応用磁気学会誌, 21, 4 - 2, 853 (1997)
- 4) 丹博希, 菊地新喜, 石川和己: 電気学会全国大会講演論文集, 5 - 106 (2000)
- 5) 石川和己, 石塚正人, 菊地新喜: 日本応用磁気学会誌, 23, 4 - 2, 1577 (1999)
- 6) 石川和己, 石塚正人, 菊地新喜: マグネティックス研究会資料, MAG - 97 - 247 (1997)

Fig. 11 Air gap flux density distributions.

Fig. 12 Relation of the tuning capacitance to the static thrust.

Fig. 13 Relation of the magnetic core width to the characteristic values.