リニアパラメトリックモータの正転・逆転に関する考察

Some Considerations on the Directional Control of a Linear Parametric Motor

石川和己・菊地新喜・一ノ倉 理*・渡辺忠昭*・村上孝一**

東北学院大学工学部, 多賀城市中央 1-13-1 (〒985)

*東北大学工学部, 仙台市青葉区荒巻字青葉 (〒980)

**八戸工業大学, 八戸市大字妙字大開 88-1 (〒031)

K. Ishikawa, S. Kikuchi, O. Ichinokura*, T. Watanabe* and K. Murakami**

Dept. of Elect. Engng., Tohoku Gakuin Univ., 13-1, Chuo 1-chome, Tagajo 985

*Dept. of Elect. Engng., Tohoku Univ., Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980

**Hachinohe Inst. of Tech., 88-1, Obiraki, Myo, Hachinohe 031

This paper describes two methods for the directional control of a linear parametric motor. The first uses a circuit-changing switch. The direction of this linear parametric motor can be controlled by exchanging the power supply circuit and tuning the capacitor circuit. In the second method, which we call the separately excited type, the linear motor has two power supplies, and the velocity or direction of the moving part can be easily controlled by regulation of the primary voltage phase difference.

The experimentally ascertained features of these methods are described.

Key words: linear motor, linear parametric motor

1. ま え が き

リニアパラメトリックモータは、構造が簡単で保守が容易であり、かつ単相電源で駆動できるので特に家庭内への応用が期待されており^{1),2)}、実験に用いた四脚積層形リニアパラメトリックモータの特性改善については種々報告してきた^{3)~6)}。今回筆者らは、搬送装置、自動ドアおよび自動カーテンのような往復運動が必要な分野に応用することを目的として、二次導体の正転・逆転および速度制御について実験的に検討した。正転・逆転に関しては、切り換えスイッチを用いて四脚積層形リニアパラメトリックモータの単相電源と同調用のコンデンサを同時に入れ替える方法^{7),8)}と同調用コンデンサの代わりにもう一つの単相電源を接続して、二次電圧に対する一次電圧の位相差を調節して行う方法（以下、他励形と称する）について検討した⁹⁾。また速度制御に関しては、他励形の場合において位相差を調整して実験を行った。本論文は、これらの検討結果について述べるものである。

2. 実験方法および結果

2.1 基本構成

Fig. 1 に実験に用いた四脚積層形リニアパラメトリックモータの基本構成を示す。A₁₁ および A₁₂ が励磁側磁路、A₂₁ および A₂₂ が共振側磁路であり、B₂ は棒状磁心である。B₁ は共通磁路であり、その断面積は他の磁路の断面積よりも小さくしている。N₁ および N₂ はそれぞれ励磁側巻線と共振側巻線であり、巻線 N₁ には単相電源 e₁ を接続し、巻線 N₂ には同調用コンデンサ C が接続されている。今、適当な同調用コンデンサを接続し、一次電圧 e₁ が印加されるとパラメトリック発振が生じ、移動磁界は磁極 4 から磁極 1 の方向に発生し、二次導体が駆動される。この場合の方向を正方向とする。

Fig. 2 に正転・逆転および負荷試験の実験装置を示す。二次導体はアルミニウム 1 mm 厚とケイ素鋼板 0.7 mm 厚の複合導体円板を用いた。円板直径は 32 cm、動作点は円板中心から 10.5 cm とし、円板の軸をトルクメータに接続した。またリニアモータと磁性体までのギャップは g=5 mm とした。

2.2 正転・逆転および速度制御

Fig. 3 に四脚積層形リニアパラメトリックモータの

Fig. 1 Structure of a linear parametric motor.

Fig. 2 Load test apparatus.

$N_1 = N_2 = 1500 \text{ turns}$

Fig. 3 Circuit diagram.

正転および逆転を行うための回路を示す。巻線 N_1 と巻線 N_2 の巻終わり端を接続し、切り換えスイッチ SW の共通端子に単相電源 e_1 と同調用コンデンサ C を並列に接続している。この場合、切り換えスイッチ SW を (+) 側に入れると、Fig. 1 と同様の結線となり、二次導体は正方向に駆動される。また、SW を (-) 側に入れると、巻線 N_2 に単相電源 e_1 、巻線 N_1 に同調用コンデンサ C が接続されることになり、移動磁界は磁極 1 から磁極 4 の方向に発生し、二次導体は負方向に駆動される。

Fig. 4 に切り換えスイッチ SW を用い正転および逆転をさせた時の時間 t に対する速度 v の関係を示す。実験は同調用コンデンサ $C = 45 \mu\text{F}$ を用い、一次電圧 e_1 を変えて行った。パラメトリック発振が生じた後の二次電圧は $e_2 = 113 \text{ V}$ でほぼ一定となる。実験方法は、切り換えスイッチ SW を (+) 側に入れて始動し、 $t = 30 \text{ s}$ で SW を (-) 側に入れ、さらに $t = 60 \text{ s}$ で再度 SW を (+) 側に入れて停止まで行った。この結果、一次電圧が大きいほど立ち上がり時間は短く、最大到達速度は若干速くなっている。また正転と逆転はほぼ同様の傾向となっており、 $t = 30 \text{ s}$ で切り換えスイッチ SW を (+) 側から

Fig. 4 Speed-time curve (circuit-changing type).

(-) 側に入れ換えると逆相制動が働き、約 2 s で停止していることがわかる。

次に、リニアパラメトリックモータの同調用コンデンサの代わりに巻線 N_2 に単相電源を接続して、二次電圧に対する一次電圧の位相差を調整して行う方法（他励形）について検討を行った。

Fig. 5 に他励形にした四脚積層形リニアパラメトリックモータの構成を示す。これは、Fig. 1 の基本構成図における同調用コンデンサ C の代わりにもう一つの単相電源 e_2 を接続し、一次側と二次側の両方から電圧を印加するようにしたものであり、二次電圧 e_2 に対する一次電圧 e_1 の位相差 θ を調整できる。この場合、 θ が負の場合に遅れ位相を示し、 $\theta = -90 \text{ deg.}$ の時に、パラメトリック発振が生じた場合と同様の状態となり、二次導体は正方向に駆動される。

Fig. 6 に一次電圧 e_1 を変えた時の時間 t に対する速度 v の関係を示す。ここで二次電圧はパラメトリック発振で動作した時と同じ値の $e_2 = 113 \text{ V}$ 一定とした。これは位相差 $\theta = -90 \text{ deg.}$ で始動し、 $t = 30 \text{ s}$ で $\theta = +90 \text{ deg.}$ とし、さらに $t = 60 \text{ s}$ で再度 $\theta = -90 \text{ deg.}$ として停止まで行った結果である。これを見ると、一次電圧 e_1 が大きいほど立ち上がり時間が短く、最大到達速度も速くなっており、位相差を $\theta = -90 \text{ deg.}$ から $\theta = +90 \text{ deg.}$ に変えると逆相制動により約 2 s で停止に至ることがわかる。Fig. 4 と Fig. 6 の両図を見ると、同様の傾向になっているが、最大到達速度はパラメトリック発振で動作した時の方が速くなっていることがわかる。

以上の正転・逆転の速度特性について比較検討を行う

Fig. 5 Structure of a separately excited type linear motor.

Fig. 6 Speed-time curve (separately excited type).

ために、円板の立ち上がり特性を時定数で表した結果を Fig. 7 に示す。これは、一次電圧 e_1 に対する時定数の関係を示し、切り換えスイッチを用いた場合の時定数を T_{sw} 、他励形の場合の時定数を T_{ta} で示す。これを見ると、両者の時定数は一次電圧が大きくなるに従ってほぼ直線的に減少し、立ち上がり時間が短くなっていることがわかる。また一次電圧が小さいところでは他励形の方が立ち上がり時間が短くなっているが、 $e_1 = 115 \text{ V}$ においては両者とも同じ値になっていることがわかる。

Fig. 8 に他励形の場合における速度制御の結果を示す。実験は一次電圧 e_1 および二次電圧 e_2 を 90 V 一定とし、位相差を $\theta = -90 \text{ deg.}$ で始動し、 $t = 30 \text{ s}$ で極性を反転して逆転させ、再び $t = 60 \text{ s}$ で極性を変えて停止まで行った。以下同様に、位相差を 10 deg. 間隔で $\theta = -60 \text{ deg.}$ まで行った。これを見ると、位相差を調整することで立ち上がり時間および最大到達速度を制御できることがわかる。また極性を反転させることで正転・逆

Fig. 7 Relation between the time constant and the primary voltage.

Fig. 8 Speed control curve (separately excited type).

転も可能であることがわかる。

次に負荷試験を行い、推力および推力入力比について検討した。

Fig. 9(a), (b) に一次電圧 e_1 に対する静推力 F_s および推力入力比 F_s/P_1 の関係を示す。(a) 図が通常のパラメトリック発振動作の場合、(b) 図が他励形の場合であり、両図共正方向に駆動した時の結果である。両図を見ると、静推力 F_s は一次電圧に対してほぼ直線的に増加しており、両者を比較するとほぼ同程度の値になっていることがわかる。次に推力入力比について見ると、パラメトリック発振動作の場合は一次電圧が大きくなるに従って、入力増加が大きくなるために飽和傾向を示している。また一次側と二次側から電力を供給する他励形の場合は、一次電圧に対して直線的に増加している。両者を比較する

(a) Circuit-changing type.

(b) Separately excited type.

Fig. 9 Relation between the primary voltage and the static thrust force (F_s), and between the primary voltage and the input power ratio (F_s/P_i).

と、パラメトリック発振動作の推力入力比が大きくなっているが、これはパラメトリック発振動作の場合は二次側の入力電力はほぼ零に近い値となるが、他励形の場合は一次側と二次側から電力を供給しているので入力電力が大きくなり、空隙磁束も増加しているものと思われる。このため円板の磁性体に働く垂直力（吸引力）は他励形の方が大きくなり、一次電圧 e_1 が 110 V を越えるとリニアモータと二次導体が接触する。これより実験は $e_1=110$ V までとした。以上の理由により支持機構の摩擦などの機械的な損失が増加し、推力は減少していると考えられる。

3. ま と め

以上、リニアパラメトリックモータの正転・逆転および速度制御に関する検討を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) 切り換えスイッチを用いることで、簡単に正転・逆転が可能である。パラメトリック発振後は二次電圧がほぼ一定となるため、速度もほぼ一定となる。

(2) リニアパラメトリックモータを他励形にし、一次電圧の位相差を調整することで、正転・逆転および速度制御が可能である。

文 献

- 1) 磁気アクチュエータ調査専門委員会編：リニアモータとその応用，p. 59（電気学会，1987）。
- 2) 村上：パラメトリックモータ，p. 94（オーム社，東京，1989）。
- 3) 一ノ倉，対馬，菊地，村上：日本応用磁気学会誌，**14**，431（1990）。
- 4) 石川，渡辺，一ノ倉，菊地，村上：電気学会マグネティックス研究会，MAG-92-197（1992）。
- 5) 石川，渡辺，一ノ倉，菊地，村上：日本応用磁気学会誌，**17**，469（1993）。
- 6) K. Ishikawa, T. Watanabe, O. Ichinokura, S. Kikuchi and K. Murakami: Intermag '93, DR-10（1993）。
- 7) 石川，菊地，一ノ倉，渡辺，村上：電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，1H16（1993）。
- 8) 石川，菊地，一ノ倉，渡辺，村上：第17回日本応用磁気学会学術講演概要集，13aD-8（1993）。
- 9) 石川，菊地，一ノ倉，渡辺，村上：電気学会全国大会，1976（1993）。

1993年10月12日受理，1994年1月28日採録