空心形 X-Y リニア同期モータ

正 員 藤井 信男 (九州大)
 学生員 田中 忍 (九州大)
 学生員 沖永欽二郎 (九州大)

X-Y linear synchronous motor without iron armature core

Nobuo Fujii, Member (Kyushu University)

Shinobu Tanaka, Student Member (Kyushu University)

Kinjiro Okinaga, Student Member (Kyushu University)

For a two-dimensional drive without detent force and iron loss, we propose the "X-Y linear synchronous motor". As the stator, the single-layer three-phase armature windings are used without an iron core. Two groups of windings perpendicularly intersecting each other are used for x and y directional drive respectively. As the mover, the field poles by rare earth type permanent magnets are used at both sides of the armature windings. The three-dimensional numerical analysis proves a sufficiently large flux density in the air gap and the smooth thrust without ripple for any directional movement.

キーワード：二次元運動，サーフェスモータ，X-Y リニアモータ，リニアモータ，同期型，永久磁石

1. まえがき

産業応用において，最近，次世代のモータとして単体で平面上の二次元運動が可能なモータの開発が活発化しており，高性能モータの開発が期待されている。

これまでに，単体で二次元駆動が可能なモータとして， x ， y 軸方向に独立した電機子巻線をもつ XY-LIM⁽¹⁾や円形のサーフェス誘導モータ⁽²⁾⁽³⁾，また，永久磁石を二次元平面上に敷き並べた固定子に対し可動子に電磁石を用いたステッピングモータ方式のもの⁽⁴⁾，これと一次と二次の構成が逆の方式⁽⁵⁾などが提案されている。前者二種は推力密度が小さいこと，後者二種は移動の際にディテント力によって推力に大きな変動が生じる問題を残している。さらに，ヨークとしての鉄板上にギャップワインディング方式で二次元状に密に配置した小さな角形の電機子コイル上で，永久磁石の界磁極を直流機の原理で二次元運動させる方法も開発されているが，鉄損対策等が未解決である。

本稿では，永久磁石を利用しながらディテント力や鉄損を生じない構造の二次元運動用同期モータを提案する。

2. 空心形 X-Y リニア同期モータの基本構造と動作

本モータの基本構造を図 1 に示す。固定子側の電機子巻線は密に平板状に配列した x 方向用と y 方向用三相巻線を直交させて配置した空心構造である。移動子になる界磁極は電機子巻線の両側に配置され，希土類の永久磁石とヨークで構成される。負荷に結合される表側の界磁極に対し，

裏側の界磁極は，空心の電機子巻線に十分な磁束密度を鎖交させるためのものであり，自動的に常に表側の界磁極下に移動できるようにする。これらの磁極の具体的な支持機構としては x と y 方向 2 種のリニアスライダの組み合わせやボールベアリングなどが考えられる。

x や y 方向に移動させるときには， x または y 方向巻線に三相電流を供給して移動磁界を発生させ，最適な同期モータ動作で移動させる。任意方向の移動に対しては， x と y 方向巻線に同時に電流を供給する。この場合，二巻線の電流や周波数の比率を調整して合成移動磁界の方向を決定する。

図 1 空心形 X-Y リニア同期モータの基本構造図

Fig. 1. Basic structure of the X-Y linear synchronous motor.

3. 基礎特性

特徴的な基礎特性を確認し，試験機設計のためのデータを得るために三次元の電磁界数値解析を行った。ここでは

空間の要素分割を必要とせず、力の高精度な算定が容易な三次元専用磁場解析ソフトウェアパッケージ ELF/MAGICを用いた。なお、図示はしていないが、磁束密度の算定においては確認のために有限要素法解析パッケージ ANSYSによる三次元解析も使用した。

図 2(a) に示す数値例について調べる。永久磁石には保磁力 1,030 kA/m、残留磁束密度 1.36 T の円柱形希土類磁石を使用する。ヨークは 1.8 T で飽和する磁気特性を考慮する。

図 3 は磁極中心における磁束密度の磁極表面からの位置 z に対する変化を示す。ここで、両側の磁極面間の距離は 10 mm、磁極面と巻線間は 1 mm を想定している。なお、ここでは巻線電流は零としている。磁束密度は磁極中央で最小になるが、巻線には平均で 0.57 T の磁束密度が鎖交する。図には比較のために図 2(b) に示すような片側式の場合の磁束密度も記入している。片側式では磁極表面から離れるにしたがい磁束密度の減衰が大きく、 x と y 方向巻線に鎖交する磁束の差も大きい。鉄心付片側式の場合と比べて本方式の両側式では x, y 方向巻線への鎖交磁束をそれぞれ 23 %, 90 % も高くできる。

図 4 は本 X-Y リニア同期モータで図 1、図 2(a) に示すような一対の磁極をもつ移動子を 2 ポールピッチ (1 周期) 分移動させた場合の推力の変動を示したものである。この場合、 x と y 方向巻線層の間隔として 1 mm、各相の巻線間も 1 mm を設けており、電流密度は 8 A/mm² としている。45 度方向の移動では x と y 方向巻線に同時に同一電流を流

図 2 数値例における各部の寸法 (単位 mm)

Fig.2. Dimension in the numerical examples.

図 3 磁束密度分布

Fig.3. Distribution of flux density.

図 4 移動に伴う推力の脈動

Fig.4. Ripple of thrust at any position.

しているために x または y 方向へ移動する場合と比べて推力は $\sqrt{2}$ 倍になっているが、それぞれの方向の移動において推力の変動はほとんど見られない。

4. むすび

新方式の二次元運動モータとして、X-Y リニア同期モータを提案し、以下のことを解析により確認した。

- (1) 推力はどの方向の移動においてもほとんど脈動しない。
- (2) 強力な永久磁石を電機子巻線両側に配置することで、励磁用起磁力のために抵抗損を生じることなく、磁極間 10 mm の比較的長ギャップにおいても平均 0.57 T の大きな磁束密度を巻線に鎖交させることができる。
- (3) 同一起磁力の永久磁石を使用する片側式の場合と比べて、本数値例では、 x と y 方向巻線に鎖交する磁束はそれぞれ 23 % と 90 % も高くできる。すなわち、これらに比例する推力が得られる。

本モータ方式は空心の電機子巻線の製作や保持に工夫を要すること、界磁極下以外の電機子巻線にも電流が供給されるために無駄な電力損失を生じるなどの短所が考えられるものの、空心であるためにディテント力がなく、高い磁束密度でも鉄損をほとんど生じない特長を有する。

実用化に向けては、移動子質量に対する推力比を如何に大きくできるかが鍵であると考えられる。

(平成 12 年 06 月 23 日受付, 平成 12 年 08 月 24 日再受付)

文 献

- (1) 大平庸一・山本行雄・竹内勝弘・山田一: 「X-Y LIM の磁気回路解析」 電学論 D, **109**, 675~681 (平元-9)
- (2) 藤井信男・木原徹: 「二次元駆動用サーフェス誘導モータ」 電学論 D, **118**, 221~228 (平10-2)
- (3) N. Fujii, M. Fujitake: "Two-Dimensional Drive Characteristics by Circular-Shaped Motor", IEEE Trans. on Industry Applications, vol.35, 803-809 (July/Aug. 1999)
- (4) 海老原大樹・渡延隆・和多田雅哉: 「ステッピング形サーフェスモータにおける三次元近似解析」 電学論 D, **114**, 1235~1241 (平6-12)
- (5) 山崎憲一・清水敏久・木村軍司: 「3自由度新型サーフェスモータの開発」 電学論 D, **115**, 1194~1195 (平7-9)