磁気抵抗均等構造によるリニアシンクロナス リラクタンスモータの特性改善

正員 真田 雅之 (大阪府立大学)

正員 森本 茂雄 (大阪府立大学)

学生員 森 英明 (大阪府立大学)

正員 武田 洋次 (大阪府立大学)

Characteristics Improvement for Linear SynRM with Reluctance Equalization

Masayuki Sanada, Member, Hideaki Mori, Student Member, Shigeo Morimoto, Member, Yoji Takeda, Member
(Osaka Prefecture University)

キーワード：シンクロナスリラクタンスモータ，リラクタンス力，マルチフラックスバリア，磁気抵抗均等構造

1. まえがき

シンクロナスリラクタンスモータ(SynRM)は，回転子に巻線や磁石を持たないので，耐環境性・保守性に優れ，高効率が期待でき，高速運転に適しているという特徴を持っている。また回転子の構造をアキシアルラミネート形やマルチフラックスバリア形等にするこで，より高性能なモータとすることができる⁽¹⁾⁽²⁾。また，このモータはすでにリニアモータとしても研究され始めている⁽³⁾。本モータの特性改善には鉄部と磁気障壁の幅の最適化が重要である。

本論文では，リニアシンクロナスリラクタンスモータ(LSynRM)の可動子の構造について，従来の鉄の層と磁気障壁(flux barrier)の比が一定の等幅構造に対して，新しく各層の磁気抵抗を均等にする構造を提案し，その有効性を有限要素法を用いて検討を行っている⁽⁴⁾。

2. 可動子の磁気抵抗均等構造

図1に3層の場合の可動子構造の概略図を示す。(a)図の等幅構造では，鉄の層が空隙に面している面積がどの層も同じであるにも関わらず磁路長が内側ほど短いため，内側の磁気抵抗が小さく磁束が集中し，磁気飽和を起こしやすい。そこで，鉄の透磁率を一定と仮定して，どの層も磁気抵抗が同じになるように磁路長と鉄の断面積を変化させた構造が(b)図に示す磁気抵抗均等構造である。ここで，図中の寸法a, b, cは両モデルとも同じ長さである。(b)図の構造の利点として，(1)トータルの磁気抵抗が小さくなり，d軸インダクタンス L_d が増大し， $L_d - L_q$ を大きく設計できるため推力が増加する。(2)鉄の層が不等間隔な構造となるため，巻線スロットとの干渉によるコギング推力が減少する等が考えられる。

3. 解析モデル

有限要素法に用いた解析モデルを図2に示す。周期境界条件(a)は端効果を考慮していないので，非常に多極のリニアモータあるいは回転機に応用した場合に相当する。周期境界条件(b)はリニアモータを想定しての端部を考慮し

図1 可動子の構造 (単位: [mm])
Fig.1. Constructions of mover.

図2 LSynRMの解析モデル
Fig.2. Analytical model of LSynRM.

表1 解析モデル仕様
Table 1 Specifications of analytical model.

固定子側		可動子側	
項目	仕様	項目	仕様
厚さ	30 [mm]	ポールピッチ	40 [mm]
奥行き	68 [mm]	厚さ	18 [mm]
エアギャップ	0.7 [mm]	鉄：磁気障壁	2 : 1 ⁽¹⁾

たモデルである。

まず基本的な特性を検討するため，スロットの影響を避けて固定子側はスロットレスとし，励磁電流は固定子表面に分布電流として与えている。仕様を表1に示す。

表 2 最大推力
Table 2 Maximum thrust.

層数	端部の考慮なし						端部の考慮あり					
	鉄層非飽和 (648A)			鉄層飽和 (1296A)			鉄層非飽和 (648A)			鉄層飽和 (1296A)		
	推力 [N]		増加率 [%]	推力 [N]		増加率 [%]	推力 [N]		増加率 [%]	推力 [N]		増加率 [%]
	等幅	磁均		等幅	磁均		等幅	磁均		等幅	磁均	
2	48.3	49.7	2.9	173.7	182.8	5.2	51.5	53.5	3.9	186.9	194.5	4.1
3	49.7	50.5	1.6	175.4	181.9	3.7	53.1	54.7	3.0	188.8	194.7	3.1
4	50.5	51.2	1.4	177.8	182.6	2.7	54.2	55.5	2.4	186.1	197.6	6.2
5	51.5	51.6	0.2	177.4	182.6	2.9	55.5	56.0	0.9	189.9	199.2	4.9

4. 解析結果

〈4.1〉 推力に与える影響

表 2 に端部の影響を考慮し、鉄の層数を変化させた場合の等幅構造と磁気抵抗均等構造の最大推力とその増加率を示す。ここで、起磁力 648A 時は鉄層非飽和状態で、1296A 時には鉄層飽和状態となる。また、端部の影響を考慮したモデルでは実際の励磁状態を考慮し、対向する可動子鉄心の無い電機子部分 (図 2 中の追加部分) にも同じ起磁力を与えて解析している。この場合、一可動子あたりの起磁力が大きくなるので端部の影響のないモデルよりも若干推力が大きくなっている。表 2 より、端部の考慮の有無や鉄層の飽和非飽和に関係なく、磁気抵抗均等構造では推力の増大が認められた。端部の影響のある場合では、ない場合と比較して増加率が大きくなっている。これは、端部が存在すると上述の理由により同じ励磁電流であっても可動子鉄心内の磁束密度が大きくなっていることから、磁気抵抗均等構造は磁気飽和した状態で、より推力改善効果が現れるといえる。

この構造を適用することによって L_d は増加するが、同時に L_q も増加してしまうことも本解析では明らかとなった。例えば 2 層端部無しモデルの場合では磁気抵抗均等構造により、 L_d が 3.7[mH] 増加するが、同時に L_q も 3.4[mH] 増加してしまうために推力は 1.4[N] しか増加しない。図 2 に示すユニット間隔を極ピッチ一定の条件下で広げる方法で L_q を低減できるが、ユニット間隔の調整だけでは同時に L_d も減ってしまうため、ユニット間隔を広げつつ磁気

図 3 推力波形 (648A)
Fig.3. Thrust ripple at 648[A].

抵抗を均等にする構造がより望ましいと考えられる。

〈4.2〉 コギング推力への影響

図 3 に固定子側の巻線スロットを考察した場合の推力リップルを示す。なお、可動子側は一例として鉄層を 3 層とし、スロットの形状は 1 相あたり 2 スロットで、スロットの歯と溝の幅の比率は 1 対 1 のオープンスロットとしている。この結果、磁気抵抗均等構造を用いると平均推力は約 2% 増加し、さらにリップル成分が約 24% 低減できることが分かった。

5. まとめ

シンクロナスリラクタンスモータにおける磁気抵抗均等構造を提案した。この構造を用いることにより推力が増大し、リップルも低減され、リニアモータ・回転機を問わず特性改善に非常に効果的な構造であることが明らかとなった。

(平成 10 年 1 月 5 日受付, 平成 10 年 2 月 20 日再受付)

文 献

- (1) T.J.E.Miller, D.A.Staton, S.E.Wood: "Maximising the saliency ratio of the synchronous reluctance motor," IEE PROCEED-INGS-B, Vol.140, No.4, July 1993
- (2) T.Matsuo, T.A.Lipo: "Rotor Design Optimization of Synchronous Reluctance Machine," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.9, No.2, June 1994
- (3) A.Damiano, I.Marongiu, A.Delpizzo, A.Perfetto: "Modelling Improvement of a High Anisotropy Linear Reluctance Motor," LDIA'95 Nagasaki, JAPAN, pp179-182
- (4) 森, 真田, 森本, 武田: 「リニア同期リラクタンスモータにおける新しい可動子構造の検討」, 平 9 電気学会産業応用部門全国大会, No.221

真田 雅之

(正員) 昭和 41 年 6 月 1 日生。平成 6 年 3 月大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月同大学工学部助手, 9 年 7 月同講師, 現在に至る。博士(工学)。この間, 主としてリニアモータ, 電磁界解析の研究に従事。IEEE, 日本 AEM 学会, パワーエレクトロニクス研究会会員。

森 英明

(学生会員) 昭和 49 年 1 月 2 日生。平成 8 年 3 月大阪府立大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月同大学大学院工学研究科電気情報系専攻博士前期課程入学, 現在に至る。

森本 茂雄 武田 洋次

(正員) 電学論 D, 117 巻 10 号, p.1226 参照
(正員) 電学論 D, 117 巻 10 号, p.1226 参照