

社団法人 日本設計工学会 四国支部
平成 21 年度研究発表講演会
講演論文集

開催日：2010 年 3 月 16 日（火）
会 場：香川大学 工学部

主 催
社団法人 日本設計工学会 四国支部
共 催
香川大学 工学部

整流コイルを用いたベアリングレスモータのロータ形状の改善

○佐伯真司 (高知工科大学大学院)

岡宏一 (高知工科大学)

楠川量啓 (正, 高知工科大学)

1. はじめに

通常, 一般的な電気モータのロータ支持機構には, ボールベアリングなどの機械的支持機構が用いられている. しかし, 機械的支持機構には, 高速回転時の, 摩擦や磨耗などの問題や潤滑油などの定期的なメンテナンスが必要である. 一方, ベアリングレスモータのロータ支持機構には, 非接触で駆動が可能な磁気支持機構が用いられている. そのため, 無潤滑で駆動が可能である. その特徴から, 無保守化が可能であり, 潤滑油による汚損もなくなるため, 整備保守の困難な場所や汚損を嫌う医薬品や食品製造機械用のモータなどへの応用が期待されている¹⁾²⁾.

現在多くのベアリングレスモータの, ロータには, 永久磁石を用いている. この理由として, 大きな磁力を得ることが出来るために, ロータとステータの空隙を比較的大きくしても駆動が可能であり, さらにモータの小型化にも有効である. しかし, 永久磁石の性質上, 機械的強度や高温での消磁の問題がある. この問題の解決のため, 新しい構造のベアリングレスモータが提案されている³⁾. 整流コイルを用いる利点として, ロータコア全体を電磁鋼板などで製作することが可能となるため, 機械的強度が向上する. また, 高温での永久磁石の消磁問題も解決できる.

本報告では, 整流コイルを用いたベアリングレスモータの開発に向け, ロータの歯幅を設計し, 低速回転時の回転性能向上を行ったので報告する.

2. 整流コイルの原理

整流コイルの原理を説明するため, 直線状に簡略化したロータ, ステータ, およびコイル図を Fig. 1 に示す. 両側にあるステータには, 誘導用コイルと, 制御用コイルの2種類のコイルが巻かれている. 誘導用コイルは, 交流電流を流しロータコイルに誘導電流を流すのに使用する. 一方, 制御用コイルでは, 水平方向に働く力を発生させるために使用する. ロータコイルは, 直列に接続されており, ダイオードが接続してある.

誘導用コイルに交流電流を流すと, ロータコイルには誘導電流が生じる. この電流は整流され, 一方向のみに流れる. そのため, ロータコイルに発生する磁界の向きも一定方向となる. これにより, ロータコイルの磁極は固定され, 永久磁石をロータに取り付けたのと同様に扱えると考えられる. 誘導用コイルに印加される交流電圧によって, ロータコイルに流れる誘導電流とロータの磁束密度変化のシミュレーション結果を Fig. 2 に示す. 誘導用コイルに交流電圧を印加すると, ロータコイルに流れる電流は一定方向となっていることがわかる. ロータの極の磁束密度は, 脈動しているが磁束の方向は同じであり, 磁極が固定されていることがわかる.

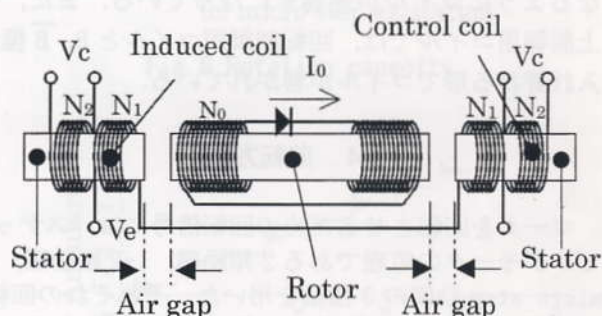


Fig. 1 Schematic of rectified rotor and stator

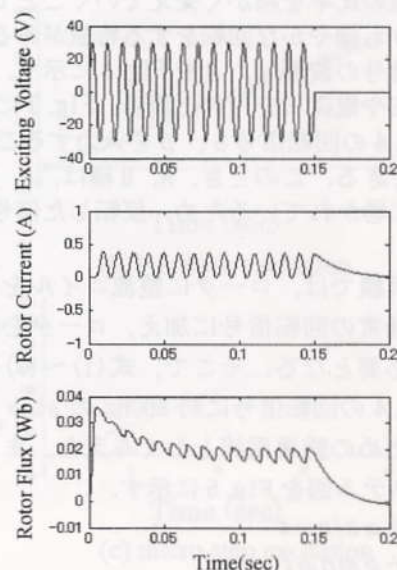


Fig. 2 Function of rectified circuit coil

3. 実験装置

本研究において使用した試作装置の概略図を Fig. 3 に示す。ロータの直径は 58mm であり、ステータとロータの極が互いに向い合う面積が大きくなるようステータとロータの形状を扇形にした。ステータは 8 極、ロータは 4 極であり、ステータの歯幅は 20° 、ロータの歯幅は 30° に設定した。隣の極との空隙は 5° である。コイルは Fig. 3 に示すように、ロータとステータに巻かれている。ロータ側のコイルは 90° で逆の極性となり、 180° で同じ極性となるように巻かれている。ステータ側には回転制御用コイルと浮上制御用コイルの 2 種類が巻かれている。回転制御用コイルは、ロータのコイル電流の誘導と回転制御を行うために用いる。浮上制御用コイルはロータを浮上させるために用いる。今回の実験では、回転制御とそのための誘導電流の制御を行ったので、回転制御用コイルのみを使用し、ロータを機械的なベアリングで支持した。回転制御用コイルの巻き方は A 極と $\bar{A}$ 極、B と $\bar{B}$ 極がそれぞれ直列につながれており、 $\bar{A}$ 極、 $\bar{B}$ 極はそれぞれ A 極、B 極と逆の極となるようにコイルが逆巻きになっている。また、浮上制御用コイルでは、回転制御用コイルと B、 $\bar{B}$ 極が入れ替わる形でコイルが巻かれている。

4. 回転方法

ロータを回転させるための回転信号には、ステップモータの原理である 2 相励磁、1-2 相励磁、micro step 励磁の 3 種類を用いた。それぞれの回転の特徴として、2 相励磁では高トルクが得られる。1-2 相励磁では、2 相励磁よりステップ幅が半分になるため、滑らかな回転がえられる。micro step 励磁では、電流の比率を細かく変えていくことで、1-2 相励磁よりも細やかな回転をする特徴がある。3 種類の回転信号の波形 α 、 β を Fig. 4 に示す。ロータに永久磁石や電磁石を用いた場合、Fig. 3 に示す A、B 極に Fig. 4 の回転信号 α 、 β を入力することで、回転駆動できる。このとき、 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 極は、A、B 極とコイルが逆に巻かれているため、反転した信号が入力される。

今回の実験では、ロータに整流コイルを用いているので、通常回転信号に加え、ロータを磁化させる信号が必要となる。そこで、式(1)～(3)に示すように、Fig. 4 の回転信号に約 800Hz の sine 波をロータ磁化のための誘導電流として与えた。また、簡略化したシステム図を Fig. 5 に示す。

$$A = \alpha + \alpha \sin \omega t \quad (1)$$

$$B = \beta + \beta \sin \omega t \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi \times 800 \quad (3)$$

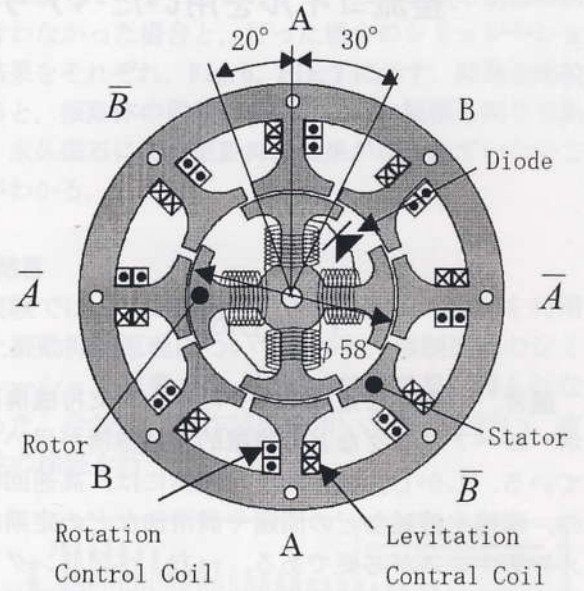


Fig. 3 Illustration of rectified bearingless motor

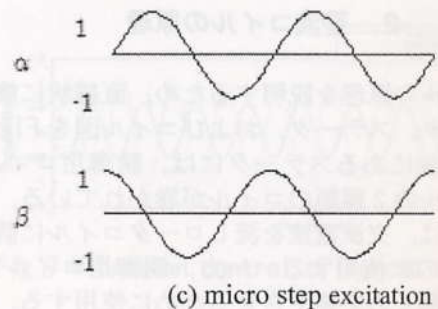
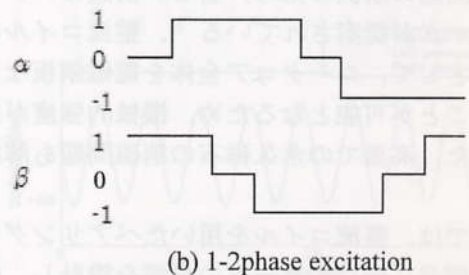
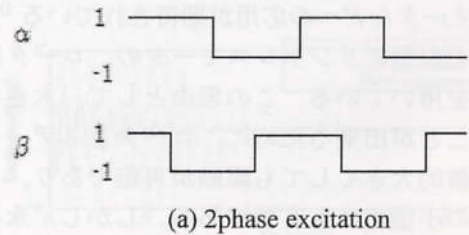


Fig. 4 rotation signal

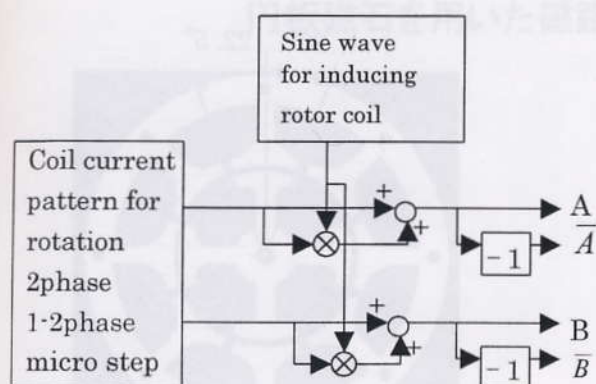


Fig. 5 Experiment system configuration chart

5. 回転実験

5. 1 回転性能実験と結果

Fig. 4 に示すそれぞれの回転信号の波形 α , β を式(1)~(3) に代入し, 3 種類の励磁方法を用いて回転駆動させる. 様々な回転領域でロータを駆動させ, 実際の回転速度をエンコーダで測定した. 3 種類の励磁方法の回転領域を Fig. 6 に示す. Fig. 6 の結果より, 2 相励磁では 2~60rps, 1-2 相励磁では 0.5~60rps, micro step 励磁では 1~70rps の回転領域を示した. micro step 励磁では 3 種類の中で最も高速回転し, 1-2 相励磁は, 最も低速で回転した. しかし, どの回転方法を用いても 0.5rps 以下での駆動が確認できなかった.

5. 2 誘導電流の与え方の改善しての低速回転実験と結果

Fig. 6 の結果より, 0.5rps 以下での回転を確認することができなかった. この理由として, 低速で回転させた場合, 回転信号とロータ磁化のための信号が, 同周期で変化するため, 実際のロータの位置とロータ磁化のための信号に差異が生じる. そのため, ロータの磁化が不十分となっていることが考えられた. そこで, エンコーダを用いてロータ角度を検出し, その角度に合わせた誘導電流を送るように改善を行った. ロータの角度が変化するに従って, ロータ磁化のための誘導電流の比率を変化させる.

誘導電流の与え方を改善し, 3 種類の励磁方法を用いて, 低速回転領域である 0.05rps での回転実験を行った. 0.05rps で駆動させたロータの角度をエンコーダにより測定した. それぞれの測定結果を Fig. 7 に示す. Fig. 7 の結果より, 誘導電流の与え方を改善し, 3 種類の励磁方法を用いて 0.05rps で駆動を確認した. 2 相励磁, 1-2 相励磁では, ロータがステップ状に駆動していることがわかる. しかし, micro step 励磁では, ロータの角度変位が一定ではなく, 急激に変化している場所が見られた.

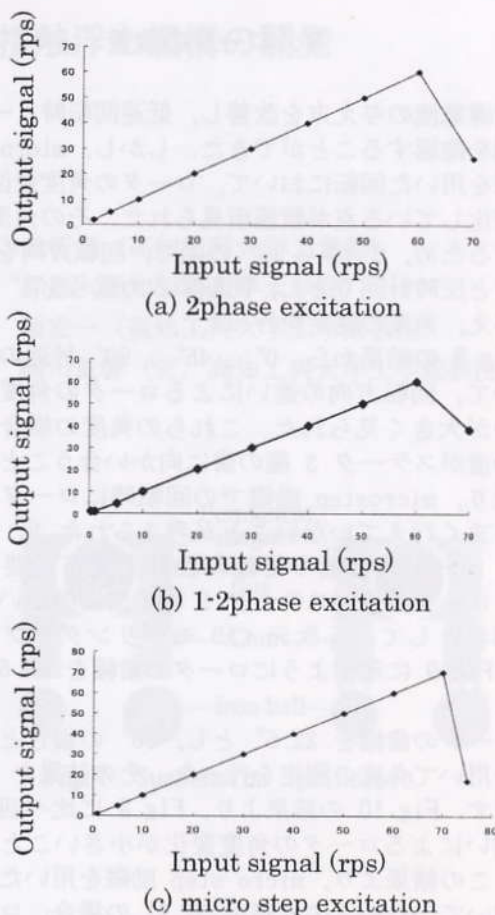


Fig. 6 Rotation capacity

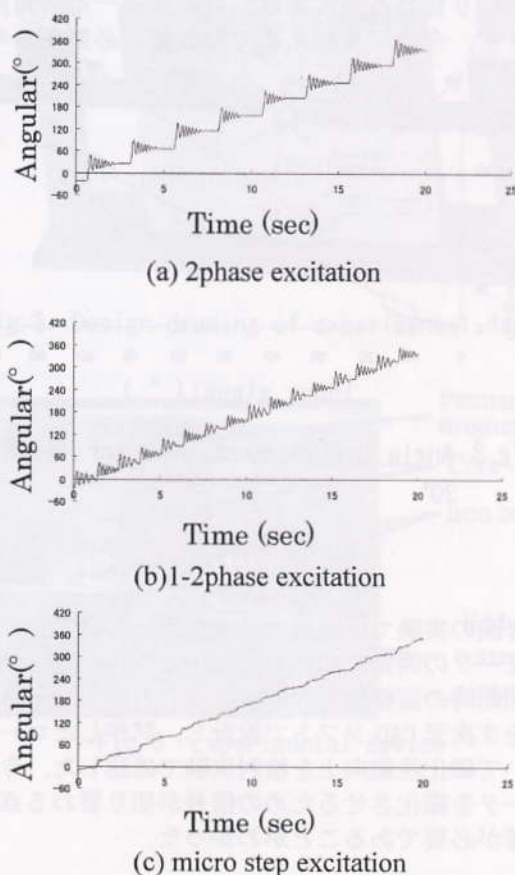


Fig. 7 Angle displacement of rotor in 0.05rps

6. ロータの改善

誘導電流の与え方を改善し、低速回転時ロータの回転を確認することができた。しかし、micro step 励磁を用いた回転において、ロータの角度変位が急に变化している点が数箇所見られた。その角度を測定するため、 0° から 90° の間で、回転方向を時計回りと反時計回りとし、回転の入力信号を 1° ごとに与え、角度の測定を行った。

Fig. 8 の結果から、 0° 、 45° 、 90° 付近の角度において、回転方向の違いによるロータの角度変化の違いが大きく見られた。これらの角度の場合、ロータの歯がステータ 3 極の歯に向かい合うことが原因となり、microstep 励磁での回転時にロータの磁化がうまく行えていないことが考えられた⁴⁾。そのため、ロータの歯幅や歯数の設計変更が必要となった。ロータの歯がステータ 3 極の歯に向かい合わない形状として、3 次元 CAD モデリングソフトを用い、Fig. 9 に示すようにロータの歯幅を 22.5° に設計した。

ロータの歯幅を 22.5° とし、 30° の場合と同じ方法を用いて角度の測定を行った。その結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10 の結果より、Fig. 8 に比べ回転方向の違いによるロータの角度変化が小さいことがわかる。この結果より、micro step 励磁を用いた回転時において、ロータの歯幅が 22.5° の場合、ロータコアへのロータを磁化するための信号がうまく付加されていると考えられる。しかし、磁化するための信号が切り替わる角度では、ロータが一定の角度で停止せず、今後切り替え点での改善が必要だと考えられる。

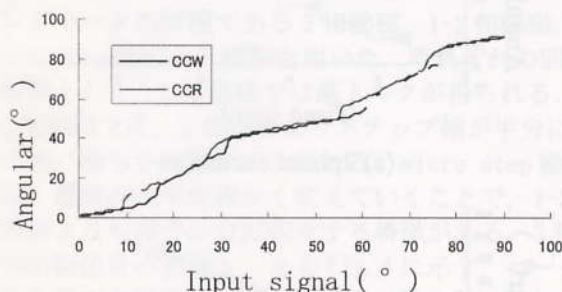


Fig. 8 Angle displacement of rotor teeth width 30°

5. おわりに

今回の実験では整流コイルを用いたベアリングレスモータの開発に向けて、micro step 励磁での低速回転時の回転性能の向上を行うため、ロータの歯幅を 3 次元 CAD ソフトで設計し、試作したロータを用いて磁化性能向上を検討実験で確認した。今後、ロータを磁化させるための信号が切り替わる点での改善が必要であることがわかった。

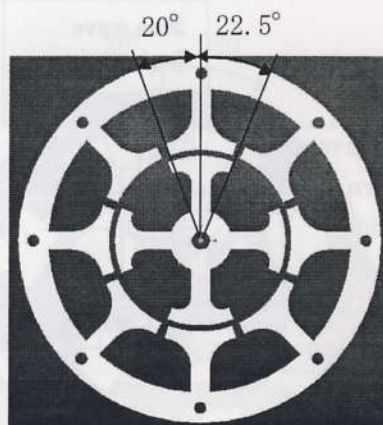


Fig. 9 Design of 3DCAD

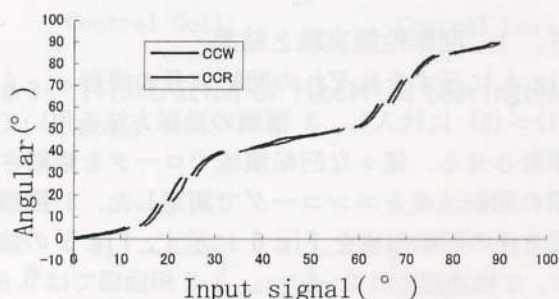


Fig. 10 Angle displacement of rotor teeth width 22.5°

参考文献

- 1) K. Ohmori, S. J. Kim, T. Masuzawa and Y. Okada, 'Design of an axial type self-bearing motor for small axial pump, Proc. of the Eighth international symposium on magnetic bearings, (2002), 15-20.
- 2) A. Chiba, Desmond T. Power, and M. Azizur Rahman, 'Analysis of no-load characteristics of a bearingless induction motor, IEEE Transactions on industry applications, (1995) vol. 31, No. 1, pp. 77-83.
- 3) Andres O. Salazar, A. Chiba and T. Fukao, 'A review of developments in bearingless motors, 7th international symp. on magnetic bearings, (2000), 335-340.
- 4) 佐伯真司, 岡宏一, '整流コイルを用いたベアリングレスモータの回転トルク特性の改善, 半導体電力変換, リニアドライブ合同研究会 (2008), 87.