

整流コイルを用いたベアリングレスモータの回転制御

Rotation Control of Bearingless Motors with Rectified Circuit Coil.

佐伯真司（高知工科大学）

岡宏一（高知工科大学）

Shinji SAIKI, Kochi University of Technology, Tosayamadacho Miyanoguti185, Kami, Kochi

Koichi OKA, Kochi University of Technology

Abstract

In this paper, a study of rotation control for a new type of bearingless motor will be discussed. The feature of this bearingless motor is using a rotor with rectified circuit coils. The experimental apparatus used four poles on the rotor side and eight poles on the stator side. In this experiment, it aims only at the rotation control. Therefore, the rotor axis is fixed by mechanical bearings. Three strategies for rotation are examined by an experimental setup.

Key Words: Bearingless Motor , Rectified Circuit .

1. はじめに

モータにはロータを支持するために、通常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、高速回転をする場合、機械的ベアリングは摩擦、磨耗などの問題が生じる。また、定期的なメンテナンスを行う必要がある。ベアリングレスモータは、ロータを磁気支持し、非接触であるため、無潤滑、高速回転が可能である。また、非接触により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。このように、多くの利点を持つためベアリングレスモータは、様々な特徴を持った機構が開発されている^(1,2)。

多くのベアリングレスモータは、非接触駆動を実現するためにロータに永久磁石を用いている。通常、永久磁石は大きな磁力を得ることが出来るため、永久磁石を用いたベアリングレスモータは、ロータとステータの空隙を比較的大きくしても有効な駆動が可能であり、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⁾。この機構の特徴は、ロータに整流回路が接続してあるコイルを用いることである。ロータコイルに誘導起電力を発生させ、流れる電流を整流することによってロータの磁極を固定し、永久磁石を用いる場合と同様に扱える。ロータの磁極を固定することにより有効な支持および回転を実現させる。整流コイルを用いる利点として、ロータコアを全て電磁鋼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、高温での使用問題も解決できる。

今回の発表では、整流コイルを用いたベアリングレスモータの回転について考察および実験を行ったので報告する。まず、ベアリングレスモータの原理を述べる。その後試作機の解説を行い、回転のための励磁方法について説明する。

最後に実験結果を述べる。

2. 整流コイルを用いたベアリングレスモータの原理

整流回路を用いたベアリングレスモータの基本的な構造を Fig.1 に示す。ロータコアは4極、ステータコアは8極である。このベアリングレスモータの原理を説明するためのロータ、ステータ、およびコイルの概略を Fig.2 に示す。ステータの極には2種類のコイルが巻かれてある。一方は、励磁コイルであり交流電流を流し、ロータに取り付けたコイルに誘導電流を流すのに使用する。もう一方は制御コイルである。制御コイルは、回転トルクや半径方向に働く力の制御に使用する。

ロータコイルは、直列に接続されており、このコイルにダイオードが接続してある。励磁コイルに交流電流を流し、ロータコイルに誘導電流を生じさせる。その誘導電流が整流され、流れる電流の方向が一定方向になることによりロータの磁極を固定できる。これにより永久磁石をロータに取り付けたのと同じように扱える。Fig.1のように周囲にステータを配置した場合においても Fig.2 と同様な方法でロータの磁極を固定することができる。このとき制御コイルに流す電流を変化させ、ロータに働く力を制御することによって磁気支持を可能とする。Fig.3は、励磁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のシミュレーション結果である。交流電圧が励磁コイルに印加されるとき、ロータコイルに流れる電流は一定方向となることがわかる。ロータの極の磁束密度は、波打っているが一定方向になっており、磁極が固定されていることがわかる。

ロータが Fig.1 の位置にある場合、下側の極でロータを支持し、上側のステータでロータを吊り下げるように力を働かせることにより磁気支持が可能となる。また、各極の制御コイルに流れる電流をそれぞれ制御することにより、

半径方向に働く力と回転トルクを制御でき、非接触で PM ステッピング・モータのように駆動できる。

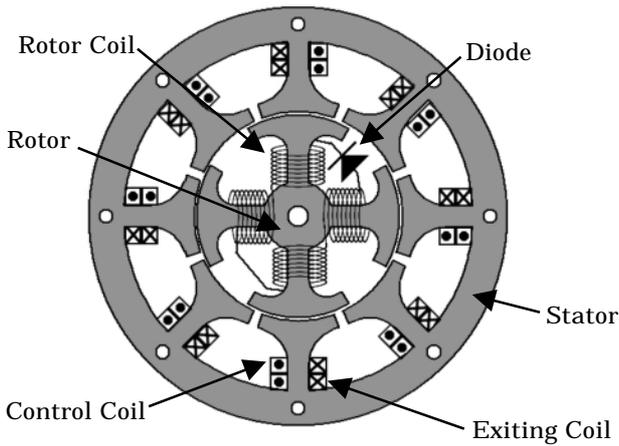


Fig.1 Illustration of rectified bearingless motor

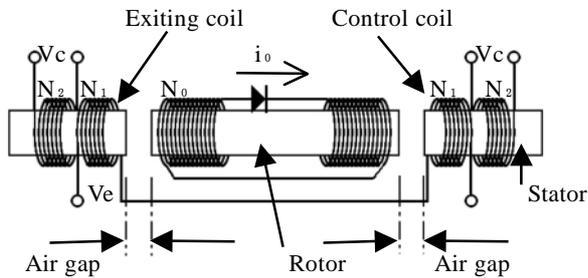


Fig. 2 Schematic of rectified rotor and stator

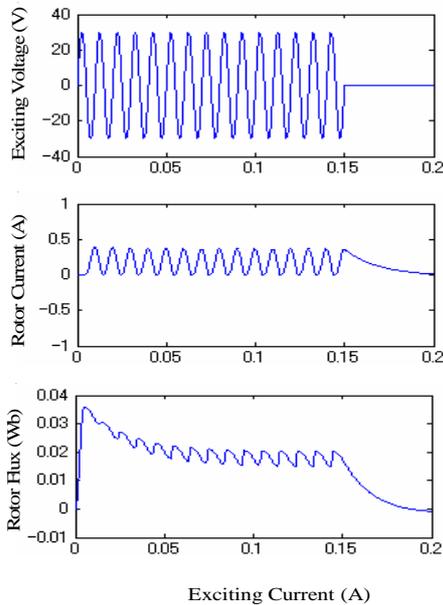


Fig. 3 Function of rectified circuit coil

3 . 試作機の形状

実験で作成した試作機の形状を ,Fig.4 に示す . ロータの直径はコイルを巻きやすいように、約 60mm とし、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は扇形に似た形にした . また , Fig.4 に示すようにステータの歯幅を 20° , ロータの歯幅を 30° に決定した . 隣の極との空隙は角度で 5° である . コイルは Fig.1 に示すように , ロータとステータと巻かれている . ロータ側のコイルは , Fig.5 に示すように A と B とは直列につながれており , はステータの磁極が逆極となることを示す . ロータを励磁するため , ステータに約 800Hz の sin 波を加える . これにより , ロータの磁極を固定する .

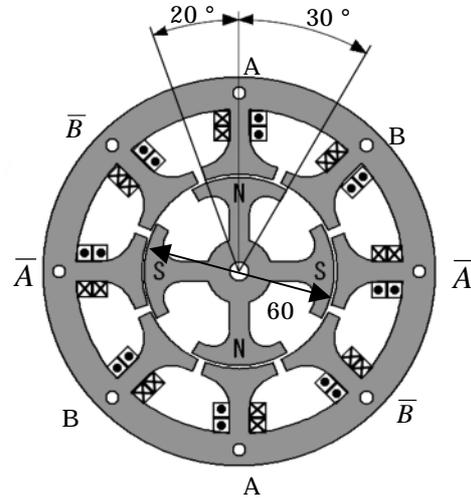


Fig.4 Shape of prototype

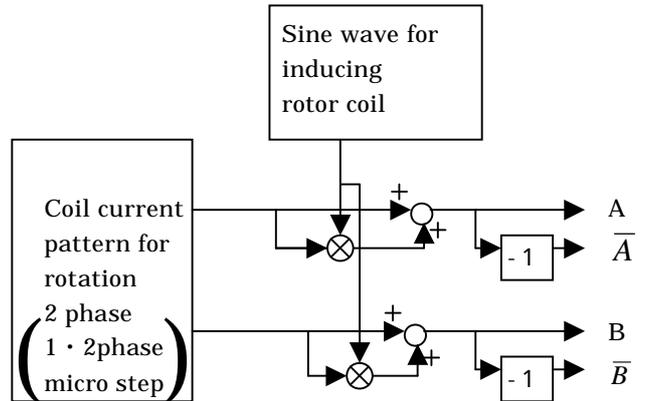


Fig.5 Experiment system configuration chart

4 . 回転実験

4 .1 回転のための回路と励磁方法 今回の実験では、ステッピングモータの原理を応用して回転させた。また、回転性能を確認するため、ロータを機械的なベアリングで支持した。励磁方法として、2相励磁、1・2相励磁、マイクロステップ (sine, cosine で励磁) の 3 種類の回転方法について考察した。それぞれ回転や励磁の特徴を考えて、回転方法を決定した。今回の実験装置の簡略なシステム図を Fig.5 に示す。図に示すように回転パターンとして、と の 2 つの波形が出力される。それらの波形にロータコイルに誘導電流を流すための sine 波を乗じた波形を加え合わせる。出力されたそれぞれの波形を A, B に、その波形を反転させたものが \bar{A} , \bar{B} であり、これらの波形を A, B, \bar{A} , \bar{B} に入力する 2 相励磁の場合は、ロータと回転

させるために、A、Bの信号として、Fig.6のような信号を入力した。1-2相励磁の場合にはFig.7のステップ状の波形をステータに与えて、回転を行った。マイクロステップ励磁(sine, cosineで励磁)では、ロータの回転方法として、Fig.8の波形のように、Nにはsine波、Sにはcosine波、与えて回転させた。

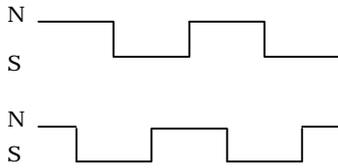


Fig.6 Signal of two phase excitation

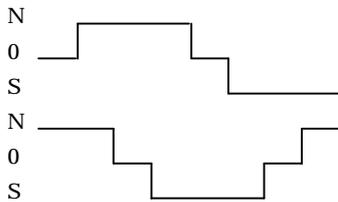


Fig.7 Signal of one and two phase excitation

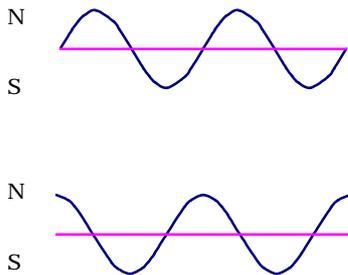


Fig.8 Signal of Micro step

4.2 回転実験の結果と考察 実験では、安定した回転が得られるかと回転最大回転数について実験を行い、どの励磁方法が良いか検討した。2相励磁では、1~150rpmの低回転の駆動を行ったときに駆動しないという現象が見られた。しかし、200rpm~6000rpmの駆動の場合には、安定して回転することが観測できた。それ以上の駆動周波数では、ステータの磁極変化にロータの回転が遅くなり、最後には回転が停止した。これは、機械的ベアリングや空気抵抗による摩擦で抵抗が生じることが原因ではないかと推察される。また、今回の3つの励磁方法でもっとも高回転まで回転させることができた。低速回転時に問題が生じたのは、ロータ磁極の励磁が低速では磁極を固定することができなかつたためと考えられる。

1・2相励磁では、低回転でも回転したが、回転角度などを観測した結果、安定して回転がされることが困難であった。高速励磁領域では、2000rpmを超える回転は得られなかった。

マイクロステップ駆動では、低速から高速まで一様な回転が得られた。回転自体も滑らかであった。しかし、回転

トルク自体は弱く、低速回転時には、逆方向に力を与えるとその方向に回転する場合があった。この時に、電磁誘導のための電流を強くすると、改善された。今回の実験では、マイクロステップが、最も滑らかな回転を見せた。

以下をまとめるとTable.1のようになった。

Table.1 Experiment result

	Minmum (rpm)	Maxmum (rpm)	remark
2 phase Drive	190	7100	High speed
1・2 phase Drive	50	1200	Unstable at low low speed
Micro step Drive	30	6200	Smooth rotation From low speed to high speed

6.まとめ

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、回転機構に関する考察を行った。今回の発表ではこのベアリングレスモータに関して回転のための励磁方法と回転性能を実験によって確認した。この結果低速時にはマイクロステップの励磁、高速時には2相励磁がよいことが確認された。今後、回転速度の計測と共に、磁気浮上機構の開発を行い、ベアリングレスモータを実現する予定である。

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, pp. 15-20, August 2002.
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, vol. 31, No.1, pp.77-83, January/February 1995.
3. Andres O. Salazar, A. Chiba and T. Fukao, "A review of developments in bearingless motors," 7th international symp. on magnetic bearings, pp.335-340, August, 2000.
4. Koichi Oka, "Bearingless motor with rectifier circuits," 8th international symposium on magnetic bearing, Mito, Japan pp.271-275, August, 2002.
5. Hironobu Aratani, Koichi Oka, Chen Li, "Development of Bearingless Motors with Rectified CircuitCoil," The 17th symposium on electromagnetics and dynamics, pp.493-496, Jun, 2005.