

半波整流ブラシなし同期電動機に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
阿部 貴志

本論文は、突極形回転子にダイオードで単相短絡された d 軸回転子巻線を持ち、トルク電流にバイアス周波数にて脈動する励磁電流を重畳した三相固定子電流を、回転子位置に同期して電圧形 PWM インバータにて供給する、「半波整流ブラシなし同期電動機」に関して、試作機の作成、永久磁石励磁の併用、製品化などを行い、さらに、AC サーボモータとしての実用化を目的として、特性解析手法の確立、センサレス制御の適用などの研究を行ったものである。

第 2 章では、本電動機の半波整流ブラシなし励磁の原理、さらにトルク発生原理について詳細に示した。また、本電動機の特性方程式を解くことにより数値解析を行い、本電動機の回路定数が特性に与える影響を考察し、本電動機的设计パラメータに関しての考察を行った。これらの検証による本電動機の実用化研究の成果として、「VARIFIELD」という商品名にて製品化を行い、実験により以下のような特長が得られた。

- (1) 大容量化が容易で、イナーシャが小さく、パワーレートを優れ、高速応答性を発揮する。
- (2) ブラシなし構造で、整流花火によるフラッシュオーバーがなく、メンテナンスフリー。
- (3) 磁束分布が正弦波に近いので、低速域でもトルクリプルが小さく、回転が滑らかである。
- (4) 誘導形サーボモータのような特性の不安定性が無い。

以上のような特性のほか、本電動機は永久磁石サーボモータと誘導形サーボモータのほぼ中間的な性質を持つこと、小出力～大出力で高効率・高力率であることが確認された。

第 3 章では、半波整流ブラシなし励磁方式だけでも本電動機のブラシなし励磁は可能であるが、本電動機の回転子に永久磁石を装着し、永久磁石による励磁方式を併用することによって、さらに高性能なブラシなし同期電動機を実現することを目的とした研究を行った。まず、永久磁石を併用した本電動機の励磁原理、トルク発生原理を詳細に示した。また、同じ鉄心構造を持つ永久磁石を併用する方式と併用しない方式の 2 種類の半波整流ブラシなし同期電動機を試作し、実験により永久磁石を併用することで、全出力領域において、電動機へ供給する電機子電流が減少し、効率特性において約 10%以上向上することが明らかになった。さらに、固定子巻線と回転子巻線の抵抗を考慮した電圧方程式より、回路シ

ミュレータにて等価回路を作成し、励磁電流成分の変調波形や実効値の影響について特性解析を行い、制御パラメータや設計パラメータに関して検討を行った。

第 4 章では、パワーエレクトロニクス解析用の回路シミュレータを用いた本電動機のシミュレーションシステムの構築を行った。本電動機は、様々なパワーエレクトロニクス技術の発展に支えられ開発された電動機であるため、電動機単体の電圧方程式を用いての特性解析では不十分であり、インバータ、制御プログラムなどを含めた総合システムとしての解析が必要となる。そこで、パワエレ解析用に開発された回路シミュレータを用いて、電動機モデル、制御プログラムモデル、インバータモデルを作成し、無負荷状態における過渡状態や定常状態での速度応答やインバータ出力電圧とスイッチング信号などについて、実験値とよく一致することを示した。さらに、駆動中に負荷を与えた際の過渡応答についてもシミュレーションが可能であることを確認した。この結果より、次章のセンサレス制御への応用やさらに他の電動機の応用なども可能となった。

第 5 章では、本電動機の位置センサを取り除く、位置センサレス始動位置検出法についての検討を行った。本電動機への位置センサレス法は、本電動機の特異性により一般に行われている制御手法を利用できないため、独自の制御手法を開発した。本手法は、本電動機の励磁方式である半波整流ブラシなし励磁に必要なバイアス周波数の変調波成分を利用した方式であり、磁極判別に関しては、回転子巻線に挿入されたダイオードのオン・オフ状態の違いにより判別を行う方法を用い、回転を伴わず磁極推定が可能となる。本章では、まず、推定位置誤差検出法の基本原理を詳細に説明し、磁極情報を含んだ位置センサレス始動位置推定法について述べ、回路シミュレーションにより、推定軸電圧の導出や界磁抵抗による影響、さらに、DSP やインバータを用いた本制御システムのパラメータ決定と本始動位置検出法の動作確認を行った。最後に、任意の回転子位置による始動位置推定法と磁極判別法の確認実験を行い、本手法により推定誤差が最大で 1.37 度（電気角）と非常に精度よく推定が行えることを確認した。

以上、本研究により、半波整流ブラシなし同期電動機の様々な特長が明らかとなり、本電動機の性能向上を行うとともに、使用目的に応じたトルク制御、位置制御、さらには位置センサレスでの駆動を実現することで、AC サーボモータとしての応用が可能となった。また、本論文で提案した特性解析手法は、他の電動機の低コストな開発手法として利用可能である。