

# 半波整流自励方式リニア同期モータに関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科

平山 齊

本論文は、界磁側に給電装置や永久磁石を必要とせず、さらに界磁磁束を自由に制御できる輸送、搬送用の新型リニア同期モータとして提案された、半波整流励磁の原理を応用した「半波整流自励方式リニア同期モータ」に関して、試作機を作成し理論的な動作や基礎特性の検証、特性改善を目的とした可動子の設計、動特性解析用シミュレーションモデルの作成、特性改善のための制御法などの研究を行ったものである。

第2章では、半波整流励磁を応用した本 LSM の構成および動作原理について述べ、本 LSM を用いたリニアドライブシステムを試作し、実験により基礎特性を検証している。まず、試作したリニアドライブシステムについて述べ、試作機の動作確認として電流波形、往復駆動特性、界磁電流の制御性などの基本動作を実験により検証し、理論通りに動作することを確認した。さらに、試作機の基礎特性として、静推力特性および励磁電流の変化が特性へ及ぼす影響を明らかにした結果、試作機では可動子位置に対する静推力の脈動が非常に大きいことが確認された。

第3章では、本 LSM の dq 軸電圧方程式より、巻線抵抗や dq 軸インダクタンスなどのモータパラメータで表した定常状態における特性計算式を導出している。本 LSM 試作機は、電機子巻線抵抗が非常に大きく、設計や制御を考える上でこの巻線抵抗は無視できないこと、半波整流励磁による自己励磁は界磁巻線の回路時定数により影響を受けることから、本章では巻線抵抗を考慮した特性計算式を導出した。特性計算式による計算値は実験結果とよく一致し、計算式は十分な精度を持つことが確認された。さらに、導出した特性計算式を用いて、設計パラメータと推力の関係を明らかにした。

第4章では、可動子位置に対する静推力脈動の低減を目的とした可動子構造の設計を行うとともに、可動子に施す界磁巻線についての設計も行っている。界磁巻線の設計は、第3章で導出した特性計算式を利用し、界磁巻線ターン数が特性へ及ぼす影響を明らかにし検討した。また、可動子構造の設計は、非対称型構造の可動子とすることで静推力脈動の低減を

図り、有限要素法を用い鉄心の B-H 曲線を考慮した二次元非線形静磁場解析により行った。これらの設計結果を基に新しく可動子を作成し、先に試作した可動子との特性の比較を行い、大幅に静推力の脈動が低減されることを確認した。

第 5 章では、回路シミュレータを用いた本 LSM のシミュレーションモデルを作成する。実験機は固定子長が 2m と比較的長い、固定子長が有限であるため実験で特性を検証できる速度には限界がある。そこで、実験機で測定不可能な速度領域における特性の検証をシミュレーションにより行うために、LSM 本体、インバータシステム、DSP 制御システムのモデルを作成した。LSM 本体のモデルには、定常状態のみでなく過渡状態も含めたシミュレーションを行うために、運動方程式が必要となる。運動方程式のモデルには支持機構による走行抵抗が必要となるため、実験機の走行抵抗の測定を著者独自の方法にて行った。作成したモデルを用いてシミュレーションを行った結果、定常状態における電流や電力、過渡状態における速度応答波形が実験結果とよく一致し、シミュレーションは十分な精度を持つことが確認された。

第 6 章では、本 LSM の制御法として、定推力領域における最大推力/電流制御、高速領域では弱め界磁制御に加え、新たに最大推力/電圧制御を提案している。まず、本 LSM における最大推力/電流制御の概念を述べ、制御条件を導出し、従来の駆動法との特性の比較を実験により行い、効率や過渡状態における応答速度が改善されることを確認した。また、シミュレーションにより最大発生推力が増加することも確認された。次に、高速領域で適用される弱め界磁制御の制御条件の導出、また本 LSM の最大推力/電圧制御の概念を述べ、制御条件を導出した。これらの制御法を適用した運転特性を、特性計算式を用いて理論的に明らかにした結果、最大推力/電圧制御を適用することで弱め界磁制御のみでの運転に比べ出力範囲が拡大できることを確認した。さらに、シミュレーションによりインバータ等の駆動システムを含んだ運転特性を明らかにし、理論値と同様の結果が得られることを確認した。

以上、本研究により、半波整流励磁を応用した自励式かつ可変界磁形の新型 LSM が開発され、設計や制御による性能向上が達成された。本 LSM は、LIM に比べ高効率で、PM-LSM に比べ堅牢安価であり、現在 LIM や PM-LSM が使用されている高速搬送システムの新たな駆動源として期待される。また、本論文では地上一次方式として設計や制御について検討してきたが、これらは車上一次方式とした場合にも適用できる。