

2018年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名	東京都市大学
職位または役職	准教授
氏名	鈴木 憲吏

1. 研究題目

スイッチドリラクタンスモータにおける全速度領域のサーボ制御アルゴリズムの開発

2. 研究目的

本研究は、スイッチドリラクタンスモータ(以下 SRM)の低速から高速までの全速度領域をシームレスにサーボ制御を行い高効率および低トルクリプル駆動を実現する回路構成(コンバータ、インバータ)及び制御アルゴリズムの開発を行う。工作機械への要求には、電力消費量の大半を占めるスピンドルモータの省エネルギー化、タッピング加工のための安定した低速及び高効率な定トルク駆動が挙げられる。1つ目の要求には、5000rpm 以上の高速領域を利用することで一定の銅損あたりの出力を大きくでき省エネルギー化につながる。一般には、高速化した永久磁石モータで実現するが磁石飛散や磁石高騰の問題がある。そこで磁石を使わない SRM であれば、10000rpm 以上の高速駆動が可能のため、永久磁石モータと同等な省エネルギーが実現でき優位性があると

考えられる。2つ目の要求を SRM で実現するには、高速駆動と異なり低速のためインバータの直流リンク電圧を下げることや低トルクリプルが必要である。SRM用インバータのゲート信号は、回転領域に応じてスイッチング信号生成方式を切り替える必要がある。より高効率で駆動させるには、インバータの直流リンク電圧を回転数に応じた電圧が必要であり、印加電圧可変手法は高効率駆動化へのカギとなる。そこ

で、各要求に対し以下を実施し制御アルゴリズムの開発、全速度領域サーボ制御を実現する。

- ・各速度領域の最大効率を可能とするゲート信号アルゴリズムの提案
- ・昇降圧型高効率コンバータを利用し回転数に応じた直流リンク電圧を可変する印加電圧可変手法の提案
- ・トルクリプルを抑制する電流指令に追従する電流制御系の提案

表 1 各回転数の効率・リンク電圧・点弧角

Speed[rpm]	Link voltage[V]	Efficiency[%]	Firing angle[deg]
2000	27.6	72.1	19
4000	48.0	76.4	17
6000	68.0	77.5	15
8000	90.2	77.1	15
10000	112.0	75.6	13

3. 研究内容及び成果

前年度の結果からインバータのリンク電圧に変が必要なることから可変電源として、昇降圧コンバータの SEPIC を検討した。電源回路の特性は、回路シミュレータ PSIM を用いて解析を行った。基本回路構成は、図 1 に示す回路となる。図では、制御部は省略している。回転数 (2000rpm ~ 10000rpm) に応じてコンバータのデューティ比を入力した際のリンク電圧を図 2 に示す。回転数に応じてリンク電圧は、可変可能であることは確認できるが、リンク電圧にリップルが生じていることが確認できる。モータの回転に伴うリップルも含まれるが、SEPIC コンバータのスイッチングデバイスの切り替え時に生じるリップルも含まれている。改善としては、コンデンサ容量を大容量化が考えられるが、装置の大型化につながる。そこで、安定動作や小型化のため図 3 に示す Z ソースインバータを SRM 用の電源及びインバータとして検討した。図 3 は、回路シミュレータにて構成した回路となっており、制御部分は別途設けている。また、SRM 部分に関しては、三相 RL 回路(一相当たり 5mH、10Ω)として模擬している。図 4 は、入力電圧 DC100V に対して Duty 比を制御して降圧動作および 0.3s 以降にシュートスルータイムを利用した昇圧動作のシミュレーション結果となる。ここで、電圧変化の波形(出力電圧)は、三相 RL 負荷に加わる線間電圧の波高値の平均値である。図 4 より SEPIC コンバータに比べ電圧の立ち上がりの応答が早く要求電圧に対して出力電圧が追従していることが確認できる。シミュレーション上では、良好な特性が得られたことから実験装置を製作し、動作評価を実施した。図 5 は、本研究で製作した Z ソースインバータの実験装置(中央)と測定機器となっている。実験装置での環境は、三相 RL(一相当たり 5.3mH、26.3Ω)負荷、入力電圧 DC20V として実験を行った。図 6 は、シュートスルータイムに対する昇圧動作の結果となる。シュートスルータイムの変化に伴い、出力電圧も昇圧していることが確認でき良好な結果が得られた。

以上のことから、提案回路によるモータへの出力電圧が可変可能であることが確認できた。

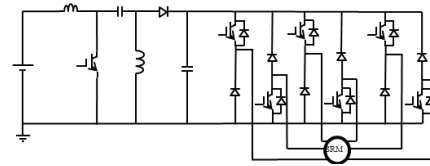


図 1 SEPIC コンバータと非対称 HB インバータ

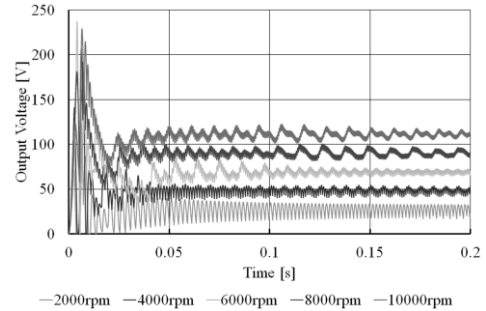


図 2 SEPIC コンバータのリンク電圧特性

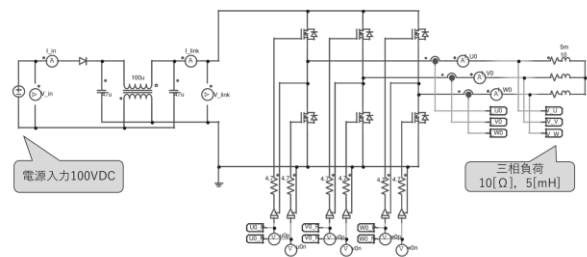


図 3 Z ソースインバータのシミュレーション回路

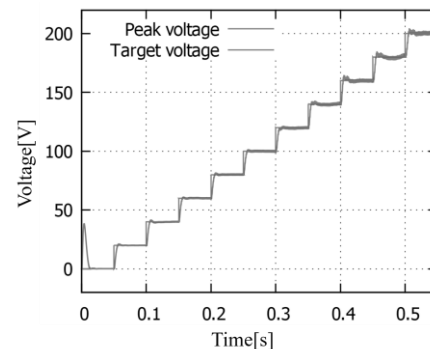


図 4 Z ソースインバータの電圧段階出力特性

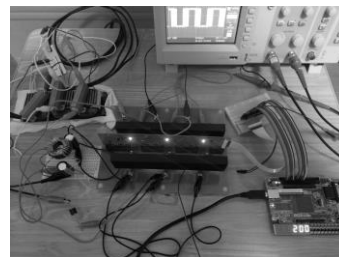


図 5 製作した Z ソースインバータ実験装置

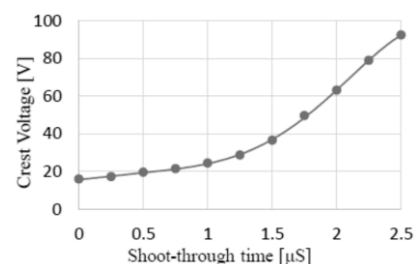


図 6 Z ソースインバータの昇圧動作特性

4. 今後の研究の見通し

本年度の成果からモータドライブ時に必要な電圧の可変用電源が完成した。

今後の方針として、リンク電圧と SRM のドライブ両方の視点から効率と点弧角、インバータのリンク電圧の関係を実験から明らかにし、ワンパルス PWM 制御やマルチパルス制御、速度領域および効率面から最適なゲート制御（ワンパルスやマルチパルスの自動切換）方式の決定手法や切替タイミングの決定手法、最大効率と点弧角に対する定式化、最大効率や回転に応じリンク電圧を可変する電源システム装置の制御手法を提案する。

研究目的に掲げた下記を実現する予定である。

- ・各速度領域の最大効率を可能とするゲート信号アルゴリズムの提案
- ・昇降圧型高効率コンバータを利用し回転数に基づく直流リンク電圧を可変する印加電圧可変手法の提案
- ・トルクリプルを抑制する電流指令に追従する電流制御系の提案

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

1. 伊勢穰、鈴木憲吏、百目鬼英雄；スイッチトリラクタンスモータにおけるサーボ制御法の提案、日本 AEM 学会、第 28 回 MAGDA コンファレンス、P-2、令和元年 10 月、p286-p289
2. 吉岡宏紀、鈴木憲吏、百目鬼英雄；スイッチドリラクタンスモータの可変速ドライブ時に適応する可変電源の提案、日本 AEM 学会、第 28 回 MAGDA コンファレンス、P-2、令和元年 10 月、p290-p293
3. 第 32 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム 2020 年 5 月 20 日～2020 年 5 月 22 日発表予定
4. 2020 年電気学会産業応用部門大会 2020 年 8 月 25 日～ 8 月 27 日発表予定