

2017年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名 (大学、大学院、研究所名)	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。また、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

3. 研究内容及び成果

図1～図3に点弧角に対する効率、損失およびリンク電圧の特性を示す。各速度領域において最大効率となるゲート信号や回転数に応じたリンク電圧の変動値を見積もるための実験とし、実験条件として、非対称Hブリッジインバータを利用し、ゲート信号はシングルパルス方式によるワンパルスPWM制御とした。ただし、励磁幅14deg、負荷トルク0.2Nmとし脱調しない速度領域2000rpmから10000rpmとした。また、インバータに印加するリンク電圧は、直流可変電源を利用し手動で設定した。ここでモータ仕様は、定格回転数10000rpm、定格トルク1Nm、固定子6極、回転子8極とし研究室で設計したSRMであり、電磁鋼板材料20JNEH1200(JFEスチール社製)を使用している。

図1に示す各回転数での点弧角可変時における効率より、各回転数において最大効率点が存在することが確認できる。また、図2に各点弧角に対する損失特性であり、最小損失となる点弧角があることも確認できる。表1より各回転の最大効率に着目すると2000rpm時72.1%（点弧角19deg）、4000rpm時726.4%（点弧角17deg）、6000rpm時77.5%（点弧角15deg）、8000rpm時77.1%（点弧角15deg）、10000rpm時75.6%（点弧角13deg）と確認でき、最大効率をベースとし点弧角を決定できることが言える。また、ワンパルスPWM制御のため、モータに流す電流などを考慮すると、図3に示すように各回転において必要とするリンク電圧は異なることが確認できる。最大効率時のリンク電圧は、最小電圧であることも確認でき、モータ効率のほかに電源を含むシステム全体の高効率化にもつながると考えられる。

従って、効率よくSRMを駆動させるには、インバータのリンク電圧部に従来の整流回路による直流リンク電圧回路ではなく、可変電圧可能な昇降圧コンバータが必要となることがわかる。

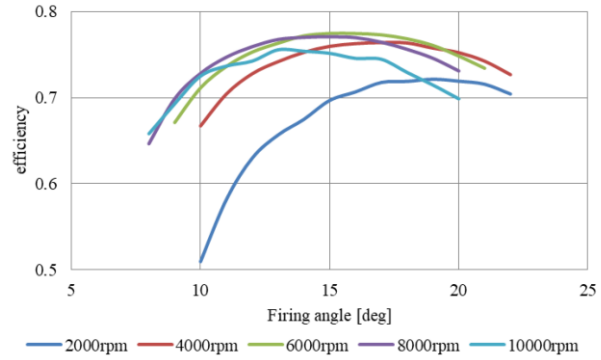


図1 各回転数での点弧角－効率特性

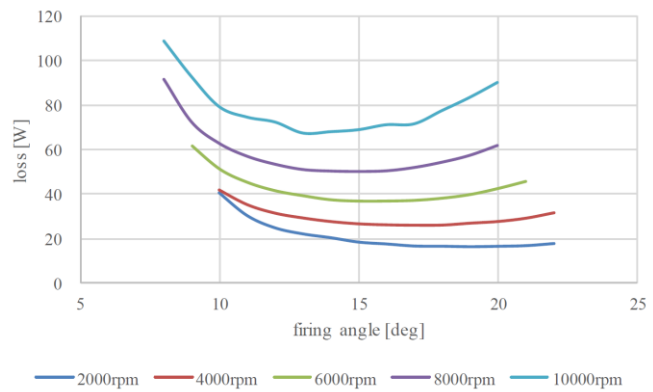


図2 各回転数での点弧角－損失特性

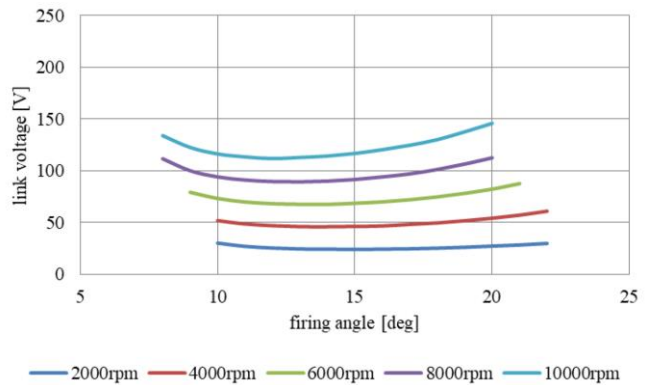


図3 各回転数での点弧角－リンク電圧特性

表1 最大効率時の各回転数の
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

4. 今後の研究の見通し

本年度の成果から効率と点弧角、インバータのリンク電圧は、密接に関係していることが実験を通して明らかになった。また、回路シミュレータを用いてインバータの電源である昇降圧コンバータの検討も並行して行っている。

今後の方針として、ワンパルス PWM 制御による評価であったがマルチパルス制御も実施し、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替）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を実現すること。また、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開発を実施する予定である。

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

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

1. 安島直樹、鈴木憲吏、百目鬼英雄;スイッチトリラクタンスモータ(SRM)向け駆動用インバータの検討、日本 AEM 学会、第 27 回 MAGDA コンファレンス、P-13、平成 30 年 10 月、p360-p363
2. 第 31 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム 2019 年 5 月 22 日～2019 年 5 月 24 日発表予定