

受入大学名	群馬大学		
Host University	GUNMA UNIVERSITY		
外国人研究者	シュ ソン		
Foreign Researcher	XU SONG		
受入研究者	橋本 誠司	職名	教授
Research Advisor	SEIJI HASHIMOTO	Position	PROFESSOR
受入学部/研究科	大学院理工学府		
Faculty/Department	GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY		

<外国人研究者プロフィール/Profile>

国籍	中国
Nationality	CHINA
所属機関	江蘇科技大学
Affiliation	JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
現在の職名	講師
Position	LECTURER
研究期間	2023年7月8日～ 2023年 10月4日 (89日間)
Period of Stay	89days (July 8th, 2023 - October 4th, 2023)
専攻分野	電気電子工学
Major Field	Electrical and Electronic Engineering



PCでシミュレーション/PC Simulation

<外国人研究者からの報告/Foreign Researcher Report>

①研究課題 / Theme of Research
The objectives of the research is to realize dynamic interaction control between artificial intelligent (Neural Network) controller and conventional model-predictive direct torque controller to electric drive system with IPMSM motor. Due to the conventional model predictive direct torque control method has caused a big current jitter while the start-up process of IPMSM motor. In this research, by introducing artificial intelligence technology and optimizing the motor's current/torque response and speed response, we will construct a control structure that can improve both performances. This research has two main challenges: 1) The soft dynamic interaction between the NN controller and conventional controller. 2) Rapid learning of the NN controller and system stability.
②研究概要 / Outline of Research
I was developing a dynamic interacted NN controller with conventional I-PD controller system for industrial temperature control application. This time, we have realized a hybrid control system with high performance and low computational load, and have also demonstrated control stability, control performance, and robustness. In this study, NN control is applied to the control system of IPMSM motor for efficiency control by generating the d-axis reference value. In order to improve dynamic characteristics, it is introduced to generate a reference value for the q-axis. We also instructed them to verify the integrated control system they had built using actual equipment, and to consider ways to implement it.
③研究成果 / Results of Research
By carried out this research project, the simulation and experimental verification of the proposed NN based combination control method for embedded IPMSM motor control system has been done. the results of this research are list as follows: 1) A high accurate and high performance control structure based on NN control suitable for IPMSM motors has been proposed and evaluated. 2) Verifications of the proposed control structure through simulations and experiments has been done by quantitatively comparing the results with thosed obtained from the conventional methods. 3) Related research papers has been written including 2 journal papers and 1 international conference paper. 4) Further more, future joint research and inter university exchanges has been discussed.
④今後の計画 / Further Research Plan
Although, it can be said that most of the originally planned research objectives have been achieved, there is still some room for improvement in this research. The first part is NN teaching signal adjusting, this time the output of the speed controller is used for NN learning, however, the output maybe satulated under special conditions, so better teaching signal will improve the learning efficiency of the NN controller. The second part is to obtain the high precise electric motor dynamic parameters, online parameter identification method need to be applied. The third part is to add different NN structures RNN and CNN may have better performance. There is also plan to submit and getting publish the research outcomes in journal and conference proceeding

< 受入研究者からの報告/Research Advisor Report >

① 研究課題 / Theme of Research

本研究の目的は、従来の制御法（例えば、PID制御やモデル予測直接トルク制御など）と、ニューラルネットワーク（NN）に基づく人工知能制御を併用することで、埋め込み磁石型永久磁石同期モータ（IPMSMモータ）を搭載した電動駆動システムを、高性能かつ高効率に制御することである。従来制御法のみで両性能を向上させようとした場合、IPMSMモータの目標値応答や外乱応答においては行き過ぎ量や振動を引き起こす。この研究では、そこに人工知能技術を導入して、モータの電流・トルク応答と速度応答を最適化することにより、両性能向上が実現可能な制御構造を構築する。本研究の課題を大別すると、1) 従来のコントローラとNNコントローラ間での動的な相互作用の解析と、それによる高性能、高効率制御構造の構築、2) NNコントローラの迅速な学習とシステムの安定性補償の実現、となる。

② 研究指導概要 / Outline of Research

本留学生は、博士課程在学中からこれまでの間に、産業用温度制御アプリケーション向けに、NN制御器とI-PD制御器を併用した高性能温度制御系を開発してきている。ここでは、実装を考慮し、高性能かつ演算負荷の小さいハイブリッド制御系を実現し、制御の安定性、制御性能、堅牢性なども実証してきている。本研究では、NN制御をIPMSMモータの制御システムに適用する。効率制御用においては、d軸の参照値生成に導入する。動特性改善用にはq軸の参照値生成に導入する。さらにこれらを統合し、1つのNN制御器により効率と動特性改善を実現する統合化制御システムを構築する。また、構築した統合化制御システムを実機により検証し、さらに実装を考慮した実現方法についても検討するよう指導した。

③ 研究指導成果 / Results of Research

指導の成果として、IPMSMモータの従来制御に対しNN制御を導入することで、効率改善と動特性改善ともに従来と同等以上の性能を達成した。効率改善の観点では、従来法であるMTPA制御と比べ、パラメータ変動がない場合においてほぼ同等で、パラメータ変動時には10%程度の効率改善を確認している。また、動特性改善の観点でも、目標値応答時間とオーバーシュートの双方でそれぞれ60%と40%程度の改善がえられている。また本制御構造では、システム稼働中の外乱に対しても、従来の固定制御器では達成不可能な、優れた応答性改善能力を有することが確認できている。なお、本研究の成果は、特許出願済みであり、また、関連学会のJournal論文に投稿中である。

④ 留学生交流事業の活動状況 / Activities of International Student Exchange Program

日本に入国前の準備状況として、下記を実施した：

- ・本研究で取り組む制御対象と異なる制御対象にて、本研究で主となるニューラルネットワークに基づくハイブリッド型制御法を導入し、シミュレーションや実験検証を行ってきた。
- ・本研究課題で対象とするIPMSMモータの制御器実装方法について、ハードウェア設計や基盤製作などの準備を行った。

日本入国後は、主として以下の研究に従事した：

- ・IPMSMモータに適合するNN制御に基づく高精度かつ高性能な制御構造の構築
- ・提案する制御構造のシミュレーション及び実験による検証、従来手法との定量比較
- ・Journal論文の執筆、今後の共同研究や大学間交流を通じての更なる発展についての打ち合わせ

⑤ 今後の計画 / Further Research Plan

当初予定の研究課題は概ね達成できたといえるが、本研究にはまだ改善の余地がいくつか残っている。今後の研究課題としては、第一にはNNの教示信号の選定である。今回、シミュレーションや実験検証では、静的なパラメータ変動を仮定し、性能評価を行った。磁気飽和などの動的な変動に対しては未実施であり、その場合には教師信号の見直しなどが想定される。第二には、異なるNN構造を検討することである。時系列に適合するニューラルネットワーク（RNNやLSTM）で、より高性能化が可能と思われ、また、Temporal Convolutional Network(TCN)などでは、可視化技術により効率改善や動特性改善が説明でき、物理的な根拠を提示できる可能性がある。今後は、共同研究を継続・発展させ、このような研究成果をジャーナル論文や学会発表していく予定である。



PCでシミュレーション/PC Simulation



研究風景/Research experiments