

小型同期発電機実験システムの構築及び GPBL への応用

AE18059 宋子恒

1. はじめに

現在、教育用電力訓練装置には、送電事故を模擬できる送電線模擬訓練装置がある。遮断器や配線用遮断器の特性を生かし、さまざまな実験ができるような装置がある。しかし、それがかかるスペースと実験を行うために難しさを考慮し、現実には電力関係技術者の育成と強化を制限された。そこで、電気機器をより簡単に習得するために、異なる種類のモジュールを使用し、簡単に組み替えができ、自由度の高い電力システムのシミュレーションを多く行えるモジュール型電力系統訓練装置を製作した。

本研究では、導入が進む再生可能エネルギーの中で、最も安定した発電が可能な水力発電に着目している。水車特性から発電機特性を学習することが可能な小型同期発電機システムを開発した。目的としては、同期発電機システムの構築と教育的な評価である。

2. モジュール型電力系統訓練装置 [1].

モジュール式電力系統トレーニング装置は、既存の電力系統トレーニング装置と異なり、組み立て箱型であることが特徴です。既存の市販の大型トレーニング装置は、非常に高価であり、改造も困難である。これらの問題点を踏まえ、図1に示すようなモジュール型の電力系統トレーニング装置を開発しました。



図1. 既存のモジュール型の電力系統トレーニング装置

3. 同期式発電機システムの概要

図2に小型同期発電機システムの概略図を示す。本システムは、インバータモジュール、誘導電動機同期発電機 (IM-SG) モジュール、コントローラモジュールで構成されている。インバータと誘導電動機で水車を模擬し、同期発電機で発電することで水力発電を模擬している。インバータに指令する周波数と同期発電機に入力する励磁電圧は、Arduino で制御している。

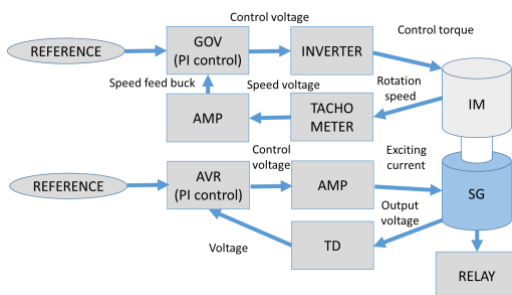


図2 小型同期発電機システムの概略図

Professor Goro Fujita

4. 小型同期式発電実験装置の製作

4.1 インバータ No.2

誘導機駆動用には、図3に示すインバータが内蔵されており、三相交流を出力し、誘導機の回転方向を切り替えることができる。誘導機の回転速度はトルク制御が可能である。インバータ No.1 との違いは、USB-C や Lan ケーブルなどのポートを増やし、より多くの要求に対応できるようにし、また精度も向上させたことである。

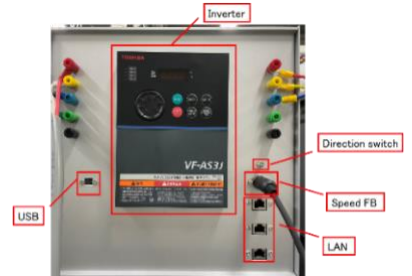


図3 インバータ No.2

4.2 IM-SG モジュール

入力端子に三相誘導電動機、出力端子に三相同期発電機が接続されています。内部には回転数を計測するためのタコメーターが内蔵されている。誘導機に取り付けた歯車の回転を磁気センサーで測定し、タコメーターに表示する。測定された回転速度は、コントローラモジュールを介してインバータモジュールにフィードバックされる。コントローラモジュールから出力される励磁電圧を調整することで、発電する電圧を調整する。IM-SG モジュールを図4に示す。

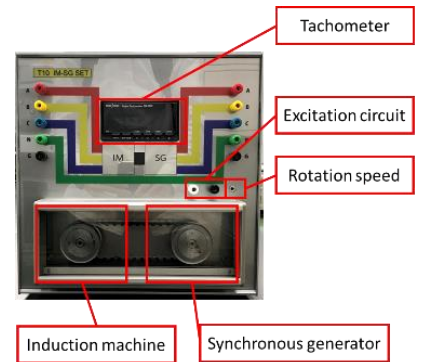


図4 IM-SG モジュール

4.3 コントローラモジュール

コントローラモジュールは、デジタルマルチメータ (DMM)、スイッチング電源、Arduino、リレー、直流電源で構成されています。DMM は発電機から得た電圧を Arduino に入力することができます。Arduino の電圧を制御するために、DMM は発電機から得た電圧を Arduino に入力できるように降圧しています。スイッチング電源は整流回路として機能する。Arduino は測定された速度と電圧から出力を目標値に設定する。リレーは入力電圧によって作動する。直流電源は、IM-SG モジュールに入力される励磁電圧の電源として使用される。図5に今回製作した

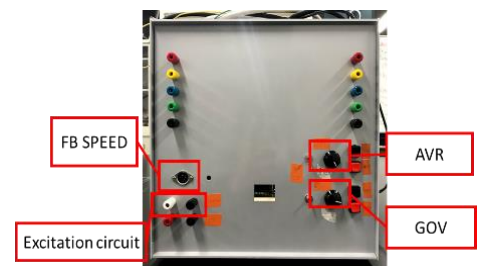


図5 コントローラモジュール

コントローラモジュールを示す。

4.3 制御システム設計

MATLAB の Simulink を使用して、回転数制御と電圧制御のモデルを作成した。測定した回転数、電圧を PI 制御に変換し、PI 制御により出力が目標値に追従するように制御設計を行った。作成した Simulink モデルを制御系に適用した。作成した Simulink モデルを図 6、図 7 に示す。

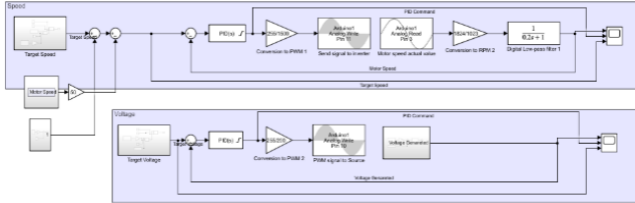


図 6 Simulink モデル(回転数制御、電圧制御)

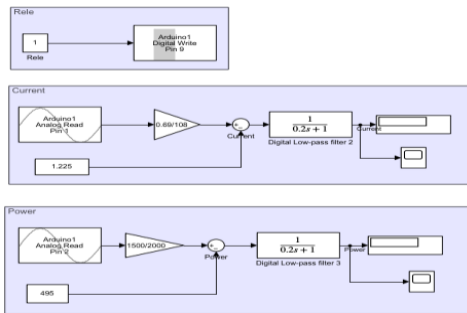


図 7 Simulink モデル(rely, current, power scope)

5.gPBL2021

5.1 gPBL のマイコン設計

MATLAB/Simulink と Arduino の出力ボード通信のため、ArduinoIO に含まれる専用のスケッチを Arduino へ転送しておき、Arduino との接続を確定してから、マイコン設計をして、モータの速度制御実験、モータの角度制御実験、Ball&Beam の実験を行った。三つの実験は機械システムの制御において、速度や角度は正確に制御を基礎として、移動体の走行やロボットアームの角度を制御の応用を体験し、PID 制御に関して知識を学習できた。

5.2 小型同期発電実験システム g PBL への応用

本実験では、芝浦工業大学の学生は三校の学生と共同研究した、コロナの原因で芝浦工業大学の学生は Online を通じて相手の学生たちを手伝い、遠隔操作を行った。以下 (A, B, C) 三つのグループ分け、検討した。

A グループ(TNI×SIT)は PID 制御で回転速度と電圧最適値を見つかることを中心とした、実験を行った。限界感度法を用いて、PID 値が求まった。計算値より PID 制御は 27W から 270W まで、20 秒ごとに 81W ずつ負荷を増加させたとき、モータの回転数、電圧が目標値に追従していることを確認できた。

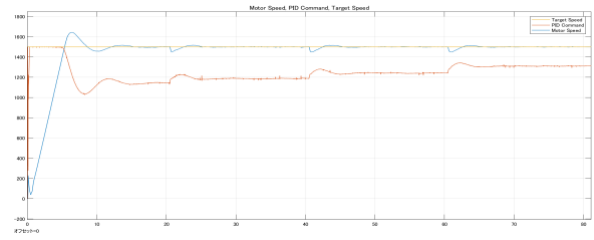


図 8.1 モータ回転速度

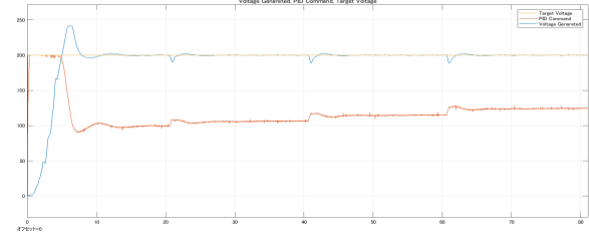


図 8.2 電圧制御

B グループ (ITB×SIT) は回転速度と電圧の制御が通常状態とオーバーシュートの場合との比較を中心とした実験を行うため、PID 値を設計し、最後に最適なゲインを求めて、制御を行った、実験結果は図 9 に示す。

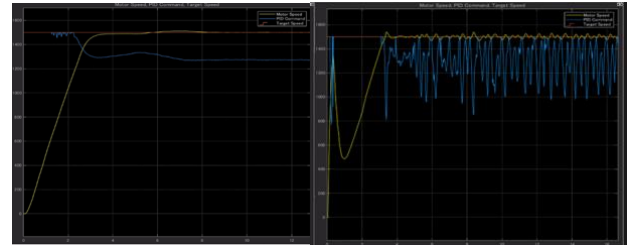


図 9 理想的な制御 (回転速度、電圧)

C グループ (HUST×SIT) は限界感度法を適用して、モータスピードコントローラと電圧コントローラを検討するため、実験を行った。

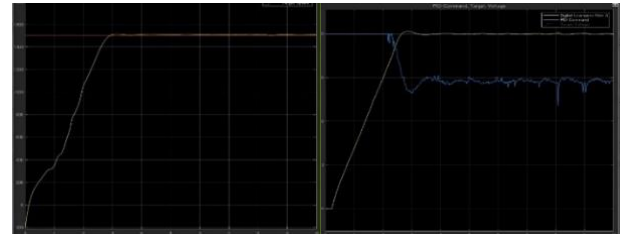


図 10 制御結果 (回転速度、電圧)

6.まとめと展望

本研究は三校の実験結果より、限界感度法を用いて PID 値を求め、わずかな調整で最適な PID 値が得られることを学んだ。そして、新型コロナウイルスの感染拡大による渡航制限の影響で onlinePBL を行った、それは遠隔でも学習させる、通信教育の可能性が証明されたことで、このプロジェクトにより、多くの人が電力システムについて勉強することが可能になり、専門家を増やす機会も生まれた。

参考文献

- [1] 一松祥右, 藤田吾郎, 坂井直樹, 三岡功治 「モジュール型電力系統実習装置の提案」 日本工学教育会 工学教育 61-2(2013)
- [2] 電気学会技術報告書 第 1443 号(D 部門) 「発電機励磁系の仕様と特性」 一般社団法人 電気学会 (2018)