

平成 24 年度採択研究代表者

太田快人

京都大学大学院情報学研究科・教授

事故時運転継続要件を満たしつつ分散協調された系統連系インバータと蓄電池を含む送配電系の構築

§1. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

- ① 研究代表者: 太田 快人 (京都大学大学院情報学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・ 系統連系インバータの協調分散制御
 - ・ ロバスト制御による事故時運転継続可能なインバータ制御方式

(2) 立命館大学グループ

- ① 主たる共同研究者: 鷹羽 浄嗣 (立命館大学理工学部、教授)
- ② 研究項目
 - ・ ロバスト分散協調制御アルゴリズムの開発
 - ・ 分散型蓄電池システムの充放電制御

(3) ダイヘングループ

- ① 主たる共同研究者: 服部 将之 ((株)ダイヘン分散電源システム事業部技術部グループ長)
- ② 研究項目
 - ・ 分散協調アルゴリズムの適用可能性
 - ・ 模擬電力システムによる実地試験
 - ・ 事故時運転継続可能なインバータ制御

§2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

研究のねらい

本研究では、制御、情報、物理の知識を用いて、系統連系インバータと蓄電池を含む送配電系を分散協調制御することを目的としている。ロバスト制御、非線形制御、ネットワークの理論、熱力学統計力学を用いることによって、系統擾乱に強く効率のよい送配電系の制御方策を提案する。

研究の概要

dq変換に等価な線形システム表現を用いて、系統連系インバータのロバスト制御設計を行い、即応性とともに変動に対して強い制御系を構成する。そのことによって系統事故時においても過渡応答性が良好で運転継続ができることを保証する。提案する制御方策の有効性を検証し、評価実験を行うこととする。

ロバスト制御の観点から、エージェント動特性の非均一性やネットワーク構造の変動に対してロバストに同期・合意などの協調的タスクを達成する分散協調制御アルゴリズムを開発する。さらに、多数の系統連系インバータを含む送配電系での電圧変動制御への応用を考察するとともに、次世代送配電系統への応用可能性の検討として、分散型蓄電池システムの充放電制御にロバスト分散協調制御手法を適用し、その有効性を検証する。

熱力学統計力学の概念である自由エネルギーとリスク鋭敏型制御との関係に着目し、熱力学的な意味合いで最大効率を達成する制御則を導出する。つまり、非線形最適制御の手法を用いて、リスク鋭敏型最適制御問題として送配電系の制御問題を定式化し、解法を提案する。

研究の進捗状況と成果

・ 系統連系インバータの制御

dq変換に等価な線形システムについての解析については、結果を得ており、口頭発表(計測自動制御学会や電気学会など)を行っている。その解析結果に基づいて、ロバスト制御の手法であるH無限大ループ整形法の重み関数決定を行い、連携系統インバータの電流制御方策を新たに提案した。本方策は、シミュレーションならびに実験機によって検証を行い、系統擾乱時の運転継続技術が可能であることを示すなど、良好な結果を得ている。これらに内容については、次年度以降に原著論文として発表していく予定である。

・ 系統連系インバータの協調運転

複数の系統連系インバータの協調運転問題を合意形成問題として解くためのいくつかの定式化を行った。インバータとSVCの容量などを考慮に入れた合意形成問題を検討中である。リスク鋭敏型最適制御問題の適用については、現在適用するためのモデル化に取り組んでいる状況である。今年度は、具体的な成果を得るには至っていない。

・ ロバスト分散協調制御アルゴリズムの開発

線形時不変なエージェントからなるマルチエージェントシステムにおいて、エージェントの動特

性の非均一性を加法的モデル変動として表現し、各エージェントの状態をロバストに同期させる問題を検討した。オブザーバ型分散制御則によりロバスト同期が達成されるための必要十分条件を、グラフ・ラプラシアン固有値とエージェント動特性に関連するリカッチ方程式の解を用いて導出し、同期のために許容可能なモデル変動の大きさの限界を評価した¹。

また、非線形エージェントからなるシステムに対して、グラフ・ラプラシアンの固有値が適切な領域内に配置されるようにエージェント間の結合重み(分散フィードバックゲイン)を設計することにより同期を達成する方法を提案した²。

・ 分散型蓄電池システムの充放電制御

構成要素であるリチウムイオン蓄電池及び双方向 DC/DC コンバータの数理モデルについて調査し、充放電制御問題の定式化について検討中である。これと並行して、検証実験のための機材を調達して準備を進めている。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

1. Harry L. Trentelman, Kiyotsugu Takaba, and Niima Monshizadeh, “Robust synchronization of uncertain linear multi-agent systems”, IEEE Transactions on Automatic Control, 2013 (in press) (DOI: 10.1109/TAC.2013.2239011)
2. Kiyotsugu Takaba and Atsuhiko Hibi, “Synchronization of coupled nonlinear oscillators via regional pole placement technique”, Proceedings of IEEE 51st Conference on Decision and Control, pp. 3928-3925 (DOI: 10.1109/CDC.2012.6426880)