

柔軟な電源構成を可能とする自律分散型直流給電システム

衛藤, 易

<https://hdl.handle.net/2324/7182496>

出版情報 : 九州大学, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 衛藤 易

論文名 : 柔軟な電源構成を可能とする自律分散型直流給電システム

区 分 : 甲

論文内容の要旨

直流給電システムは既存の交流系統と比較して、電力変換段数削減による電力効率向上や系統の運用性向上といった利点がある。特に近年、再生可能エネルギー(以下再エネ)との親和性の観点から直流方式が注目されている。また電源間の通信を用いない自律分散型制御は通信を用いる場合に比べて信頼性が向上するという利点がある。自律分散型制御の先行研究事例としては、いくつかのバスを共通のバスに連系した階層型システムが検討されている。しかしいずれの先行研究も再エネが十分世の中に普及しているという仮定と、バスごとの電源構成や容量が画一的であるという制約の下で議論している。現在はまだ太陽光発電(PV)やバッテリーシステム(BES)の普及が過渡的にあり、すべての施設が再エネを十分に保有しているわけではない。ゆえにこれからの直流システムの普及においては様々な電源構成に柔軟に対応する運用技術が求められる。

そこで本論文は自律分散型制御の下で様々な電源構成をもつ直流系統同士の柔軟な連系を実現することを目指す。これによって系統の設計自由度向上や再実装コストを大幅に削減でき、長期的に活用し続けられる強靱な電力インフラを形成することが可能となる。特に自律分散型制御を実装するには再エネの連系に用いられる電力変換回路(コンバータ)の制御が重要である。そのため本研究は再エネの協調運用及び上述の制約排除を可能にするための個々の回路の制御構成及び設計指針について検討した。

第1章は研究テーマの背景、社会的意義及び研究目的について述べ、第2章で自律分散型制御の研究動向及び本論文の構成の概略を示す。

第3章はPV用連系コンバータの新たな制御則を提案した。本制御システムはDCバスの電圧に応じてドループ制御とMPPT制御をシームレスに切り替えることを目的とする。新制御則提案により制御器の削減に成功した。そのうえで回路シミュレーション及び実験比較を通して、提案手法が従来手法と同等の定常特性を有しながらも、従来手法より安定性・応答性に優れることを確認した。さらに本システムを複数台連系し、DCバス電圧に応じた動作設定及び安定性に影響を及ぼさないことを確認した。

第4章はBESシステムの充電量(SoC)収束特性解析を行った。従来研究より同一容量のBESに対してSoCを収束させる自律分散型制御則が提案された。それに対して本テーマは異なる容量のBESに対してもSoC収束効果が得られるかを確認した。解析の結果、SoC収束のための制御設計条件を導出した。そしてシミュレーション及び実験を通して解析の妥当性を確認した。なお、自律分散型制御手法の一つであるDC bus signalingの適用を想定した場合、BES同士のSoCに偏差が生じることも明らかになった。

第5章は系統間連系に用いられる双方向Dual Active Bridge(DAB)コンバータの安定性解析手法を検討した。電力フィードバック制御が施された双方向コンバータの両側に、LCフィルタが接続された際のインピーダンス安定判別手法を動特性解析を通して検討した。そして理論的な安定判別結果

の妥当性を実験的に確認した。

第 6 章では DAB コンバータを用いた絶縁型マルチレベル仮想導体(MLVC)の実現方法を検討した。従来の非絶縁型コンバータを用いた手法と比較して、より高電圧変換比及び大容量のアプリケーションへの適用が可能となる。提案したシステムが所望の制御特性を有することを実験的に確認した。さらに回路シミュレーションを通して、MLVC で構成された直流システムが接続機器の状態変化・自由配置にシームレスに対応することを確認した。

第 7 章では階層型直流給電システムにおける負荷分散特性解析並びに自由配置機能の確認を行った。ドループ制御電源が 2 台の MLVC を介して連系された際の負荷に対する協調的な電力供給が可能であることを解析を通して確認した。そして第 3 章~第 6 章で検討したコンバータシステムを組み合わせて、各施設の PV や BES の構成によらず、系統運用が維持されることをシミュレーションで確認した

第 8 章では直流システムの社会実装を念頭に、第 7 章で検討したシステムを市街地の交流系統と連系する手法を検討した。直流システムの施設内連系部をハイブリッドパワーコンディショナーと見立て、交流-直流間の連系部に MLVC を用いるものとした。シミュレーションの結果、再エネ活用による商用系統からの電気代削減効果と逆潮流防止効果が得られ、停電時の無停電電源装置(UPS)としての動作が可能であることを確認した。そして実験を通して MLVC に逆潮流防止機能を実装することが可能であることを確認した。

第 9 章では、本論文の研究成果をまとめ、今後の展望を示した。