

## 論文内容の要旨

氏名 中西 俊貴

地球温暖化を初めとする環境問題および化石燃料の枯渇といったエネルギーに関する問題の緩和・解決に向け、再生可能エネルギーの導入が世界各国で進められている。また、エネルギーの利用形態として、電気エネルギーの比率が高いため電力変換における高効率化も重要となる。近年、再生可能エネルギーの1つである太陽光発電の導入を背景に、電力需給アンバランス解消による電力系統の安定化、地域ごとのエネルギーマネジメントおよび電力系統連系システムの高効率化・小型化を目的としてDCマイクログリッドが盛んに検討されている。その中で、従来の電力系統6.6kV系とマイクログリッド間に設置される絶縁変圧器によって電力設備が大型化するという問題が存在する。この問題に対して、モジュラーマルチレベル変換器導入による絶縁変圧器の削減、いわゆるトランスレス化は有効な解決手法である。モジュラーマルチレベル変換器は最小単位であるCellを多段に積み上げることで容易に高耐圧化を図ることができる特長がある。また、Cell多段化によって電圧ストレスが分散されるため電力変換システムとしての高効率化、小型化も可能となる。一方で、Cell多段化に伴う制御要素の増加によってコントローラが大規模化することや電力回路の設計法未確立が課題となっており、DCマイクログリッドにおける電力連系システムの更なる高パワー密度化を阻む要因となっている。

本論文では、6.6kV系電力系統に連系される電力変換システムの高パワー密度化を実現する手法として「分散協調設計」を提案する。本手法は、「コントローラの簡素化」として、小型かつ構築が容易な制御系の構成を提示する。同時に、「回路コンポーネントのダウンサイジング」として、電力変換部のパワー密度を向上させる設計指針を明確化する。結果として、コントローラおよび主電力回路が小型化できることからモジュラーマルチレベル変換器の高パワー密度化に向けた一助となることが期待できる。

第1章では、上記のような本論文の研究背景、系統連系用モジュラーマルチレベル変換器の高パワー密度化といった要求および研究目的を記述し、本研究の意義を示す。

第2章では、これまで提案されてきた制御方式と設計法について記述し、コントローラの簡素化およびコンデンサやヒートシンク、インダクタといった回路コンポーネントのダウンサイジングを実現する上で課題となる事項、解決すべき問題点を整理する。同時に、従来方式の特徴を分析し、両方の要求を達成する上で参考とすべき指針や考え方、応用が可能な手法をピックアップする。

第3章では、前章で明らかとなった従来法の課題、参考にすべき指針や手法を踏まえた上でシステムの高パワー密度化を実現する手法として分散協調設計を提案する。特に、コントローラの簡素化と回路コンポーネントのダウンサイジングを実現するための具体的なアプローチおよび考慮すべき事項の要点をまとめる。さらに、従来法と分散協調設計の比較を行い、その有用性とモジュラーマルチレベル変換器の高パワー密度化における本論文の位置づけを示す。

第4章では、コントローラの簡素化に向け、分散協調設計の概念に基づいた制御方式の

構成について述べる。提案する制御方式は単相力率改善コンバータの制御系をベースとしてアームごとに制御系を有しており、それらを協調動作させることでシステム全体を制御する。さらに、具体的なコントローラの構成についても触れ、コントローラの簡素化を実現する上での有用性を示す。提案制御方式については電力系統 200 V 系とミニモデルを用いた実験にて、その有用性を検証する。

第 5 章では、分散協調設計が提案する回路コンポーネントのダウンサイジングに向け、回路パラメータの設計に必要な理論式を導出する。特に、Cell 回路に実装されるコンデンサには電解コンデンサを採用することを想定し、リップル電流の理論式を導出する。また、ヒートシンク設計では、半導体素子における導通損失とスイッチング損失の理論式を、アームインダクタ設計では、インダクタを流れるリップル電流の理論式をそれぞれ導き出す。さらに、ミニモデルを用いた実験によって各理論式の妥当性を確認した後、実験を通して得られた結果から 6.6 kV フルモデル設計時において注意すべき点等を考察する。

第 6 章では、分散協調設計による回路コンポーネントのダウンサイジングを達成するため、各コンポーネント設計指針および条件を明確化する。コンデンサについては、市販の電解コンデンサをデータベース化し、そこからリップル電流と耐圧およびコンデンサ体積の関係を明らかにする。また、ヒートシンクとアームインダクタはキャリア周波数および Cell 段数を軸にしてトレードオフの関係があるため、Pareto Front Optimization を用いて両者の合計体積が最小となる点を明らかにする。さらに、全コンポーネントについて出力直流電圧を変化させて体積評価を実施し、体積削減に必要な条件を導出する。以上の条件をまとめたものを設計指針とし、回路コンポーネントのダウンサイジングを実現する設計フローチャートも提示する。

第 7 章では、本論文の有用性と各章で提案した手法の総括を述べ、今後の課題についてまとめる。

以上のように、本論文では電力系統に連系されるモジュラーマルチレベル変換器の高パワー密度化に向けて分散協調設計を提案し、その有用性を確認した。