

スズキ カズマ

氏名 鈴木 一馬

学位の種類 博士（工学）

学位記番号 博第1145号

学位授与の日付 平成31年3月27日

学位授与の条件 学位規則第4条第1項該当 課程博士

学位論文題目 バッテリー用小型高効率絶縁型AC/DCコンバータに関する研究
(Study on Compact Size and High Efficiency Isolated AC/DC Converter for Battery)

論文審査委員 主査 教授 竹下 隆晴
教授 水野 幸男
教授 森田 良文
教授 伊東 淳一
(長岡技術科学大学)

論文内容の要旨

近年、地球温暖化対策として太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーや電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)などが注目されている。再生可能エネルギーやEV、PHVには蓄電池や車載用バッテリーが用いられる。これらの蓄電池システムは直流(DC)であり、系統は交流(AC)であるため両者を連系するための双方向絶縁型AC/DCコンバータの需要が高まっている。

絶縁型AC/DCコンバータとして、商用トランスを用いた2ステージ電力変換方式、高周波トランスを用いた3ステージおよび2ステージ電力変換方式がある。商用トランスを用いた2ステージ電力変換方式は制御が容易な反面、商用トランスによる大型・高重量化の問題がある。高周波トランスを用いた3ステージ電力変換方式は高周波トランスを用いることでトランスの小型化が可能となるが、電力変換部の大型化の問題がある。高周波トランスを用いた2ステージ電力変換方式はAC/AC直接変換が可能なマトリックスコンバータを用いることで、電力変換部の小型化が可能となる。しかしながら、ハードスイッチングによる損失増加やAC/DC双方向電力変換理論が確立されていないといった問題がある。

本論文では、『小型高効率』、『双方向電力変換』、『超急速充電』を実現する双方向絶縁型AC/DCコンバータの主回路構成およびその制御法を提案し、試作システムを用いた実機検

証により有効性を確認する。本論文では、電力変換回数低減および変換損失抑制が回路全体の小型高効率化には重要であるという考え方を基とし、それらを実現する方法としてAC/AC直接変換を用いた中容量および大容量電力変換器の2種類の回路構成を提案する。

マトリックスコンバータを用いた中容量電力変換器において、最近の研究ではソフトスイッチングを適用した回路方式および制御法が提案されている。しかしながら、それらの研究はマトリックスコンバータの各スイッチがオンする割合を数値計算により導出しており、非常に複雑な制御となっている。また、出力電圧が変化した場合の制御法に関して述べられていない。そのため本論文では、数値計算を用いない各スイッチのデューティ比導出および出力電圧変化を考慮した制御法および回路パラメータ設計法を提案する。

大容量電力変換器においては、従来の200V系低圧配電系統ではなく、6.6kV系高圧配電系統から直接電力変換可能な回路構成および制御法を提案する。数百kWを超えるような超急速充電において、高圧低電流の電力変換となるため変換器損失を低減できる。また、柱上トランスを用いない回路構成となるため、システム全体の小型化が可能となる。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた後、本論文の概要について説明する。

第2章では、数kWから数十kWまでをターゲットとした、マトリックスコンバータを用いた中容量絶縁型AC/DCコンバータの回路構成を提案する。バッテリー充放電の双方向電力変換制御法を提案し、数値計算を用いずに一次側および二次側コンバータのデューティ比を導出する。ソフトスイッチング条件を明らかにし、すべてのスイッチでソフトスイッチングするための制御法を提案し、出力電力1.8kWの試作システムを用いた実験により、提案回路および制御法の有効性を確認する。

第3章では、提案する中容量絶縁型AC/DCコンバータにおいて、出力電圧一定でのソフトスイッチング回路パラメータ設計法を提案する。ソフトスイッチング可能な最小出力電力を理論的に導出している。出力電力1.8kWの試作システムを用いた実験により、直列リクトルおよび並列キャパシタ設計法の有効性を確認する。

第4章では、提案する中容量絶縁型AC/DCコンバータにおいて、出力電圧変化を考慮した制御法を提案する。出力電圧に応じて一次側および二次側コンバータの両方にPWM制御を適用する。定格出力充電時において、全出力電圧範囲でソフトスイッチング可能な高周波トランス巻数比、直列リクトル、並列キャパシタ設計法を提案する。出力電力1.2kWの試作システムを用いた実験により、提案制御法および設計法の有効性を確認する。

第5章では、数十kWから数百kWまでをターゲットとした、モジュラーマトリックスコンバータを用いた大容量絶縁型AC/DCコンバータの回路構成を提案する。電源電流、出力電流、キャパシタ電圧制御系を構築し、電源電圧200V、出力電力6kWの研究室モデルを作成し、実験により提案回路および制御法の有効性を確認する。

第6章では、本論文で得られた成果、今後の課題、今後の展望について述べる。

論文審査結果の要旨

近年、地球温暖化対策として太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーや電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)などが注目されている。再生可能エネルギーやEV、PHVには蓄電池や車載用バッテリーが用いられる。これらの蓄電池システムは直流(DC)であり、系統は交流(AC)であるため両者を連系するための双方向絶縁型AC/DCコンバータの需要が高まっている。

本論文では、『小型高効率』、『双方向電力変換』、『超急速充電』を実現する双方向絶縁型AC/DCコンバータの主回路構成およびその制御法を提案し、試作システムを用いた実機検証により有効性を確認する。電力変換回数低減および変換損失抑制が回路全体の小型高効率化には重要であり、AC/AC直接変換を用いた中容量および大容量電力変換器の2種類の回路構成を提案する。マトリックスコンバータを用いた中容量電力変換器において、ソフトスイッチングを適用した回路方式、制御法、回路パラメータ設計法を提案する。大容量電力変換器においては、従来の200V系低圧配電系統ではなく、6.6kV系高圧配電系統から直接電力変換可能な小型・高効率回路および制御法を提案する。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた後、本論文の概要について説明する。

第2章では、数kWから数十kWまでをターゲットとした、マトリックスコンバータを用いた中容量絶縁型AC/DCコンバータの回路構成を提案する。バッテリー充放電の双方向電力変換制御法を提案し、すべてのスイッチをソフトスイッチングするための制御法を提案し、出力電力1.8kWの試作システムを用いた実験により、提案回路および制御法の有効性を確認する。

第3章では、提案する中容量絶縁型AC/DCコンバータにおいて、ソフトスイッチング回路パラメータ設計法を提案する。ソフトスイッチング可能な最小出力電力を理論的に導出し、試作システムを用いた実験により、直列リアクトルおよび並列キャパシタ設計法の有効性を確認する。

第4章では、提案する中容量絶縁型AC/DCコンバータにおいて、出力電圧制御法を提案する。定格出力充電時に、ソフトスイッチング可能な高周波トランス巻数比、直列リアクトル、並列キャパシタ設計法を提案する。試作システムを用いた実験により、提案制御法および設計法の有効性を確認する。

第5章では、数十kWから数百kWまでをターゲットとした、モジュラーマトリックスコンバータを用いた大容量絶縁型AC/DCコンバータの回路構成を提案する。電源電流、出力電流、キャパシタ電圧制御系を構築し、電源電圧200V、出力電力6kWの研究室モデルを作成し、実験により提案回路および制御法の有効性を確認する。

第6章では、本論文で得られた成果、今後の課題、今後の展望について述べる。

鈴木 一馬 氏の博士論文で論じられている上記研究の成果は、学術論文4編（全て審査有り）および国際会議論文21編（全て審査有り）に公表されている。これらの学術的な価値から、博士論文として十分な内容と判断され、博士（工学）の学位に適格であると認める。