

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	低圧系統連系向けモジュラー・マルチレベル変換器の小型・低損失化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	新井卓郎
Author(English)	Takurou Arai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12083号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 英明,千葉 明,萩原 誠,竹内 希,河邊 賢一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12083号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	新井 卓郎		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	藤田 英明	教授	審査員	河邊 賢一	助教
	審査員	千葉 明	教授			
		萩原 誠	准教授			
		竹内 希	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「低圧系統連系向けモジュラー・マルチレベル変換器の小型・低損失化に関する研究」と題し、これまで高圧・大容量用途への応用を目的として複数のブリッジセルを直列接続して構成するモジュラー・マルチレベル変換器について、低圧系統連系に応用した場合でも十分な効果があることを論じ、その際に課題となる半導体スイッチング素子数の削減や直流電圧のセンサレス化、汎用マイクロコントローラの適用、直流コンデンサの小容量化などの実用化の観点から、理論と実験の両面から詳細に検討したものである。本論文は、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、低圧系統連系変換器の技術開発の方向性を説明し、現在要求されている脱炭素化・カーボンニュートラルのためには、さらなるコスト低減・高効率化が必要であり、その方法として低耐圧 MOSFET を用いたモジュラー・マルチレベル変換器が有望であるとし、その際の課題を解決するためには新しい回路方式と制御方式が必要であることを論じている。

第 2 章「モジュラー・マルチレベル変換器の技術動向」では、これまでに報告された種々のモジュラー・マルチレベル変換器の回路方式と制御方式に関する研究・開発の動向を詳細に述べ、種々の方式の特徴を明らかにした上で、その応用範囲を低圧系統連系用途にまで拡張する際の技術的課題を整理し、本論文の位置づけを明確にしている。

第 3 章「NPC-MMC によるセルコンデンサの小型化」では、使用する半導体スイッチング素子数を低減可能な中性点クランプ形モジュラー・マルチレベル変換器の動作特性を解析し、ブリッジセルに用いるセルコンデンサの小容量化を検討している。まず、NPC-MMC のパワーフローを理論的に解析し、直流コンデンサから交流系統へ直接伝達されるパワーフローが存在することを導き出し、従来の MMC に比べてセルコンデンサに流れる電流および蓄積エネルギーが小さく、コンデンサ容量を約 1/2 に低減できることを数値解析により明らかにした。また、この数値解析を活用し、変換器内部に高調波電流を循環させることにより、セルコンデンサ容量をさらに 30% 程度低減可能であることを理論的に示し、200 V 10 kVA の実験装置により、定格電力で 99%、7 kW 動作時に 99.3% の最高効率を得られることを確認している。

第 4 章「検出回路を削減可能なバランス回路付き MMC の低損失化」では、セルコンデンサの平均電圧をバランスする回路方式を提案している。提案するバランス回路は、小電流定格のスイッチング素子と電流を制限する抵抗器だけで構成し、主スイッチング素子と同期して小電流定格のスイッチング素子をオンすることにより、セルコンデンサを並列に接続して電圧を等しくする。したがって、セルコンデンサ電圧を検出するセンサやアイソレータ、フィードバック制御などを用いる必要がなく、小容量機器の場合には低コスト化が期待できる。小電流定格のスイッチング素子がオンしている期間のセルコンデンサ容量と抵抗器との時定数をスイッチング周期よりも十分に長く設定すれば、バランス回路を流れる電流のスイッチングリプルを抑制し、平均電圧をバランスする電流だけを流すことができ、回路損失を低減できることを理論的に明らかにし、実験により実証している。また、主スイッチング素子と小電流定格スイッチング素子の間の僅かなスイッチングタイミング差により不要な電流が流れる課題に対して、小電流定格スイッチング素子のゲート抵抗を調整するだけで解決できることを実験により確認している。

第 5 章「PWM-ch 数削減とコンデンサリプル電流低減を両立する疑似ユニポーラ変調」では、ユニポーラ変調を行う場合には一般に市販されている汎用マイクロコントローラではゲート信号を発生するチャンネル数が不足し、バイポーラ変調の場合はセルコンデンサの電流リプルが増大するという課題に対して、バイポーラ変調と同じ PWM チャンネル数を用いてセルコンデンサの電流リプルを低減できる疑似ユニポーラ変調を提案している。これは、バイポーラ変調と同チャンネル数を用いて、各ブリッジセルの一方のレグにはそのまま、他方には別のブリッジセルに与えた信号を反転して与える。つまり、各ブリッジセルの 2 つのレグに対して、位相が異なるキャリア信号で発生した PWM 信号を与えることになり、その結果、ユニポーラ変調と同様の出力電圧とセルコンデンサの電流リプルを実現する。また、PWM 信号と各ブリッジセル出力電圧の対応関係を理論的に解析して、従来のユニポーラ変調を適用した場合と同様のセルコンデンサ電圧バランス制御が実現できる非干渉制御法を導出し、バイポーラ変調と同チャンネル数の PWM 信号を用いて、ユニポーラ変調と同程度までセルコンデンサの電流リプルとコンデンサ損失が低減できることを実験的に確認している。

第 6 章「結論」では、本論文における成果を要約し、今後の展望について言及している。

以上を要するに、本論文は、モジュラー・マルチレベル変換器を低圧系統用の連系変換器としての適用について、半導体スイッチング素子数の削減や直流電圧のセンサレス化、汎用マイクロコントローラの適用、直流コンデンサの小容量化などの実用的な観点から、新たな回路構成と制御方法を提案し、その妥当性を実験と理論の両面から詳細に検討したものであり、工学および学術上貢献するところが大きい。よって、本論文が博士（学術）の学位論文として十分に価値あるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。