

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	大規模太陽光発電システムへの適用を目的とした複数の双方向チョッパを使用した三相インバータの研究
Title(English)	Study of Three-phase Inverter Using Multiple Bidirectional Choppers Intended for Utility-scale PV Systems
著者(和文)	QIAOLinyue
Author(English)	Linyue Qiao
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12540号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:萩原 誠,千葉 明,藤田 英明,浦壁 隆浩,竹内 希,清田 恭平,柿ヶ野 浩明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12540号, Conferred date:2023/9/22, 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

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	Qiao Linyue	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	萩原 誠	准教授	竹内 希	准教授
	審査員	千葉 明	教授	清田 恭平	准教授
		藤田 英明	教授	柿ヶ野 浩明	立命館大 学教授
		浦壁 隆浩	特任教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study of Three-phase Inverter Using Multiple Bidirectional Choppers Intended for Utility-scale PV Systems」と題し、大規模太陽光発電システム実現に必要な不可欠な直流/三相半導体電力変換器に焦点を当て、従来の直流/三相インバータを使用した場合、最大電力追従制御(MPPT: Maximum Power Point Tracking)が実現可能な直流入力電圧範囲が狭いという技術的課題に着目し、最新の半導体電力変換技術を適用した直流/三相インバータの提案を行い、動作原理、制御法、設計手法、システム事故時の挙動に関して数値解析と実験検証により有効性・妥当性を確認したものである。本論文は、以下の7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、太陽光発電システムの導入量が世界的に増加している現状に関して、最新の統計データを使用しながら説明している。一方、従来型太陽光発電システムに適用される2レベル、3レベル直流/三相インバータは直流電圧と交流電圧(系統電圧)の関係から最大電力追従制御の範囲が制限されるという技術的課題を明らかにしている。また、上記課題点を解決する一手法として注目を集めているMMCC(Modular Multilevel Cascade Converter)に関して概説し、各MMCC方式の大規模太陽光発電システムへの適用可能性に関して言及している。最後に、本研究の目的・研究手法、および論文概要に関して説明している。

第2章「Literature Review」では、国内外で発表された学術論文を調査しながら、太陽光発電システムに適用可能な半導体電力変換技術の概要に関して包括的に論じている。初めに、直流/三相インバータを「単一電力変換型」と「複数電力変換型」に分類し、各方式の代表的回路の説明を行い、両方式の得失を明らかにしている。次に、近年導入が進んでいるマルチレベル電力変換技術を適用した各種直流/三相インバータに関して概説している。最後に、直流/三相インバータに要求される事故時運転継続特性(FRT: Fault Ride Through)に関して概説し、FRT特性の向上が直流/三相インバータの信頼性向上に必要な不可欠であることを述べている。

第3章「Three-phase PV Inverter with Conventional d-q-0 Control」では、MMCCをベースとした、複数の双方向チョッパ回路から構成される大規模太陽光発電システム用新直流/三相インバータの回路構成・動作原理に着目し、理想電圧・電流波形を示しながら動作原理を説明している。上記インバータは、従来型の三相インバータと等価な主変換器と、複数の双方向チョッパ回路のカスケード接続からなる補助変換器より構成されるが、主変換器の通電率を適切に選定することで、主変換器の零電流スイッチングを実現できることを明らかにしている。次に、一般的な電力システムでも適用されるd-q-0制御(三相一括制御)を用いた変換器制御法を提案している。提案した制御法の有効性は、1.7 kWミニモデルを用いた実験により確認している。一方、上記制御法を適用した場合に制御上の特異点が発生し、入力直流電圧値に制限が生じることを理論的に明らかにしている。

第4章「Individual Current Control and Performance Verification of Proposed Three-phase PV Inverter」では、d-q-0制御法の問題点を解決する手法として、各相独立電流制御法を提案している。その際、交流電流を含む変換器電流を制御する必要があるため、進み補償制御法を適用することで位相遅れを補償している。更に、補助変換器各双方向チョッパ回路に適用されている直流コンデンサ電圧の初期充電手法に関して言及している。提案制御法、および初期充電手法の有効性は1.7 kWミニモデルを用いた実験により定常特性・過渡特性の両面から確認している。

第5章「LVRT Capability Analysis of Proposed PV Inverter」では、提案インバータのシステム事故時の挙動に着目し検討している。具体的には、代表的システム事故である一線地絡事故と三相短絡事故時の挙動に関して、直流コンデンサ電圧の変動と、変換器電流のスパイク成分に着目し、両者の挙動に関して理論解析より明らかにしている。理論解析の妥当性、およびシステム事故時の運転継続特性に関しては、1.7 kWミニモデルを用いた実験により確認している。

第6章「Evaluation of Chopper-cell Number and Performance Comparison of Proposed PV Inverter」では、補助変換器に使用する双方向チョッパセル回路の最適化に着目し、損失と効率に関して、チョッパセル回路を相毎に2個使用した場合と3個使用した場合に関して、等価スイッチング周波数は同じという条件下で比較を行っている。その結果、2個使用した場合の方が3個使用時と比較して変換器効率改善という点で優れていることを明らかにしている。また、2個使用時と3個使用時の系統事故時の特性に関して実験検証を行い、両者が同等のFRT特性を示すことを明らかにしている。

第7章「Conclusion」では、初めに本論文における結論に関して言及し、次に各章の成果を要約し、最後に今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文では従来の直流/三相インバータを使用した場合、最大電力追従制御が実現可能な直流入力電圧範囲が狭いという技術的課題に取り組み、上記を解決する手段として複数の双方向チョッパ回路を用いた直流/三相インバータを提案し、実験と数値解析を併用しながら上記インバータの妥当性を検証し、かつ有効性を提示したものであり、工学および学術貢献するところが大きい。よって本論文が博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。

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。