T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	部分昇圧制御を適用した太陽光発電用三相低圧連系変換器の損失低減に関する研究
Title(English)	Study of Power Loss Reduction Based on a New Partial Boost Control Method for PV Inverters Connected to Three-Phase Low-Voltage Grids
著者(和文)	山口大輝
Author(English)	Daiki Yamaguchi
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11134号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 英明,七原 俊也,安岡 康一,千葉 明,萩原 誠,平木 英治
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11134号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 系 電気電子 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （ 工学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	山口 大輝	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	藤田 英明
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は，「部分昇圧制御を適用した太陽光発電用三相低圧連系変換器の損失低減に関する研究」と題し，10 kW から 50 kW クラスの非絶縁方式の三相低圧連系インバータに関して，電力変換効率を改善可能な回路方式を提案する。提案回路方式は，2 台の昇圧チョッパと 3 台のハーフブリッジインバータから成り，2 台のチョッパを正負対称接続して構成することにより，昇圧が不要な 2 台のインバータはチョッパをバイパスすることができる。これにより，3 台すべてを昇圧する従来の回路方式に比べ，チョッパの所要容量とインバータの直流印加電圧を低減できる。さらに，部分昇圧制御を適用したチョッパとインバータの新しい制御法を提案する。提案制御法では，チョッパとインバータのスイッチングを交互に停止することにより，平均的なスイッチング周波数を低減できる。本論文では，提案回路方式と制御方式の損失低減効果を理論と実験の両面から検証する。さらに，チョッパとインバータに部分昇圧制御を適用した場合の系統連系制御法について検討し，その妥当性をシミュレーションと実験で確認する。本論文は以下の 7 章で構成されている。

第 1 章「序論」では，我が国における太陽光発電の導入動向と課題を概説し，本論文の有用性を示す。

第 2 章「太陽光発電用連系変換器の技術動向」では，太陽光発電用連系インバータへの機能的要求として，系統連系規定と，太陽電池の漏洩電流防止の必要性を説明する。そして，連系インバータの回路方式を，絶縁変圧器で太陽電池と系統を絶縁する方式と，変圧器を省略して非絶縁にする方式に大別し，それぞれの特徴を比較することにより，非絶縁方式の低圧三相用連系インバータの高効率化が必要であることを明らかにする。さらに，連系インバータの高効率化に関する代表的な技術を示し，本論文の位置付けを明確にする。

第 3 章「太陽光発電用系統連系変換器の回路トポロジー」では，昇圧チョッパと三相インバータで構成された一般的な連系インバータを従来回路方式と位置付け，これを低圧三相 4 線式系統に接続すると，チョッパが過度の昇圧動作を行うことを説明する。そのうえで，正負対称接続チョッパと 3 台のハーフブリッジインバータを用いた回路構成を提案し，この回路構成がチョッパの所要容量とインバータの直流印加電圧を低減し，導通損失とスイッチング損失を同時に低減できることを理論的に示す。

第 4 章「昇圧チョッパとインバータの協調制御」では，部分昇圧制御を適用したチョッパとインバータの新しい制御法を提案する。提案回路方式と提案制御を組み合わせると，チョッパとインバータのスイッチングが交互に停止し，スイッチング損失を大幅に低減できることを示す。また，定格容量 8 kW の実験システムを用いて，提案回路方式と制御法の損失低減効果を確認する。

第 5 章「MPPT 制御下のシステム効率」では，部分昇圧制御を適用して直流リンク電圧が大きく脈動する場合でも，チョッパやインバータの電力損失を高精度に推定可能なパワーデバイス損失の新しい多項式近似モデルを提案する。また，MPPT 制御下における太陽電池の電気特性の理論解を導出して，MPPT 制御を適用した場合の従来回路方式と提案回路方式の電力変換効率をシミュレーションし，提案回路方式の優位性を明らかにする。

第 6 章「協調制御を適用した太陽光発電用系統連系変換器の系統連系制御」では，部分昇圧制御を適用した連系インバータの新しい系統連系制御法を提案する。部分昇圧制御によってインバータのスイッチングが停止する期間では，直流リンクキャパシタと交流インダクタの共振によって系統電流にひずみが生じるため，この共振を抑制する必要がある。従来の制御法では，系統電流制御と共振の抑制を両立するためには，スイッチング周波数を 40～50 kHz 程度の高周波に設定する必要があり，大きなスイッチング損失が生じる。一方で，提案する制御法では，従来制御法に交流インダクタと直流リンクキャパシタに流入する電力を補償することにより，20 kHz 程度のスイッチング周波数で動作させることができる。シミュレーションと実験により，提案制御法の妥当性を確認する。

第 6 章「結論」では，本論文で得られた成果を要約する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 系 電気電子 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （ 工学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	山口 大輝	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	藤田 英明
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This dissertation proposes a new high-efficiency grid-connected transformerless photovoltaic (PV) converter for a low-voltage three-phase distribution line. The proposed PV converter consists of a symmetrically-connected boost converter and three half-bridge inverters. One of the inverters is connected to the boost converter and the others are directly connected to the PV terminal. This circuit configuration enables to reduce the power capacity of the boost converter and the dc input voltage across the inverters, compared with those in the conventional PV converter. As a result, the proposed circuit reduces both the switching and the on-state losses of the boost converters and inverters. This dissertation also proposed a new cooperative control method of the boost converters and the inverter. The proposed control method operates the boost converter only when the instantaneous grid voltage is higher than the PV voltage, and operates the inverter with PWM at other periods. Thus, the control method reduces the average switching frequency of the boost converters and the inverter, resulting in a grate reduction of the switching losses. The measured loss breakdowns confirm that the combination of the proposed circuit and control method enables to reduce the total power loss by 31% compared with the conventional one. Experimental results also show that the proposed PV converter enables to improve its European efficiency from 91.6% to 94.5%.

Moreover, this dissertation proposes a new analysis method of system efficiency in a low-voltage three-phase grid-connected PV system. In order to calculate the power loss in the proposed PV converter, this dissertation proposes a new power loss estimation method of a switching device. This method calculates the power loss as the function of the voltage and current across the device, and thus, it enables to estimate the power loss under variable voltage and current condition. This dissertation theoretically derives the power conversion efficiency of the PV array under MPPT condition. As a result, the proposed analysis method allows us to calculate the power conversion efficiency from the optical input to the ac output. The proposed analysis method evaluates the European efficiencies of the conventional and proposed PV converters under MPPT condition.

Finally, this dissertation proposes a new grid-connection control method of the proposed PV converter. The conventional grid-connection control method requires a high carrier frequency around 50 kHz, resulting in the high switching losses. The proposed control method adds the power compensation of the ac induction and the dc-link capacitor to the conventional control method. As a result, this control method allows us to regulate the grid current even at a low carrier frequency of 20 kHz. The operation performances are confirmed by using the computer simulation and the 8-kW experimental system.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).