

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	瞬時無効電力補償装置を接続した低圧三相連系用絶縁形電力変換器に関する研究
Title(English)	Study of an Isolated Power Conversion Circuit for Low-Voltage Three-phase Grid Connection Equipped With an Instantaneous Reactive Power Compensator
著者(和文)	高木一斗
Author(English)	Kazuto Takagi
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10795号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 英明,安岡 康一,七原 俊也,千葉 明,萩原 誠,田中 俊彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10795号, Conferred date:2018/3/26, 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

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	高木 一斗		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、「瞬時無効電力補償装置を接続した低圧三相連系用絶縁形電力変換器に関する研究」と題し、10 kW から 50 kW の太陽光発電に用いられる絶縁形電力変換器として、高効率なデュアルアクティブブリッジ (DAB) 方式 DC-DC コンバータと瞬時無効電力補償装置を併用した三相インバータを組み合わせたシステム構成を提案し、システム全体の動作特性の理論解析と実験的検証を行い、本質的な問題点を明らかにすると共に、これを解決する新しい制御方法を提案し、その妥当性を詳細に検討したものである。本論文は、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、パワーエレクトロニクス分野の技術動向に基づいて、現在の太陽光発電用電力変換器の更なる高効率化と小型、低コスト化が求められており、このためには新しい回路方式が必要であることを論じた。

第 2 章「太陽光発電用系統連系変換器の技術動向」では、太陽光発電用電力変換器には主として低圧単相・低圧三相・高圧三相系統があるが、低圧三相系統では、S 相接地という特有の接地方式用いられており、これに起因して現在のトランスレス方式電力変換器では直流コンデンサ電圧が比較的高くなるため、スイッチング損失・オン損失が比較的大きく、電力変換器の電力変換効率が著しく低下することを明らかにし、高周波絶縁方式では直流電圧を比較的低く設定できるため、高効率化を図れる可能性があることを論じた。

第 3 章「高効率化可能な低圧三相連系用絶縁形電力変換」では、低圧三相 3 線式系統へ連系する太陽光発電用高周波絶縁方式電力変換器について、系統連系インバータと絶縁形 DC-DC コンバータのそれぞれの回路方式を比較・検討した。系統連系インバータとして、種々の系統連系インバータの回路方式を比較し、120 度通電インバータと高周波補償装置の併用が効率および小型化の両面で優れると述べた。一方、高効率な絶縁形 DC-DC コンバータとしては、DAB 方式が有望であるが、動作可能な電圧範囲に課題があり、2 台の DAB コンバータを直列/並列に接続するシステム構成を提案した。

第 4 章「瞬時無効電力補償装置を並列接続した三相系統連系インバータ」では、瞬時無効電力補償装置を並列接続した三相系統連系インバータについて検討した。三相系統連系インバータは 120 度通電のスイッチング動作を行い、直流リンクからの電力を交流に変換し、この際に発生する高調波電流とは逆位相の補償電流を瞬時無効電力補償装置が系統へ注入することにより、系統電流を正弦波に制御する点に特長がある。120 度通電インバータは系統周波数でスイッチングを行い、高周波スイッチングする補償装置の電流は系統電流の 1/2 以下になるため、回路全体のスイッチング損失を大幅に低減することができる。さらに、120 度通電インバータには交流インダクタは不要であり、瞬時無効電力補償装置の交流インダクタは、従来の三相 PWM インバータ方式に比べ、その体積を約 1/4 に低減できる。提案回路の動作原理と制御法を論じるとともに、5 kW の実験装置により、動作原理および制御法の妥当性と損失低減効果を検証した。

第 5 章「Dual Active Bridge を用いた絶縁形 DC-DC コンバータの制御性の改善」では、DAB コンバータの制御特性とその改善法について検討した。DAB コンバータでは、過渡時にインダクタ電流や変圧器励磁電流に直流的な偏差が重畳することを明らかにするとともに、定常時および過渡時の DAB コンバータの動作特性を詳細に解析し、従来の位相シフト制御法では各 H ブリッジ変換器の対角のスイッチを同時にスイッチングするのに対し、レグ間の位相調整によって過渡時の直流偏差を抑制する新しい位相シフト制御法を提案し、直流偏差をスイッチング周期の 1/2 以内に抑制して、すべての動作範囲で良好な過渡応答を実現できることを 5 kW、20 kHz 実験システムを用いて検証した。

第 6 章「瞬時無効電力補償装置を接続した低圧三相連系用絶縁形電力変換器の効率」では、第 4 章と第 5 章で検討した 5 kW 実験システムを用いた実験結果に基づいて、瞬時無効電力補償装置を並列接続した三相系統連系インバータに 2 台の DAB コンバータを接続して 10 kW システムを構成した場合の電力損失と電力変換効率を理論的に試算し、システムの最高効率 95.7%、実動作時の重みづけを考慮したユーロ効率では 94.8%程度の高効率が期待できることを確認した。

第 7 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た。

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。

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。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	電気電子工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	高木 一斗		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 discusses a new power converter topology for 10-to-50-kW commercial-scale photovoltaic (PV) systems, which interfaces a low-voltage three-phase grid. This converter consists of an isolated dual-active-bridge (DAB) dc-dc converter and a new grid-connected inverter combining an inductor-less three-phase inverter with a parallel-connected PWM converter acting as an instantaneous reactive power compensator. The three-phase inverter, called a 120-degree-conduction inverter, operates at the switching frequency equal to the grid frequency and outputs 120-degree rectangular currents, while the compensator eliminates the harmonic currents included in the rectangular currents. The main advantage of this strategy is the reduction in size of the required ac inductor by a factor of four as well as the reduction of power losses in the switching devices. A 5-kW experimental setup validates the operating principle and the control method of the proposed grid-connected inverter and exhibits sinusoidal current shaping with a total harmonic distortion (THD) as low as 3.7% and an inverter efficiency as high as 99.2% even with Si superjunction MOSFETs. This dissertation also discusses improvement of the dynamic performance of the DAB converter, because the converter needs to keep its output power constant regardless of the dc-link voltage fluctuated like a three-phase rectified voltage waveform due to the 120-degree inverter operation. Conventional phase-shift control methods for the DAB converter may cause dc offsets in both inductor current and transformer magnetizing current in transient states. The dc offset in the inductor current would introduce an excessive peak current through the switching devices, and the dc offset in the magnetizing current may induce magnetic-flux saturation. Conventional methods simultaneously turn on and off the diagonal switches in each H-bridge converter and produce a square-wave voltage with a 50% duty ratio. In contrast, the proposed method in this dissertation independently controls each switch to modify the duty ratio in transient states. Experimental results using a 5-kW, 20-kHz system verify the validity of the proposed control method, which is effective not only in a single step change but also in a continuous change in the phase-shift reference. As a result, it is estimated that the whole system of the proposed PV converter achieves a peak efficiency of 95.7% and a European efficiency of 94.8%.

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).