

令和元年6月20日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06213

研究課題名(和文) 高電力密度化を実現する電解コンデンサレス単相系統連系インバータの開発

研究課題名(英文) Development of Electrolytic Capacitor-less Single-phase Grid-connected Inverter for High Power Density

研究代表者

芳賀 仁 (Haga, Hitoshi)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10469570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、提案する T-type NPC インバータを使用して単相電力脈動補償を行う制御法を開発して実験検証した。その結果、単相脈動補償を行わない制御法と比べて、同じコンデンサ容量において単相脈動補償を行った場合、直流部の脈動成分を低減できることを実機検証より確認した。従来の制御法と比較して直流リンクに生じる電源周波数の2倍成分を65%低減できることを確認した。実験装置による変換効率は約400W出力において85%であった。本研究結果により提案システムと提案制御法が、太陽光発電などを用いる系統連系インバータ装置の小型軽量化、長寿命化において有効な方式であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

省エネルギー、省資源の観点から、太陽光発電システムの普及は重要である。本研究では、太陽光発電に用いられるパワーコンディショナを想定したシステムの省エネルギー、省資源を実現する電力変換技術を開発した。本研究の遂行により、提案技術が装置の省資源化に有効であることを明らかにしているため、学術的意義および社会的意義は大いにある。

研究成果の概要(英文)：This study developed and verified a control method to perform single-phase power pulsation compensation using the proposed T-type NPC inverter. As a result, it was confirmed from the experimental verification that the pulsation component of the DC link can be reduced when performing single-phase pulsation compensation with the same capacitor capacity as compared with the control method that does not perform single-phase pulsation compensation. It has been confirmed that the doubled component of the power supply frequency generated in the DC link can be reduced by 65% as compared with the conventional control method. The conversion efficiency by the experimental apparatus was 85% at about 400 W output. The results of this research have revealed that the proposed system and the proposed control method are effective in reducing the size and weight and prolonging the life of the grid-connected inverter device using photovoltaic power generation.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：パワーエレクトロニクス 電解コンデンサレス

1. 研究開始当初の背景

近年、省エネルギー問題と地球温暖化問題の観点から、太陽光発電などの再生可能エネルギーが一般家庭、産業分野、自治体に至るまで拡大普及している。一般に、太陽光発電はインバータを介して電力系統へ連系運転あるいは家庭内の電気機器へ電力供給する。太陽光発電システムから取得できる発電電力量改善のためにインバータの更なる高効率化が課題となっている。さらに、太陽光発電システムの拡大普及のために、低コスト化、設置場所の制約の少ない小型軽量の装置の実現と部品交換に伴うメンテナンスのフリー化が重要課題となっている。

従来の系統連系インバータでは、インバータに大容量の電解コンデンサ、LC フィルタ、パワーデバイスを使用する(図 1)。特に、家庭用(单相)の電源系統に電力供給するために大容量の電解コンデンサを用いる必要があり、例えば、单相 200V 系、直流電圧リプル 5%とする場合、1kW 当り 1600uF の電解コンデンサが必要になる。大容量の電解コンデンサは、高コストで体積も大きくインバータ基板を占める体積の割合が大きいため、小型化を進めるうえで障害要因になる。さらに、電解コンデンサは寿命が短く、熱的制約もフィルムコンデンサに比べて受けることからメンテナンスフリーの妨げになる。LC フィルタを構成するリアクトルは、インバータのスイッチングにより損失が大きくなるため、インバータの高効率化を進めるための課題になる。重量が大きくコストも高いため装置の小型軽量化を進めるうえでも妨げになる。これまで、大容量電解コンデンサの働きを、パワーデバイスとリアクトルを追加して電解コンデンサと同等の働きを行わせるアクティブバッファの研究はなされているが、追加素子が必要なためシステム全体の小型軽量化が課題となっている。

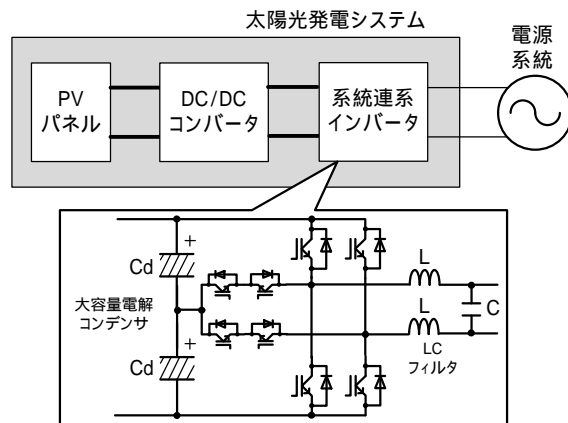


図1 従来の系統連系インバータの主回路構成

2. 研究の目的

そこで本研究では、系統連系インバータの高電力密度化、低コスト化、メンテナンス低減に向けて、单相インバータの直流バスに用いるコンデンサ容量を従来比の 1/20 以下にしても、従来システムと同等の出力電流波形と直流電圧リプルを得る電力変換器を開発する。提案する電力変換器と提案制御法を開発することで、インバータの直流バスに使用するコンデンサを従来の電解コンデンサから小容量のフィルムコンデンサに置き換えることができ、低コスト化とメンテナンス低減についても実現できる。

3. 研究の方法

図 2 に課題解決に向けた本研究で開発するシステム構成および制御原理図を示す。本課題では、従来の系統連系インバータと比較して装置体積を小型化にでき、コスト削減、メンテナンス低減に効果を有する系統連系インバータを開発する。提案する主回路構成は T-type 单相 NPC インバータの構成をそのまま使用する。従って追加素子を必要としない特長がある。直流バスの 2 つのコンデンサは小容量のフィルムコンデンサを用いる。従来の系統連系制御法のままでは、直流電圧が電源周波数で大きく脈動して動作不能に陥るが、提案するアクティブバッファの制御法を用いることで系統連系動作による正弦波電流制御と直流電圧の一定制御を目指す。

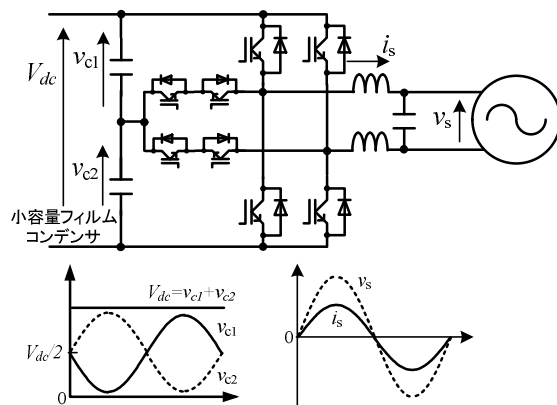


図2 提案する電解コンデンサレスインバータの回路構成と制御原理

(1) 提案回路の入出力波形制御法の開発およびスイッチングパターンの検討

図 3 に本課題で開発する系統連系インバータを示す。本課題では、提案する電解コンデンサレスインバータで入出力波形を制御する制御アルゴリズムの開発を実施する。提案する制御法は、図 4 に示す系統電流の正弦波制御系と直流バス電圧の電圧制御系で構成する。提案するインバータのスイッチングパターンは、各制御系の出力と系統電圧の極性を用いて得られる信号波を PWM 変調して得る。提案する制御法は、シミュレーションにより基本動作を検証する。ま

た、提案回路は、単相 NPC インバータの回路構成のため、従来の 2 レベルインバータに比べてスイッチングの自由度が多い。本研究では、スイッチング自由度に着目してスイッチングパターンの構築を検討する。

(2) プロト機の製作と実験検証

図 3 に示す実験検証システムを構築してプロト機を製作して提案制御法の実験検証を行う。

(3) 提案回路の性能評価

提案する電解コンデンサレスインバータの入出力特性評価と電力変換効率の評価を行う。系統電流の総合ひずみ率、直流リンク電圧の変動を評価する。

4. 研究成果

提案する電解コンデンサレスインバータを実験により検証した。図 5 に脈動補償を行わない場合の結果を、図 6 に脈動補償を行った場合の実験結果を示す。まず図 5 より、脈動補償を行わない場合は、コンデンサ容量  $C_1, C_2$  が小さいため、交流からの脈動が補償されずに大きな電圧変動として直流間電圧  $V_{dc}$  に現れている。また、 $V_{dc}$  の脈動の影響により、インバータの出力波形に歪みが生じている。これに対し脈動補償を行っている図 6 では、提案する中性点電位の制御によって補償コンデンサ電圧  $V_{C1}, V_{C2}$  が脈動を打ち消すように制御している。これにより直流間電圧  $V_{dc}$  の脈動補償を行い、指令値である 400V に追従させることができている。さらに、直流間電圧  $V_{dc}$  の脈動が低減されたことによって出力波形の歪みも改善されている。電解コンデンサを用いなくても提案する電力変換器とパワーデカップリング制御法を用いることで直流電圧脈動と系統側の電流波形の正弦波が実現できた。従来の制御法と比較して直流リンクに生じる電源周波数の 2 倍成分を 65% 低減できることを確認できた。本課題で作成した実験装置による変換効率は約 400W 出力において 85% であった。提案手法はパワーデカップリングを実現するために、中性点電位の制御と系統電流制御を両立させるため、直流リンク電圧を高く設定する必要がある。そのため電力変換器におけるスイッチング損失の増加とリアクトル損失の増加が生じている。

以上のことから、本研究では、提案する T-type NPC インバータを使用して単相電力脈動補償を行う制御法を開発して実験検証した。その結果、単相脈動補償を行わない制御法と比べて、同じコンデンサ容量において単相脈動補償を行った場合、直流部の脈動成分を低減できることを実機検証より確認した。本研究成果により、提案システムと提案制御法が、太陽光発電などを用いる系統連系インバータ装置の小型軽量化、長寿命化において有効な方式であることが明らかになった。

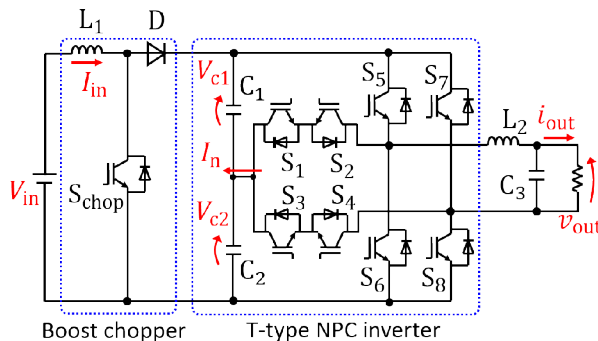


図 3 主回路構成

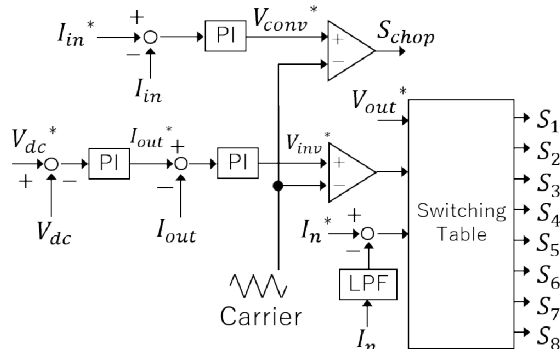


図 4 制御回路ブロック図

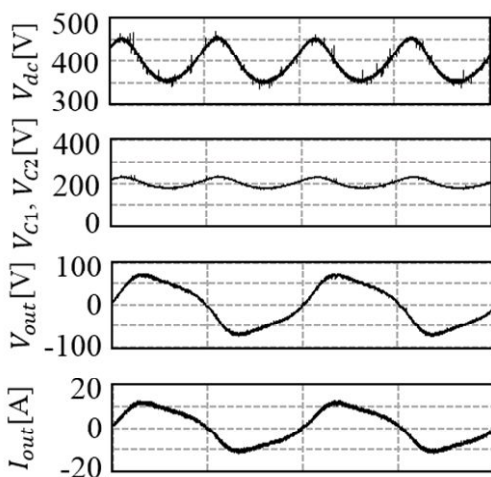


図 5 従来制御法の実験結果

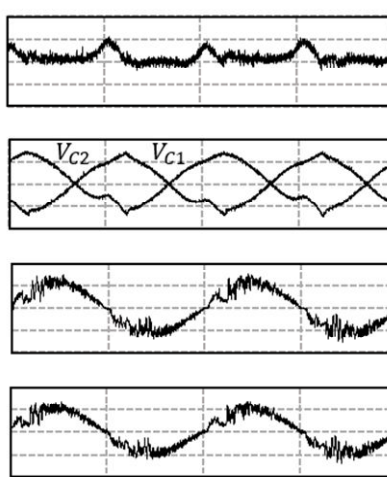


図 6 提案制御法の実験結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

片山翔太, 芳賀仁: 「T-type NPC インバータを用いたパワーデカップリング制御法の実機検証」平成28年北陸支部連合大会, A3-31 (2016)

佐藤俊介, 芳賀仁: 「LLC コンバータの入力電流リップルを低減する制御法に関する検討」平成29年新潟支所大会, NGT-17-p42, p.97 (2017)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

### (2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。