

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05928

研究課題名(和文) スイッチトキャパシタコンバータを起源としたマルチポートコンバータの開発

研究課題名(英文) Development of Switched Capacitor Converter-Based Multi-Port Converter

研究代表者

鵜野 将年 (Masatoshi, Uno)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：70443281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年の電源システムでは蓄電池の導入等により多電源化が進むと共にシステム内で用いられる電力変換器の数は増加しており、システムは複雑化・大型化する傾向にある。本研究では、1つの変換器で複数電源の同時制御が可能であり、且つ、小型・高電力密度化を実現可能なスイッチトキャパシタコンバータ(SCC)を起源としたマルチポートコンバータの開発を行った。SC-MPCはSCCと直列共振型インバータとPWMコンバータの3つの電力変換回路をスイッチを共有させつつ統合することにより導出される。太陽光発電システム用途を想定した150Wの試作器を用いた実機検証の結果、複数の入出力の独立制御が可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：Photovoltaic (PV) systems containing a rechargeable battery as an energy buffer require multiple dc-dc converters for PV panel control and battery regulation, and hence, they are prone to be complex and costly. To simplify the system by reducing the number of converters, this paper proposes the non-isolated switched capacitor converter (SCC)-based multi-port converter (SC-MPC) for standalone PV systems. The proposed SC-MPC can be derived by integrating a bidirectional PWM converter, series-resonant converter (SRC), and an SCC with sharing switches. PWM and PFM controls are employed for the PWM converter and SRC, respectively, to regulate either a battery voltage, output voltage, or input power from a PV panel, depending on power balance among the input, battery, and load. The 150-W prototype was built for an experimental verification, and the results demonstrated the output voltage could be regulated independently on the battery voltage or input port of PV panels.

研究分野：パワーエレクトロニクス

キーワード：スイッチトキャパシタ マルチポートコンバータ 直列共振型インバータ PWMコンバータ 太陽電池蓄電池

### 1. 研究開始当初の背景

近年では様々な電源システムにおいて蓄電池が導入されており、電源システムの多電源化が進んでいる。例えば通信システム用電源等は商用電源とバックアップ用蓄電池から構成され、また太陽光発電に代表される再生エネルギーシステムにおいても電力平準化用に蓄電池が用いられるケースが一般化しつつある(以下、太陽光発電システムを例に説明する)。太陽電池や二次電池の電力制御には電力変換器(コンバータ)が用いられるが、電源の数と同数の変換器が必要となるため電源システムは複雑化・大型化する傾向にある。また、太陽電池からの電力供給は日照時に限られるため太陽電池用変換器の非動作期間(夜間や曇り)は長く、同様に、蓄電池が充放電を受け付けられない状態(満充電や完全放電状態)の際には蓄電池用変換器も実質的に非動作状態となるため、各変換器の利用率が非常に低くなってしまふ。

### 2. 研究の目的

マルチポートコンバータ(MPC: Multi-Port Converter)は1つの変換器で複数の電源を同時に制御可能な方式であるため、電源システムにおける変換器数を削減可能であるのみならず変換器利用率の大幅な向上も期待できる。様々なMPCが提案されているが、その多くはセンタータップ付トランスや多巻線トランスを用いた方式である。センタータップや巻線数の追加によりマルチポート化を比較的容易に実現できる反面、絶縁要求の有無に関わらずトランスが必要となるため変換器の高コスト化・大型化を招いてしまふ。一方、トランスやインダクタ等の磁性素子が不要、あるいはこれら磁性素子を大幅に小型化可能な高電力密度の変換器としてスイッチトキャパシタコンバータ(SCC: Switched Capacitor Converter)が挙げられる。SCCは主に低電力用途で用いられてきたが、近年では新方式の提案や動作条件の最適化による性能向上により大電力用途への適用が加速している。

本研究では、電源システムの小型・高電力密度化ならびにシステム内の変換器数の削減を目的とした、SCCを起源としたMPCである「SC-MPC」の開発を行う。

### 3. 研究の方法

本研究で開発したSCC-MPCの一例をFig. 1に示す。スイッチのデューティ $d$ を操作してバッテリー電圧 $V_{bat}$ を制御する双方向PWMコンバータ、スイッチング周波数 $f_s$ の操作(PFM制御)により負荷電圧 $V_o$ を制御する直列共振型コンバータ、理想電圧分圧器として機能するSCC、の合計3台のコンバータでの素子共有により導出される。PVパネルが発電可能な際には $d$ と $f_s$ を操作して2つの出力(バッテリーと負荷)を独立に制御する。一方、バッテリー放電時においては双方向PWM

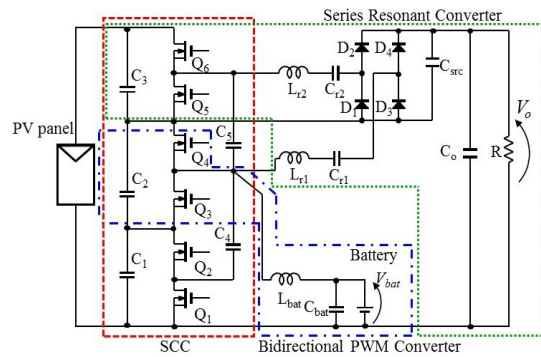


Fig. 1. Multi-port converter based on SCC.

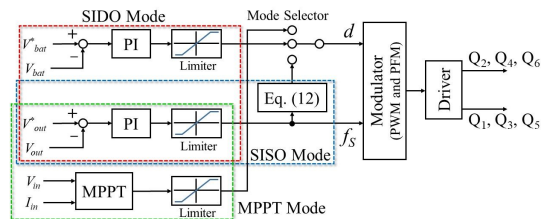


Fig. 2. Control block diagram for SCC-MPC.

コンバータと直列共振コンバータを介して負荷電力の供給が行われるため、 $V_o$ は $d$ と $f_s$ の双方に依存する。

SCC-MPCでは3つのポートの入出力電力の関係に応じて制御するポートを適宜変更する必要がある。本研究で開発した制御ブロックをFig. 2に示す。出力電圧 $V_o$ の制御には常に $f_s$ を操作量として用いつつ、入出力電力の関係に応じて $d$ を入力電源 $V_{in}$ もしくはバッテリー電圧 $V_{bat}$ の制御のための操作量として用いる。これにより、様々な状況下において各ポートを制御可能である。

### 4. 研究成果

定格電力150Wの試作回路(Fig. 3)を用い、一例として $d = 0.5$ 、共振周波数 $f_r = 160$  kHzにおいて $f_s$ を変動させつつ $V_{bat}$ と $V_o$ を取得した結果をFig. 4に示す。 $f_s$ と共に $V_o$ は変化する一方で $V_{bat}$ は一定であったことから、 $f_s$ により $V_o$ を独立に制御できることが示された。同様に $f_s = 100$  kHzにて $d$ を変動させた際、 $V_{bat}$ は $d$ のみに依存するため、 $d$ による $V_{bat}$ の独立制御が可能である(不図示)。以上の結果より、SCC-MPCは $d$ と $f_s$ により $V_{bat}$

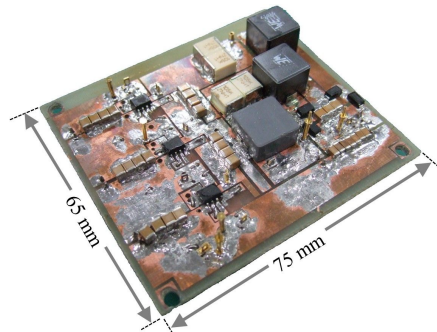


Fig. 3. Photograph of 150-W prototype.

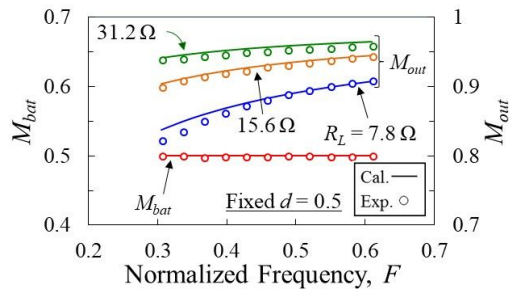


Fig. 4. Output characteristics as a function of normalized frequency  $F (=f_s/f_r)$ .

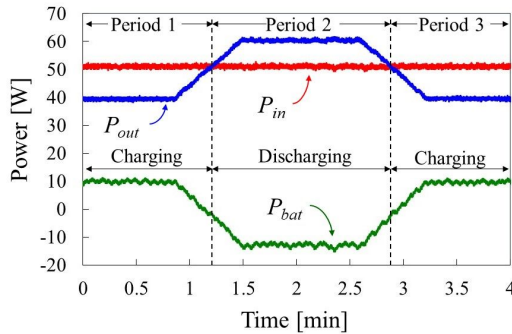


Fig. 5. Experimental results of power balance test.

と  $V_o$  を独立に制御できることが示された。

また、入力電源に太陽電池パネルを用いて最大電力点追尾制御 (MPPT: Maximum Power Point Tracking) を行いつつ、出力電力を変動させた際の各ポートの電力プロファイル取得結果を Fig. 5 に示す。太陽電池からの入力電力  $P_{in}$  は一定に保たれつつ、負荷電力に応じてバッテリーが充放電されたことから SCC-MPC により各ポートを適切に制御可能であることが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

1. Masatoshi Uno, Rina Oyama, and Kazuki Sugiyama, "Partially-isolated single-magnetic multi-port converter based on integration of series-resonant converter and bidirectional PWM converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, to be published.
2. Masatoshi Uno and Kazuki Sugiyama, "Switched capacitor converter-based multi-port converter integrating bidirectional PWM and series-resonant converters for standalone photovoltaic systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, to be published.

〔学会発表〕(計20件)

1. 佐藤祐介、永田光、鶴野将年、「2種のDC-DCコンバータの磁性素子を統合した非絶縁型マルチポートコンバータ」、電気学会全国大会、pp. 4-148, 2018年3月
2. Yusuke Sato, Hikaru Nagata, and Masatoshi Uno, "Non-Isolated Multi-Port Converter

Integrating PWM and Phase-Shift Converters," *IEEE Region Ten Conference (TENCON)*, pp. 1097-1102, November 2017.

3. 杉山一希、鶴野将年、「スイッチトキャパシタマルチポートコンバータにおける蓄電池充放電時の実機検証」、電気学会茨城支所研究発表会、IBK-17-072, pp. 90, 2017年11月
4. 永田光、鶴野将年、「非絶縁型PWMマルチポートコンバータと従来電源システムとの比較」、電気学会茨城支所研究発表会、IBK-17-032, pp. 50, 2017年11月
5. 佐藤祐介、永田光、鶴野将年、「PWMコンバータとDual Active Bridgeコンバータを統合した非絶縁型マルチポートコンバータの実機検証」、電気学会茨城支所研究発表会、IBK-17-031, pp. 49, 2017年11月
6. 大豆生田達毅、杉山一希、鶴野将年、「PWM制御とPFM制御を併用した磁性素子統合型マルチポートコンバータの開発」、電気学会茨城支所研究発表会、IBK-17-073, pp. 91, 2017年11月
7. 佐藤祐介、永田光、鶴野将年、「PWMコンバータとフェーズシフトコンバータを統合した非絶縁型マルチポートコンバータ」、電気学会産業応用部門大会、Y-43, 2017年8月
8. Hikaru Nagata and Masatoshi Uno, "Multi-port converter integrating two PWM converters for multi-power-source systems," *Int. Future Energy Electron. Conf., IFEEC, ECCE-Asia*, pp. 1833-1838, June 2017.
9. Masatoshi Uno and Kazuki Sugiyama, "PWM- and PFM-controlled switched Capacitor converter-based multiport converter integrating voltage equalizer for photovoltaic systems," *Int. Future Energy Electron. Conf., IFEEC, ECCE-Asia*, pp. 1499-1504, June 2017.
10. 杉山一希、鶴野将年、「部分影補償機能を有するスイッチトキャパシタマルチポートコンバータの基礎動作検証」、電気学会全国大会、pp. 329, 2017年3月
11. 永田光、鶴野将年、「2種の異なるPWMコンバータを統合したマルチポートコンバータへのデカップラの導入」、電気学会全国大会、pp. 106, 2017年3月
12. 鶴野将年、杉山一希、「バスコンバータと充放電制御器と部分影補償器を一体化したスイッチトキャパシタマルチポートコンバータ」、第36回宇宙エネルギーシンポジウム、2017年2月
13. 永田光、鶴野将年、「2種のPWMコンバータを統合したマルチポートコンバータの理論的周波数特性の導出」、電気学会茨城支所研究発表会、IBK-16-096, pp. 116, 2016年12月
14. 杉山一希、鶴野将年、「スイッチトキャパシタ部分影補償器を基礎とした太陽電池

- システム用マルチポートコンバータ」, 電気学会茨城支所研究発表会、IBK-16-037, pp. 56, 2016年12月
15. 小山莉奈、杉山一希、鶴野将年、「PWM制御とPFM制御を併用した3ポートコンバータ」, 電気学会茨城支所研究発表会、IBK-16-087, pp. 107, 2016年12月
  16. 佐藤祐介、永田光、鶴野将年、「PWMコンバータとフェーズシフトコンバータを統合したマルチポートコンバータの動作解析」, 電気学会茨城支所研究発表会、IBK-16-090, pp. 110, 2016年12月
  17. 永田光、鶴野将年、「多電源システムにおいて異なるPWMコンバータを統合したマルチポートコンバータ」, 電気学会産業応用部門大会、Y-26, 2016年8月
  18. 杉山一希、鶴野将年、「マルチポートコンバータ導出のための複数方式スイッチトキャパシタに対する定量比較」, 電気学会産業応用部門大会、Y-31, 2016年8月
  19. Kazuki Sugiyama and Masatoshi Uno, “Multiport converter based on switched capacitor converter for renewable energy systems,” *International Conference on Electrical Engineering*, pp. 90234, July 2016.
  20. 杉山一希、鶴野将年、「スイッチトキャパシタコンバータを基礎としたマルチポートコンバータの開発」, 第35回宇宙エネルギーシンポジウム、2016年3月

〔その他〕

受賞(計3件)

2017年11月 電気学会東京支部茨城支所研究発表会、優秀発表賞、佐藤祐介、永田光、鶴野将年、発表題目「PWMコンバータとDual Active Bridgeコンバータを統合した非絶縁型マルチポートコンバータの実機検証」

2017年8月 電気学会産業応用部門大会、ヤングエンジニアポスターコンペティション優秀発表賞、佐藤祐介、永田光、鶴野将年、発表題目「PWMコンバータとフェーズシフトコンバータを統合した非絶縁型マルチポートコンバータ」

2016年12月 電気学会東京支部茨城支所研究発表会、優秀発表賞、永田光、鶴野将年、発表題目「2種のPWMコンバータを統合したマルチポートコンバータの理論的周波数特性の導出」

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鶴野 将年 (UNO, Masatoshi)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：70443281

### (2)研究分担者

無し

### (3)連携研究者

無し