

# 大容量エネルギーバッファレス 単相絶縁形系統連系インバータの実機検証

学生員 渡辺 大貴\* 上級会員 伊東 淳一\*

## Experimental verification of Isolated Grid-connected Inverter with small passive component

Hiroki Watanabe\*, Student Member, Jun-ichi Itoh\*, Senior Member

This paper proposes an isolated DC/AC converter that has a small inductor and capacitor. In the proposed converter, an active power decoupling circuit is applied to a synchronous rectifier, which can compensate for the double-line frequency ripple of single-phase AC grid using a small capacitor. In addition, the proposed converter can achieve zero current switching using pulse density modulation (PDM). From the experimental result, the second-order harmonics of the input voltage is reduced to 2% in comparison to the DC components. In addition, the inverter output current THD of 2.2% is achieved.

キーワード：アクティブパワーデカップリング，系統連系インバータ，パルス密度変調

Keywords : active power decoupling, grid-connected inverter, pulse density modulation

### 1. はじめに

電力変換器において、キャパシタやインダクタなどの受動素子は変換器の大型化を招きやすい。インダクタの小型化については高周波スイッチングが有効であるが、スイッチング損失の増加を招く。また、単相連系システムの場合、系統周波数の2倍周波数成分で発生する電力脈動を補償するために大容量キャパシタが必要となる。

本稿ではキャパシタ、インダクタの両方を小型化可能な新しい回路方式を提案する。実験結果より、40 $\mu$ Fのコンデンサで入力直流電圧の2次高調波成分を2%以下に低減できていることを確認した。また、パーセントインピーダンス0.05%のフィルタインダクタを用いて高調波成分を除去し、良好に系統連系できることを確認したので報告する。

### 2. 提案回路

〈2.1〉回路構成 図1に提案回路を示す。絶縁共振形DC/DCコンバータは高周波トランスによる絶縁と昇圧を行う。共振周波数はトランス小型化の観点から数百kHz以上に設定する。また、直列インダクタ、および絶縁共振形コンバータ一次側に接続されたキャパシタの直列共振を用いてソフトスイッチングを行う。

パワーデカップリング回路<sup>(1)</sup>では高周波電流の整流、およびバッファキャパシタの充放電を行う。キャパシタの充放電を行わない期間は下アームをオフし、電流型インバータ(CSI)を介して系統側に電力を供給する。キャパシタ充電時はCSI側を全てオフし、図1中赤線の電流経路で充電する。

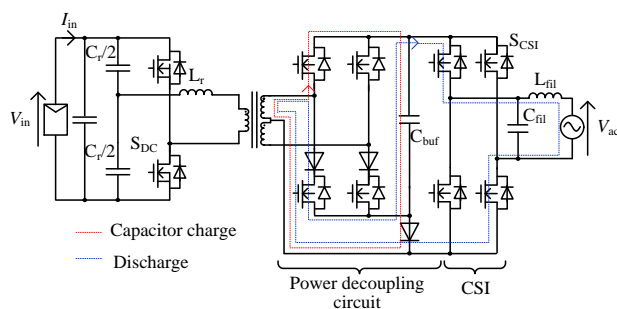


Fig. 1. Proposed converter.

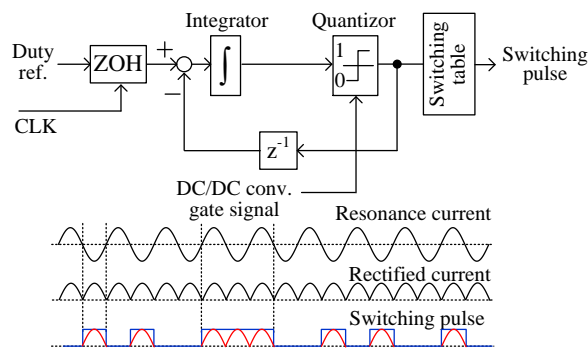


Fig. 2.  $\Delta$ - $\Sigma$  PDM block diagram.

最後に、放電時は図1中青線の電流経路で下アームを介して系統側に電力を供給する。本回路は他の方式と比べ、DC/DCコンバータと二次側回路の動作を一体化し、直接形電力変換構成を取るところに特徴がある。

キャパシタ容量が充放電するエネルギー $\Delta E$ はキャパシタ容量を $C_{buf}$ 、キャパシタ平均電圧値を $V_{ave}$ 、変動電圧幅を $\Delta V_c$ とすれば(1)式となる。

$$\Delta E = \frac{1}{2} C_{buf} \left\{ \left( V_{ave} + \frac{\Delta V_c}{2} \right)^2 - \left( V_{ave} - \frac{\Delta V_c}{2} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

a)Correspondence to: Jun-ichi Itoh. E-mail: [itoh@vos.nagaokaut.ac.jp](mailto:itoh@vos.nagaokaut.ac.jp)  
\* 長岡技術科学大学  
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1  
Nagaoka University of Technology.  
1603-1, Kamitomioka, Nagaoka 940-2188, Japan.

アクティブパワーデカップリングでは、電圧変動幅 $\Delta V_c$ を大きく設定することで単相電力脈動を補償するエネルギー量を確保し、キャパシタを小型化する。デカップリング回路の動作アームは共振電流の方向、CSIは系統電圧極性に応じて切り替える。

〈2・2〉変調方式 図2にパワーデカップリング回路、CSIの変調器ブロック図を示す。変調器にはデルタシグマ変換を用いたパルス密度変調( $\Delta$ - $\Sigma$  PDM)を適用する<sup>(2)</sup>。 $\Delta$ - $\Sigma$  PDMでは共振電流の半周期を1パルスとし、デューティ指令の大小に基づいてパルスの粗密を調整することでインバータ出力電流を正弦波化する。また、二次側回路の各スイッチは共振電流の半周期毎に現れるゼロ点でスイッチングを行うことでZCS動作を行う。 $\Delta$ - $\Sigma$  PDMは三角波キャリアを用いず、共振周波数の2倍周波数の周期ごとにサンプリングすることに特徴がある。PWM駆動の場合、出力電流にはキャリア周波数成分の高調波が含まれるため、出力フィルタのカットオフ周波数はキャリア周波数成分以下に制限される。一方、 $\Delta$ - $\Sigma$  PDMでは、キャリア周波数に対してサンプリング周波数が十分高く、出力高調波が高次側に移行する。その結果、出力フィルタを小型化できる。

### 3. 実機検証

表1に実験条件、図3に入出力波形および入力電圧の高調波解析結果を示す。なお、出力フィルタのカットオフ周波数は20kHzに設定した。図3より、入力電圧はほぼ一定値の直流が得られていることがわかる。高調波解析より、系統周波数の2倍周波数成分は直流成分に対して2%以下に抑制できていることを確認した。

図4にスイッチング波形を示す。DC/DCコンバータではサージ電圧は発生せず、ソフトスイッチングできていることを確認した。なお、スイッチング周波数は共振周波数に対して若干高く設定し、ターンオンZVS、ターンオフZCSとなる。一方、CSI側ではターンオフZCSを達成しているが、ターンオンの直後にドレイン電流が立ち上がっている。これは対向アームの寄生容量の放電電流が原因である。対策としてZVS方式の適用が挙げられる。

図5にインバータ出力電流THD、および力率特性を示す。図5より、幅広い負荷範囲で低THD、および高力率を達成した。効率特性は上述の通り改善の余地があるため、本稿では評価していない。これについては稿を改めて報告する。

### 4. まとめ

本稿では、キャパシタ、インダクタを小型化可能な新しい回路方式を提案した。今後はソフトスイッチング動作の改善、および効率評価を行う。

なお、本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものであり、関係各位に感謝の意を表します。

(平成●●年●月●日受付, 平成●●年●月●日再受付)

Table 1. Experimental condition.

Symbol	Quantity	value
$P_{out}$	Output power	200 W
$f_{sw}$	Switching frequency	200 kHz
$C_{buf}$	Buffer capacitor	40 $\mu$ F
$L_r$	Resonance inductor	40 $\mu$ H
$C_r$	Resonance capacitor	16 nF
$C_{fil}$	Filter capacitor	0.47 $\mu$ F
$L_{fil}$	Filter inductor	80 $\mu$ H (%Z = 0.05%)
$V_{ac}$	Grid voltage	100 V <sub>rms</sub> /50 Hz

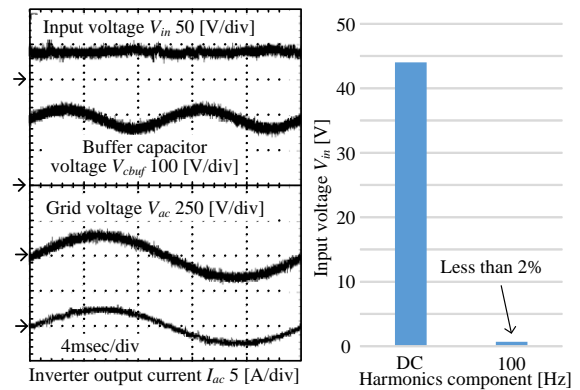


Fig. 3. Input and output waveforms and harmonic analysis result.

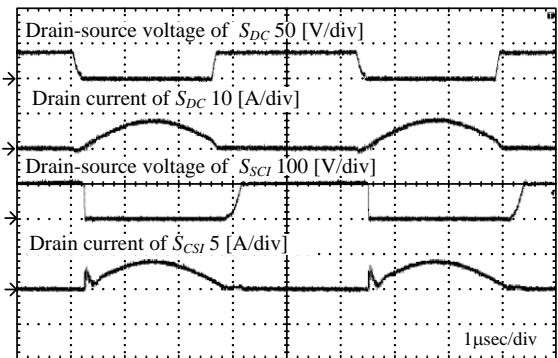


Fig. 4. Switching waveforms.

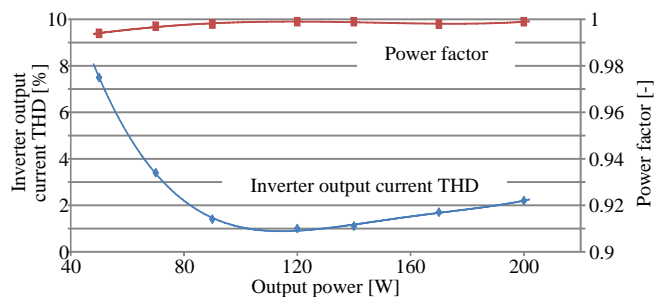


Fig. 5. Inverter output THD and power factor characteristics.

## 文 献

- (1) 外山佳祐・清水敏久:「パワーデカップリング機能を持つ高効率単相系統連系インバータとその制御法」, 電学論D, Vol. 135, No. 2 pp.147-154 (2016)
- (2) 中田祐樹・伊東淳一:「空間ベクトル変調とデルタ-シグマ変調を組み合わせた高周波単相-低周波三相マトリクスコンバータの出力波形改善」, 電学論D, Vol. 135, No. 1 pp.58-64 (2015)