

電流不連続モードを用いた フライバックコンバータの単相パワーデカップリング法

学生員 渡辺 大貴* 上級会員 伊東 淳一*

Single-phase Power decoupling Method using flyback converter with discontinuous current mode

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

This paper discusses a power decoupling method using fly-back converter with discontinuous current mode (DCM) for PV micro-inverters. The proposed converter consists of a fly-back converter, voltage source inverter (VSI), and small capacitor. The proposed method does not require any additional component or complicated control for power decoupling. From the experimental result, the second-order harmonics of the PV input current is reduced by 97%, in comparison with that in the current continuous mode (CCM).

キーワード：フライバックコンバータ, AC モジュール, 単相電力脈動

Keywords: Flyback converter, AC module, Single phase power ripple

1. はじめに

太陽光発電の系統連系手法として、AC モジュール方式が多く検討されている⁽¹⁾。また、本方式に適用する電力変換器には低コスト化、回路構成の簡単化の点から、フライバックコンバータが多く検討されている。単相系統連系の場合、電源周波数に対して 2 倍周波数で発生する電力脈動を補償するために、直流中間部には大容量の電解コンデンサが必要となり、電力変換器の短寿命化を招く。

一方、パワーデカップリング回路は電解コンデンサを長寿命のフィルムコンデンサに置き換えることができる。しかし、多くの従来回路は追加素子が必要となり、上述したフライバックコンバータの優位性を損なう。

本論文では、追加素子、複雑な制御の両方を用いない単相パワーデカップリング法を提案する。実験結果より、フライバックコンバータを電流不連続モード(DCM)で動作させることで、電流フィードバック制御無しに入力電流に含まれる二次高調波成分を 97%抑制できることを確認したので報告する。

2. 検討回路および制御法

(2-1) 回路構成 図 1 に提案回路を示す。本回路はサージ電圧抑制にアクティブクランプ回路、高効率化のために同期整流を採用する。本回路はフライバックコンバータを DCM で動作させることでパワーデカップリングを達成でき、直流中間コンデンサ C_{buf} を小容量化できる。

(2-2) 制御法 図 2 に単相電力脈動の原理を示す。系統電圧とインバータ出力電流を正弦波、力率 1 とするとき、瞬時出力電力 p_{out} は(1)式となる。

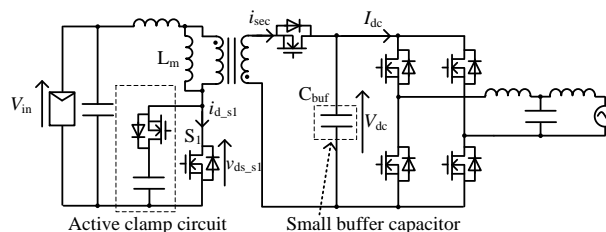


Fig. 1. Proposed converter.

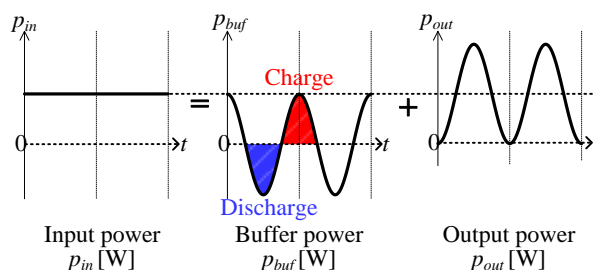
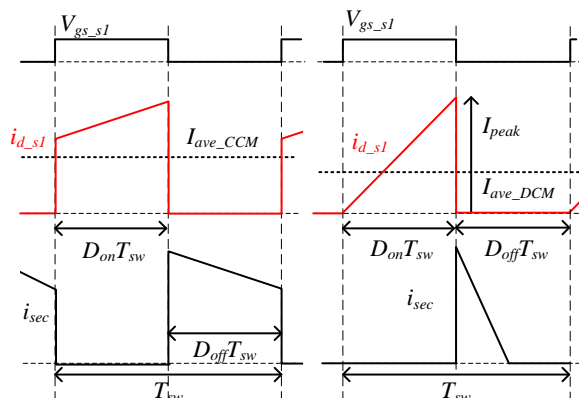


Fig.2 Relationship between input and output power.



(a) CCM (b) DCM

Fig.3 Primary side waveforms both CCM and DCM.

a)Correspondence to: Jun-ichi Itoh. E-mail: 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.

$$p_{out} = \frac{1}{2}V_{acp}I_{acp} - \frac{1}{2}V_{acp}I_{acp}\cos(2\omega t) \quad (1)$$

なお、 V_{acp} は系統電圧最大値、 I_{acp} はインバータ出力電流最大値、 ω は系統の角周波数である。(1)式より、単相瞬時電力は系統角周波数の2倍の周波数で脈動する。したがって、入力電力 p_{in} を一定にするには、第2項の脈動分を直流中間コンデンサで補償すればよい。このとき、入力電力 p_{in} およびエネルギーバッファの瞬時電力 p_{buf} は(2)、(3)式となる。

$$p_{buf} = -\frac{1}{2}V_{acp}I_{acp}\cos(2\omega t) \quad (2)$$

$$p_{in} = \frac{1}{2}V_{acp}I_{acp} = V_{in}I_{in} \quad (3)$$

図3に電流連続モード(CCM)およびDCM動作時の S_1 の電流波形を示す。なお、 $V_{gs,S1}$ は S_1 のゲート電圧、 $i_{D,S1}$ は S_1 のドレイン電流、 i_{sec} は整流器のドレイン電流である。まず、CCM動作時の S_1 のドレイン電流平均値は(4)式となる。

$$I_{ave_CCM} = \frac{V_{dc}}{V_{in}}I_{dc} \quad (4)$$

ここで、 V_{dc} は直流中間電圧、 I_{dc} は直流中間電流、 V_{in} はPV側直流電圧である。(4)式より、CCM動作時は入力電流平均値が直流中間側の電圧、電流条件に左右される。単相系統連系の場合、直流中間電圧、電流は電源周波数の2倍周波数で脈動する。その結果、入力電力が脈動する。

一方、DCM動作時の S_1 のドレイン電流最大値、および平均値は(5)、(6)式となる。

$$I_{ave_DCM} = \frac{I_{peak}}{2}D_{on} \quad (5)$$

$$I_{peak} = \frac{V_{in}}{L_m}D_{on}T_{sw} \quad (6)$$

ここで、 I_{peak} は S_1 のドレイン電流最大値、 D_{on} は S_1 のオンデューティ、 T_{sw} はスイッチング周期、 L_m は励磁インダクタンスである。(5)、(6)式より、DCMでは入力電圧 V_{in} および L_m が常に一定、かつスイッチング周波数とデューティ指令を常に固定の条件下では、直流中間側の電圧、電流条件に関わらず入力電流平均値を一定にできる。

3. 実機検証

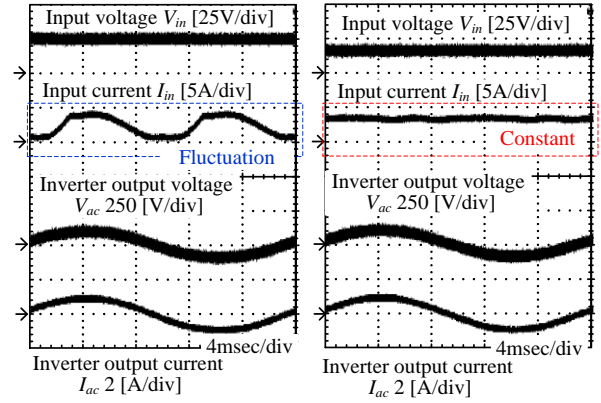
表1に実験条件、図4に実験結果を示す。今回はR-L負荷を接続し、オープンループ駆動とした。また、提案法適用時は直流中間電圧が系統周波数の2倍周波数で脈動するため、インバータ制御にデューティ補償を適用することで、インバータ出力電流を正弦波化する⁽²⁾。

図4(a)より、CCM動作時はPV側入力電流が電源周波数の2倍周波数で脈動していることがわかる。DCM動作時には電源周期でほぼ一定となっており、良好にパワーデカップリングが行われていることを確認した。

図5に入力電流の高調波解析結果を示す。CCM時は直流成分に対して二次高調波成分が58%残存している。一方、DCM時は二次高調波成分が1.8%となり、97%補償できていることを確認した。

Table.1 Experimental parameter

Symbol	Quantity	value
P_{out}	Output power	50 W
f_{sw}	Switching frequency	80 kHz
C_{buf}	DC link capacitor	40 μ F
L_m	Magnetizing inductor	13 μ H (DCM) 200 μ H (CCM)
$Load$	R-L load	
f_{ac}	Output frequency	50 Hz



(a) CCM operation. (b) DCM operation.

Fig. 4 Experimental result.

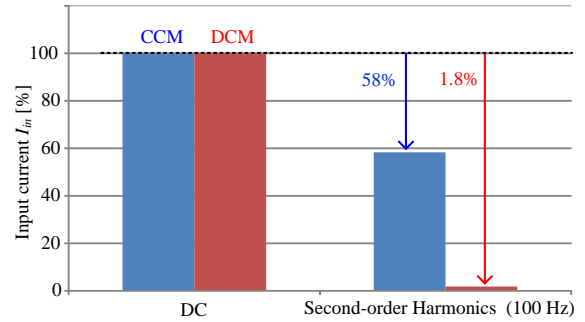


Fig. 5 Comparison with second-order harmonics on input current.

4. まとめ

本論文では、フライバックコンバータのDCM動作による単相パワーデカップリング法を提案した。実験結果より、DCM動作時、入力電流の2次高調波成分を97%補償できることを確認した。今後は提案回路のソフトスイッチング手法について検討する。

なお、本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(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)

文 献

- (1) R-K. Surapaneni, A-K. Rathore: "A novel single-phase isolated PWM half-bridge microinverter for solar photovoltaic modules", ECCE US pp. 4550-4556 (2015)
- (2) 渡辺, 小岩, 伊東, 大沼, 宮脇: 「昇圧形アクティブバッファを有する電解コンデンサレス太陽光発電系統連系インバータの開発」, 電気学会論文誌 D, Vol. 135, No. 5, pp. 467-474 (2015)