

パルス周波数変調による FCC 型マルチポートコンバータの効率改善

塩井 太介・宮下 充・永井 悟司・日下 佳祐・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

・中西 俊貴・小林 和博（株式会社三英社製作所）

1. はじめに

近年普及の進む太陽光発電(PV)は出力変動が激しいため、バッテリーで出力を補償するバッテリーマネジメントシステム(BMS)が適用される⁽¹⁾。これまでに、著者らは BMS を小型化可能な構成を提案し、実機実験により回路動作を確認した⁽²⁾。しかし、提案回路は電流不連続モード(DCM)で動作するため、電流ピーク値が高くなり導通損失が増加する。そこで本論文では、インダクタ電流のピーク値低減による効率改善を目的にパルス周波数変調(PFM)を適用する。実機実験により電流ピーク値を 27%、損失を 22% 低減できることを確認したので報告する。

2. 回路構成およびスイッチング周期決定式

図 1 に提案回路を、表 1 に提案回路のパワーフローおよびスイッチングパターンを示す。提案回路は 4 つのパワーフローを持つマルチポートコンバータである⁽²⁾。なお、本論文では全スイッチに同期整流を実装している。

図 2 に提案回路に PFM を適用した際のインダクタ電流波形を示す。PFM を適用することで、ゼロ電流期間 T_3 を短縮でき、電流ピーク値を低減できる。ここで、mode I において指令値であるインダクタ電流平均値 I_{Lave} から制御周期を求める。まず、ファラデーの法則よりインダクタ電流ピーク値 I_{pk} は式(1)で求められる。

$$I_{pk} = \frac{V_{bat}}{L} T_1 = \frac{V_{dc} - V_{bat}}{L} T_2 \dots\dots\dots (1)$$

平均インダクタ電流 I_{Lave} は、インダクタのピーク電流 I_{pk} と制御周期 T_{sw} から式(2)のように表せる。

$$I_{Lave} = \frac{1}{2} I_{pk} \frac{(T_1 + T_2)}{T_{sw}} \dots\dots\dots (2)$$

式(1), (2)より、Mode I における S_3 と S_4 のオン期間 T_1 、オフ期間 T_2 および制御周期 T_{sw} は式(3)で求められる。

$$\begin{cases} T_1 = \frac{LI_{Lave}}{V_{bat}} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2V_{bat}(V_{dc} - V_{bat})T_3}{LI_{Lave}V_{dc}}} \right\} \\ T_2 = \frac{LI_{Lave}}{V_{dc} - V_{bat}} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2V_{bat}(V_{dc} - V_{bat})T_3}{LI_{Lave}V_{dc}}} \right\} \\ T_{sw} = T_1 + T_2 + T_3 \end{cases} \dots\dots (3)$$

式(3)より求めた制御周期 T_{sw} でスイッチングすることで、負荷によらずゼロ電流期間 T_3 を一定にできる。

3. 実験結果

図 3 に mode II においてインダクタ電流指令を 0.5p.u. から 1.0p.u. にステップ変化させた時のインダクタ電流波形を示す。図 3(a)は一定のスイッチング周波数(10 kHz)で動作させた場合、図 3(b)は PFM を適用した波形である。なお、ゼロ電流期間は 3 μ s 一定とした。これより、PFM によって最大で電流ピーク値を 27% 低減できることを確認した。

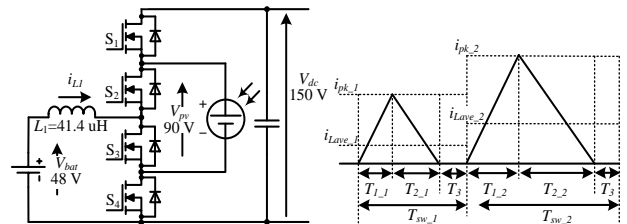


Fig. 1. Proposed circuit. Fig. 2. Operation waveform with PFM.

Table I. Switching pattern in each modes.

	S ₁		S ₂		S ₃		S ₄		Power flow
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
Mode I	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	Battery → DC link
Mode II	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	PV+Battery→DC link
Mode III	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON	PV → Battery
Mode IV	Repeat of Mode II and Mode III								PV → DC link

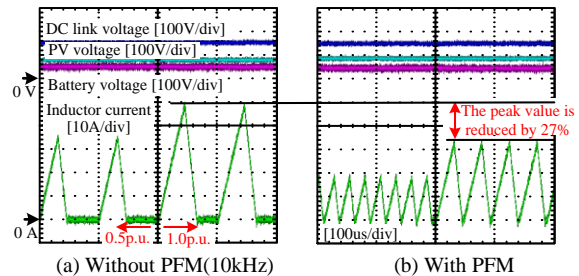


Fig. 3. Step response at Mode I.

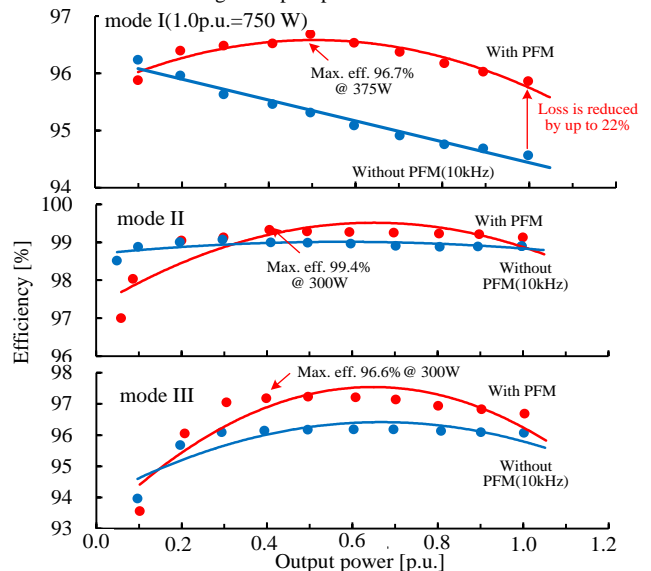


Fig. 4. Efficiency characteristics in each modes.

図 4 に効率特性を示す。定格負荷(750 W)において mode I で 22%、mode II で 18%、mode III で 15% の損失低減を確認した。PFM 適用時の軽負荷領域では、スイッチング周波数が 40 kHz 程度となり、スイッチング損失が増加するため、効率が低下する。

今後の予定として、ゼロ電圧スイッチング(ZVS)によるスイッチング損失の低減が挙げられる。

文 献

- (1) Yuji Mizuno et al. : IEEE 6th ICRERA, pp. 515-518(2017)
- (2) 宮下 他 : 半導体電力変換研究会発表論文, No.SPC-19-102, 2019