電圧形変換器における一相変調法を適用した三相電流形インバータ

正 員 茂木 進一*

The Three-Phase Current-Fed Inverter applying the One-Phase Modulation Principle
that was proposed for the Three-Phase Voltage-Fed Converter

Shin-ichi Motegi*, Member

The one-phase switching method (one-phase modulation) for the three-phase voltage-fed inverter was proposed. The author presents an applying method of the one-phase modulation for the three-phase current-fed inverter. This letter describes a comparison of the switching patterns for the current-fed inverter between the conventional methods and presented method. To prove the validity of the presented method, the simulated results are shown.

キーワード：電流形インバータ，スイッチング損失，スイッチングパターン，直流インダクタ電流，双対性

Keywords: current-fed inverter, switching-loss, switching-pattern, DC-inductor current, duality

1. まえがき

三相電圧形変換器において，一相だけの変調動作（以下では一相変調法と呼ぶ）によりブリッジ部のスイッチング損失を従来（二相変調法を用いない場合）の1/3以下とする方法が提案されている¹⁾。そこで本レターでは，この一相変調法を電圧形と電流形の双対性に基づいて三相電流形インバータに適用する。一相変調を適用するにあたって，本レターでは三相電流形インバータの直流側電流の瞬時値を三相全波整流波形に制御する手法を提案しシミュレーションからその効果を確認する。

2. 提案するスイッチングパターン発生方法

本レターでは電流形変換器の一例として，系統連系三相電流形インバータ（Fig. 1）を検討の対象とする。同インバータの直流側には，直流インダクタ L_d を共有する降圧形 DC-DC コンバータを接続しているが，同インダクタ電流の瞬時値を自由に制御できる構成であれば主回路方式は問わない。例えば，ここにソフトスイッチングを適用した変換器を接続し直流部でのスイッチングロスを抑える主回路構成とすれば以下で紹介する変調方法が最大の効果を発揮する。

Fig. 2 に電流形変換器におけるスイッチングパターン発生方法のモデル波形（線電流指令値 $i_U^* > 0 > i_V^* > i_W^*$ ）を示す。ここで，(a) は文献(2)で提案されている仮想 Δ 結線電流源による Continuous Switching 法，(b) は文献(3)で提案されている仮想 Δ 結線電流源による Discontinuous Switching

法，(c) は本レターで提案する方法である。なお，同図 (a)，(b) において短絡パターンは，線電流指令値の絶対値が最大の相（同図では A 相の上下アーム A_P ， A_N ）に与え，キャリア信号 v_{CAR} の振幅はパルス面積変調の採用により直流インダクタ電流 i_L と等しくしている。

文献(2)の方法（Fig. 2(a)）では，転流回数の合計が一変調周期で 6 回となっている。また，文献(3)の方法（同図 (b)）では各電流指令値を下方にシフトさせ合計転流回数を 4 回としている。一方，本提案方法では，直流インダクタ電流 i_L を線電流指令値の絶対値の最大値（Fig. 2(c) では i_U^* ）に一致させ A 相のスイッチングを休止させることにより，電圧形変換器における一相変調に相当する変調法を電流形変換器において実現することができる。以上の変調方法に依れば，転流回数を文献(2)の 1/3 となる 2 回まで低減することができる。ここで，転流回数とスイッチング損失が比例すると仮定すれば同損失は 1/3 に低減（変換電力などの主回路条件が等しい場合）することが可能となる。

Fig. 1. The three-phase current-fed inverter for utility interactive system.

* ヤンマー（株）中央研究所
〒521-8511 米原市梅ヶ原 1600-4
Research and Development Center, YANMAR Co. Ltd.
1600-4, Umegahara, Maibara 521-8511

Fig. 2. Switching patterns in the current-fed inverter ($B_p, C_p = \text{OFF}$).

Table 1. Circuit's constants and ratings.

DC Inductor	L_d	1mH	AC Filter	L_F	0.4mH
DC Filter	L_{DF}	0.3mH		C_F	10 μ F
	C_{DF}	40 μ F	DC Voltage	V_D	400V
Line Impedances	Z_S	0.19 Ω	Line to Line Voltage	V_S	200V
		0.23mH	Line Frequency	f_S	50Hz
Switching Frequency*	f_{SW}	12kHz	Output Current	I_S	50A

*: Buck dc-dc converter and current-fed inverter.

Fig. 3. Simulation waveforms.

3. シミュレーション結果

Fig. 1 の主回路に以上で提案した制御・変調法を適用しシミュレーション（主回路定数などは Table 1）を行った結果を Fig. 3 に示す。同図に示すように、直流インダクタ電流 i_L を出力電流指令値の絶対値の最大値 i_L^* に一致するよう降圧形 DC-DC コンバータを PI コントローラで制御（図

(b) し、二アームだけをスイッチング（図 (c)）することで、出力電流が系統電圧（図 (a)）と同相の正弦波（図 (e)）となっていることが確認できる。このときの、出力電流の高調波歪み率（40 次高調波まで考慮）は全ての相で 1% 以下である。

4. あとがき

電圧形変換器で提案されている一相変調を電流形変換器へ適用した制御・変調方法を紹介し、シミュレーションからその効果を確認した。電流形変換器では、直流側電流の瞬時値を制御する何らかの手段を必要とするものの、電圧形変換器における一相変調と同様に交流側電流の正弦波化とブリッジ部でのスイッチング損失を低減することが可能である。また、直流インダクタに必要最低限の電流しか流さないことから、同インダクタによる銅損やスイッチング素子における導通損失も低減可能である。今後の課題としては、電流形変換器における他のスイッチングパターン発生方法（例えば (2)~(6)）との各種損失などの比較検討や、直流側に接続する DC-DC コンバータも含めた各種損失の検討が挙げられる。

（平成 20 年 5 月 15 日受付，平成 20 年 10 月 21 日再受付）

文 献

- (1) H. Fujita: "A Single-Phase Switching Method for Three-Phase AC-Interfaced Converters", *IEEJ annual conf.*, Vol.4, No.078, pp.118-119 (2007) (in Japanese)
- (2) Y. Nishida: "Three-Phase Buck/Boost-type High-Power-Factor Switching Converter", *IEE Japan*, Vol.115-D, No.4, pp.410-419 (1995) (in Japanese)
- (3) Y. Nishida and A. Maeda: "A Simplified Discontinuous-Switching- Modulation for Three-Phase Current-Fed PFC-Converters and Experimental Study for the Effects", *Proc. of IEEE APEC'96*, Vol.2, pp.552-558 (1996)
- (4) Y. Neba and K. Seto: "A New Arrangement of Switching Pulse in Three-Phase PWM Current Source Type Converter", *IEE Japan*, Vol.117-D, No.9, pp.1290-1291 (1997) (in Japanese)
- (5) 三浦友史・松川 誠・中野博民:「三相電流形コンバータ回路のパルスパターン発生法」, 日本特許庁, 公開特許広報 (A), 特開 2001-008458 (2001) (in Japanese)
- (6) T. Ouchi, H. Fujikawa, S. Masukawa, and S. Iida: "A Control Scheme for Three-Phase Current Source Inverter in Interactive Photo-voltaic System", *IEE Japan*, Vol.120-D, No.2, pp.230-239, (2000) (in Japanese)