電流形PWM単相三相コンバータの回路構成

正員 根葉 保彦 (福岡大)

A Circuit Configuration of Current Source Type PWM Power Converter
between Single-Phase and Three-Phase

Yasuhiko Neba, Member (Fukuoka University)

キーワード：電力変換，PWM，単相コンバータ，三相コンバータ，電流形インバータ

1. ま え が き

交流直流間あるいは交流交流間の電力変換器では、高速スイッチング素子と高性能マイクロコンピュータの開発に伴ってPWM制御が容易になり、正弦波交流波形が得られる理想的な変換システムを実現できるようになった。電力変換器主回路は多数のスイッチング素子で構成されるが、信頼性と変換効率の向上およびシステムの小型軽量化のためには、できる限り素子数を低減し、交流波形を悪化させずに回路構成を簡単化することが望ましいと考えられる。この目的に対して、コンバータとインバータを結合した交流交流変換単相回路⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾および三相回路⁽⁵⁾が提案されている。また、単相から三相交流を得る簡単化回路⁽⁶⁾も報告されている。本レターは、電流形PWM電力変換器において、単相および三相ブリッジ回路を結合して素子数の低減を図り、それらの交流間の双方向電力変換を行う回路構成を提案し、PWMパターン発生の一方法を示す。

2. 回路構成とPWMパターン

図1に提案するPWM電流形単相三相電力変換器の回路構成を示す。単相コンバータ回路はスイッチ S_P , S_N および $S_1 \sim S_3$ で構成され、スイッチ $S_1 \sim S_6$ で三相コンバータブリッジ回路を構成している。交流側の C_f と C はPWM電流バイパスコンデンサであり、直流部には電流平滑リアクトル L_d を接続する。スイッチ $S_1 \sim S_3$ を両回路で共用して主回路全体の素子数を減少している。本回路では、各素子のPWMスイッチングによって単相および三相交流ともに正弦波電圧、電流が得られるが、共用スイッチ動作が電源に依存するため同一周波数の電力変換を行う。同図は単相電源と三相負荷の場合を例示しており、単相から三相への電力変換であるが、単相負荷と三相電源を接続すれば、三相から単相への電力変換器として動作可能である。

図2は各スイッチのPWMパルス作成の一方法を示す。正弦波交流を得る一般的な方法の三角波比較PWM方式を採用してパターンを作成するが、電流形では三相コンバータのスイッチ群 $S_1 S_2 S_3$ およびスイッチ群 $S_4 S_5 S_6$ において、2つのスイッチを同時に導通できない制約から、 u 相制御信号に示すような三角波搬送波を用いて各パルスを決する⁽⁷⁾。 u 相制御信号の交点に対応したPWM電流 i_{up} (振幅は直流電流に等しい) を交流側に流すことにより正弦波形

図1 提案回路構成

Fig.1. Configuration of proposed circuit.

を得る。なお、 $\pi/3 \sim 2\pi/3$ 区間の電流 i_p のパルス列はこの区間の制御信号から得るものではなく ($4\pi/3 \sim 5\pi/3$ も同様)、この区間の正弦波面積が $0 \sim \pi/3$ と $2\pi/3 \sim \pi$ 面積の和に等しいことから、これら区間のパルスの合成で与えられる。 v 相電流 i_{vp} と w 相電流 i_{wp} もまた u 相制御信号に対してそれぞれ $2\pi/3$ および $4\pi/3$ 移相した信号で得られ、三相交流電流となる。共用スイッチ動作が三相に対応したオンオフを行うため、単相コンバータも同様な制御信号でPWM電流 i_p を発生する。単相から三相あるいは三相から単相への電力変換動作を可能にするために、単相コンバータ制御に対する変調波 ξ_s と三相コンバータ制御に対する変調波 ξ_T の振幅を独立して調整しても、それぞれのPWM電流を確保できるパルスパターンを作成する。

まず、PWM電流 i_p と i_{up} , i_{vp} , i_{wp} の極性から必ず導通とするスイッチが決まり、黒で示すオンパルスが決定される。これらのオンパルス以外の期間ではPWM電流は零であり、それぞれの回路において同一アームの2つのスイッチを同時にオンして直流短絡回路 (以下、STC と略記) を形成する。STC を起こすアームの選択は両回路の動作に依存し、それによって全体のPWMパターンが決定する。以下、それぞれの $\pi/3$ 区間毎に STC 状態 (斜線で示すパルス) を説明する。なお、図2は変調波 ξ_s の振幅が ξ_T のそれよりも大きい場合を示しているが、逆の時でもPWM電流を確保できるPWMパターンを作成する。

図2 PWMスイッチングパターン

Fig.2. PWM switching patterns.

- 1) $0 \sim \pi/3$: 変調波 ξ_s 変化に対して電流 i_p 確保のため, S_1 は S_3 の反転(NOT)とし, 三相回路 STC は S_1S_4 で行う。単相回路 STC は導通する S_1 は S_3 のアームで形成するように S_P と S_N に斜線で示す短絡パルスを割り当てる
 - 2) $\pi/3 \sim 2\pi/3$: S_1 常時導通で両回路とも独立して PWM が可能であり, 単相回路の STC は S_NS_1 , 三相回路の STC は S_1S_4 で行う
 - 3) $2\pi/3 \sim \pi$: 1)と同様に電流 i_p 確保のため, S_1 は S_2 の反転とし, 三相回路 STC は S_1S_4 で行う。単相回路 STC は導通する S_1 は S_2 のアームで形成するように S_P と S_N に短絡パルスを割り当てる
 - 4) $\pi \sim 4\pi/3$: S_2 常時導通で両回路とも独立して PWM でき, STC は単相回路が S_PS_2 , 三相回路が S_2S_5 で行う
 - 5) $4\pi/3 \sim 5\pi/3$: 電流 i_p 確保のため, S_3 は S_2 の反転とし, STC は単相回路が S_PS_3 , 三相回路が S_3S_6 で行う (この区間の単相回路において S_2 と S_3 はいずれの導通でも等価であり, したがって S_2 を S_3 の反転として STC を単相回路 S_PS_2 , 三相回路 S_2S_5 で行っても同じである)
 - 6) $5\pi/3 \sim 2\pi$: S_3 常時導通で両回路とも独立して PWM でき, STC は単相回路が S_PS_3 , 三相回路が S_3S_6 で行う
- 本回路では電源電圧 (三相電源の時には相電圧) と制御信号との位相を一致して PWM 動作すれば, ほぼ効率 1 の電源電流が得られる。出力制御は変調波 ξ_s と ξ_r の振幅調

整で可能であるが, 電源側 PWM に対しては電流または電圧の閉ループを構成する。なお, 本システムでは単相瞬時電力変動に起因して直流電流が脈動し, 交流波形歪みを生じるので, LC 共振回路⁽⁸⁾適用などの対策が必要である。

3. むすび

単相三相交流間の双方向電力変換を行う PWM 電流形回路を提案し, PWM スwitching の一パターンを示した。今後, 実験によって PWM 変換動作を確認し, 制御特性を検討する予定である。

(平成 10 年 3 月 17 日受付, 平成 10 年 6 月 4 日再受付)

文 献

- (1) 大西: 「多機能高品質単相 PWM 制御電源」, 電学論 D, 115 巻, 1 号, 70 (平 7-1)
- (2) 東・真田・佐志田・小山: 「UPS 用非絶縁主回路の 4 象限入出力電圧制御法」, 平 6 電気学会産業応用部門大会, No. 123
- (3) 中村・藤谷・河内: 「最新 UPS システム事例 (小容量)」, 平 7 電気学会産業応用部門大会, S-1-2-2
- (4) 根葉: 「6 素子 PWM 単相電流形コンバータ/インバータ」, 電学論 D, 116 巻, 2 号, 220 (平 8-2)
- (5) 根葉・羽根・東: 「コンバータとインバータを結合した三相 PWM 電流形電力変換回路」, 電学論 D, 117 巻, 9 号, 1168 (平 9-9)
- (6) 大西: 「主回路構成の簡単な単相三相コンバータの PWM 制御法その制御特性」, 平 9 電気学会産業応用部門大会, No. 44
- (7) T. Ohnishi & H. Okitsu: "A Novel PWM Technique for Three Phase Inverter/Converter," in Conf. Rec. IPEC-Tokyo '83, 384 (1983)
- (8) K. Heumann 著, 前田訳: 「パワーエレクトロニクスの基礎」, pp. 197 (東京電機出版局, 昭 53-8)

根 葉 保 彦 (正員) 電学論 D, 118 巻, 2 号参照