

マトリクスコンバータにおける 同期 PWM 制御への移行制御

真木 康次*, 伊東 淳一(長岡技術科学大学)

A Transfer Control Strategy to Synchronous PWM Control for a Matrix Converter
Koji Maki, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年, 大形のエネルギーバッファを必要とせず, 交流電源から任意の電圧及び周波数の交流に直接変換するマトリクスコンバータ(以下, MC)が注目を浴び, 盛んに研究が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。

著者らは, インバータの 1 パルス運転にあたる MC の同期 PWM 制御を提案しており, 電圧利用率 0.955 を達成している⁽³⁾。また, 提案制御は低スイッチング回数で入力電流を正弦波化できる。しかし, 提案制御は出力電圧振幅が一定であるため, 電圧利用率 0.866 の非同期 PWM 制御からの切り替え時に, 出力電圧振幅が急変する。この問題は, 非同期 PWM 制御と提案制御の間で出力電圧振幅が制御できる移行制御によって解決されているが⁽⁴⁾, 実機実験による検証は行われていない。

本論文では, 移行制御を用いた非同期 PWM 制御から提案制御への切り替えを実機検証する。移行制御により, 出力電圧振幅の急変なく, 非同期 PWM 制御から提案制御への切り替えられていることを確認したので, 報告する。

2. 制御方法

<2.1> 提案制御

図 1 に MC の回路構成を示す。MC は 9 つの双方向スイッチで構成され, 各入出力はマトリクス状に接続される。

図 2 に提案制御の PWM パターンを示す。提案制御は MC を 3 レベルインバータとして捉えており, s_{max} , s_{mid} , s_{min} はそれぞれ入力最大の相, 中間相, 最小相に接続されているスイッチの PWM パターンを示している。他相の PWM パターンは $\pm 2\pi/3$ 位相をずらすことで得られる。 α は中間相の出力期間を, β は最大相・最小相の出力期間を調整する制御変数である。この 2 つの制御変数は以下の条件より決定され, 式(1)(2)より求められる。式中の v_{max} , v_{mid} , v_{min} はそれぞれ最大相, 中間相, 最小相の電圧である。なお, 入力周波数は出力周波数より十分低く, PWM パターン 1 周期中の入力電圧は一定とみなせ, さらに出力電流は理想的な正弦波と仮定する。

- ① 出力線間電圧における 1/4 周期毎の電圧時間積の絶対値が等しい(ビートレス制御)
- ② 出力電流の 1 周期・1 相分を入力電圧の比率に合わせ

て入力電流に分配する(入力電流制御)

$$\alpha = \pi/6 \tag{1}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left\{ v_{mid} / (v_{max} - v_{min}) \cdot \tan \alpha \right\} \tag{2}$$

本方式は $\alpha = \pi/6$ でしか成立しないことから, 提案制御の電圧利用率は 0.955, 出力電圧の振幅は一定である。

<2.2> 移行制御

図 3 に移行制御の PWM パターンと出力線間電圧波形を示す。移行制御は提案制御を基本としており, 提案制御の最大相・最小相の出力期間に中間相を出力することで, 出力電圧の制御を行う。出力線間電圧波形の灰色の領域は, 移行制御では出力しない電圧を示している。図中の制御変数 α と β は提案制御と同様に式(1)(2)より求められる。 y_1 と y_2 は移行制御用の制御変数であり, 以下の条件より決定され, 式(3)(4)より求められる。

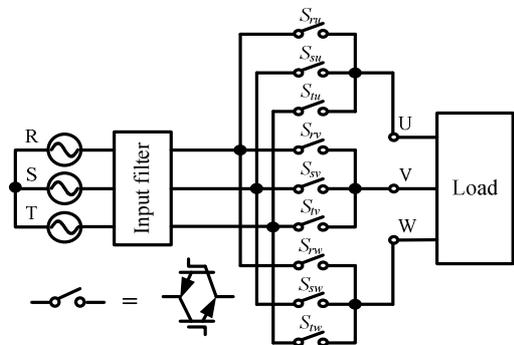


図 1 マトリクスコンバータ

Fig. 1. Matrix converter.

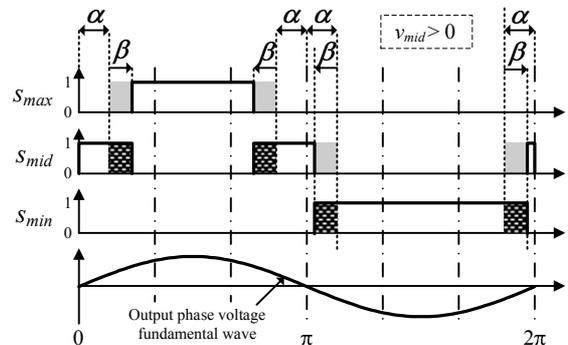


図 2 提案制御の PWM パターン

Fig. 2. PWM pattern of the proposed control.

- ③ 出力電圧の基本波成分を制御(出力電圧振幅制御)
- ④ 中間相の出力期間の増加に伴う入力電流の変化分を再調整(入力電流制御)

$$y_1 = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{3}{\pi} V_{in} - V_{out}^* \right) \left\{ (v_{max} - v_{mid}) - (v_{mid} - v_{min}) (v_{min}/v_{max}) \right\}^{-1} \quad (3)$$

$$y_2 = -y_1 \cdot v_{min}/v_{max} \quad (4)$$

3. 実験結果及び考察

図4に各実験結果を示す。入力電圧 3 相 200 V, 入力フィルタカットオフ周波数 1 kHz, ダンピング係数 0.2, 負荷条件 12.6 Ω, 1 mH(49%)とし, 入力と負荷の実験条件は全て共通である。(a)は移行制御期間中の動作波形であり, 出力周波数 987Hz, 出力電圧 180 V を出力した。(b)は非同期 PWM 制御から提案制御への切り替え部分の波形である。定格周波数 1432 Hz, 定格出力電圧 191 V とし, 0.5 p.u. から 1.0 p.u. に加速後, 0.5 p.u. に減速した入出力波形を表している。(c)は非同期 PWM 制御から移行制御への切り替え時の波形であり, (b)における区間 A の波形である。

(a)より, 図3の出力電圧と同等の波形が得られていることから, 移行制御の正常な動作が確認できる。出力電流は, 非同期 PWM 制御と比べて多くの高調波を含んでいるが, ほぼ正弦波状に制御されている。

(b)より, 非同期 PWM 制御, 移行制御, 提案制御のどの制御においても, 入力電流が正弦波に制御されており, 円滑な制御の切り替えが行われていることから移行制御の有効性が確認できる。なお, 非同期 PWM 制御から移行制御への切り替わり時に, 入出力の電流が若干増加している。この原因は, 移行制御にもなって徐々に基本波成分が増加するためであり, 入力電流の増加は, 出力の有効電力の増加に起因する。

(c)より, 制御の切り替わりにおける入力電流に急峻な変化が見られないことから, 良好な制御の切り替えが確認できる。また, 出力電流においても, 急峻な電流振幅の変化及び位相のずれなく制御できており, 移行制御の有効性が確認できる。

4. まとめ

本論文では, 非同期 PWM 制御から出力振幅の急変なしに提案制御へ切り替える移行制御を提案し, 実機実験により有効性を確認した。今後は提案制御及び移行制御の出力電流に現れる低周波ビート成分の理論解析と実験による検証を行っていく予定である。

文献

- (1) 玉井他: 電学論 D, Vol. 127, No. 8 pp. 858-856, 2007
- (2) 伊東他: 電気学会 D 部門大会, 1-46, 1 pp. 303-308, 2004
- (3) 真木他: 電気学会 D 部門大会, 1-35, 1 pp. 209-212, 2008
- (4) Itoh and Maki: ECCE 2009, P8-3 P2903, pp. 3049-3056

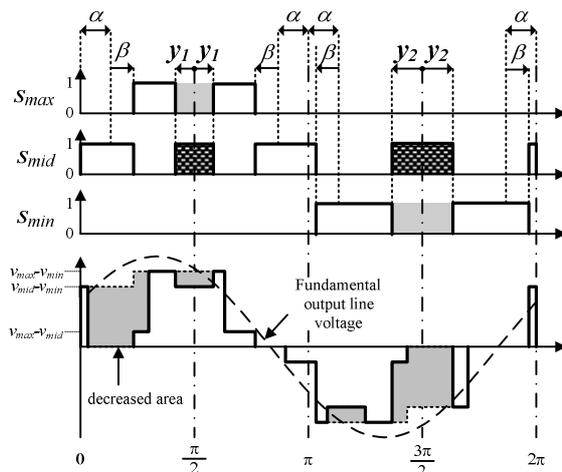
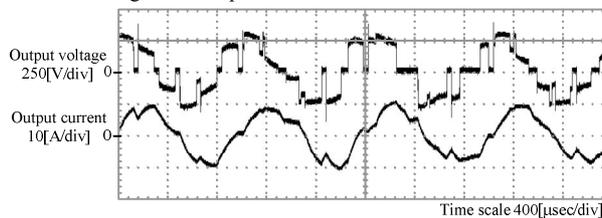
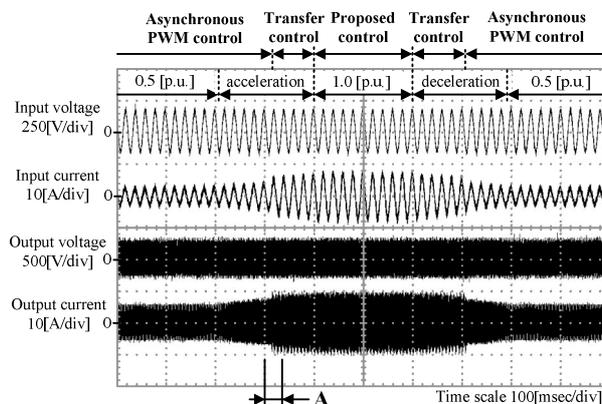


図3 移行制御の PWM パターン

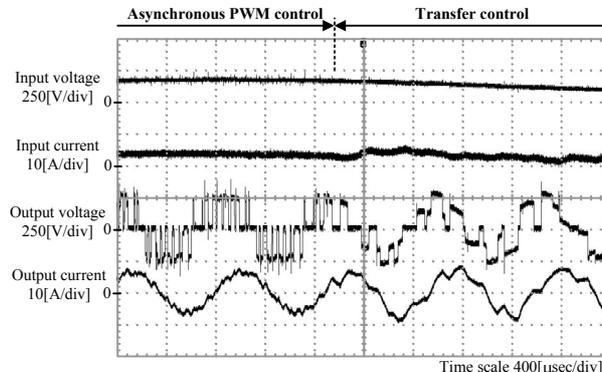
Fig. 3. PWM pattern of the transfer control.



(a) Operation waveforms with the transfer control.



(b) Operation waveforms from an asynchronous PWM control to the proposed control.



(c) Operation waveforms from an asynchronous PWM control to the proposed control.

図4 実験結果

Fig. 4. Experimental results.