

200 kHz, 5 kW 三相-单相マトリックスコンバータの 重負荷時出力電圧波形改善法

高山 裕次*, 野口 季彦 (静岡大学)

Improvement of Output Voltage Waveform in Heavy Load Range for 200-kHz, 5-kW Three-Phase to Single-Phase Matrix Converter
Yuji Takayama, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

筆者らはこれまでに 200 kHz 出力三相-单相マトリックスコンバータにおいて軽負荷時の制御法に関して検討し、シミュレーションで運転特性を確認してきた⁽¹⁾。しかし、重負荷時の運転特性に関しては検討していない。本稿では重負荷時における問題点を述べるとともに、それをスイッチングパターンの変更により改善し、シミュレーションにて評価したので報告する。

2. 制御原理

<2・1> 回路構成

図 1 に三相-单相マトリックスコンバータの主回路構成を示す。入力側は三相なので瞬時電力が一定であるが、出力側は単相であるため 2 倍の周波数で電力が脈動する。しかし、本稿で検討するように出力が 200 kHz と高周波である場合は、入力側の LC フィルタにより瞬時電力のインバランスを吸収することができる。

<2・2> 三相-单相マトリックスコンバータの制御

図 2 に制御ブロック図を示す。まず、入力部は LC フィルタによる共振を抑制するために微分補償を施した入力電流と電源電圧を三相-二相変換する。電源位相を算出し、回転座標変換した値と指令値との偏差を PI 制御器に入力し、その出力を再び三相量に戻して三角波キャリア比較を行うこれにより入力力率制御を実現する。そこで得られた信号と v_{cr} , v_{cs} , v_{ct} により三相-单相マトリックスコンバータのスイッチング信号を得る。出力部は 200 kHz の三角波キャリアから得た信号をもとに出力電圧の極性を切り換える。

<2・3> 提案するスイッチングパターン

図 3 に提案する出力部スイッチングパターンと出力電流波形を示す。デューティサイクル 50%, 200 kHz の極性信号を位相シフトすることにより、入力部の仮想電流形整流器から出力される直流バス電流が零のときに、負荷電流が出力部で還流するモードをつくる。従来法では極性信号のデューティサイクルを変更することでこの還流モードをつくっていたが、この場合、負荷電流の極性切り換わりにおいて電流経路がなくなり電圧サージが発生するという問題があった。そこで、提案法ではこの還流モード時に出力電流の極性切り換わりを割り当てることで電圧サージを回避する。また、この還流モードに割り当てる時間を短くすることで入力電流の総合歪率を改善することができる。

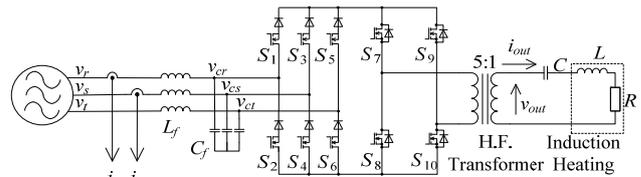


図 1 主回路構成

Fig. 1. Power circuit configuration.

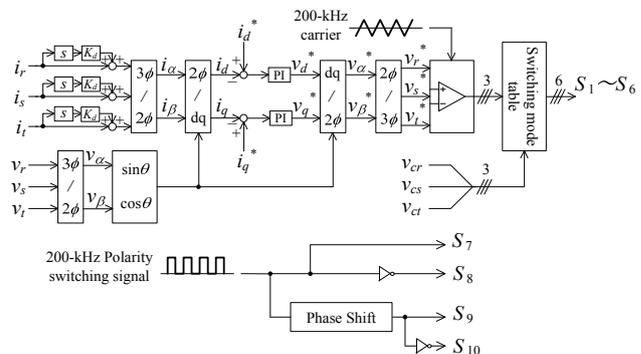


図 2 制御ブロック図

Fig. 2. Control block diagram.

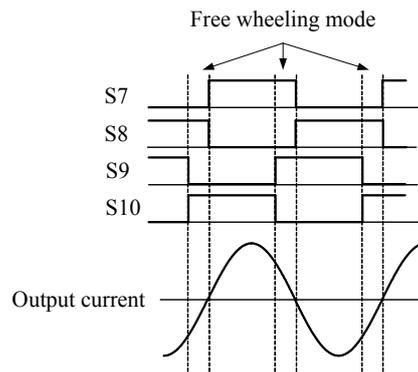


図 3 出力部スイッチングパターンと出力電流波形

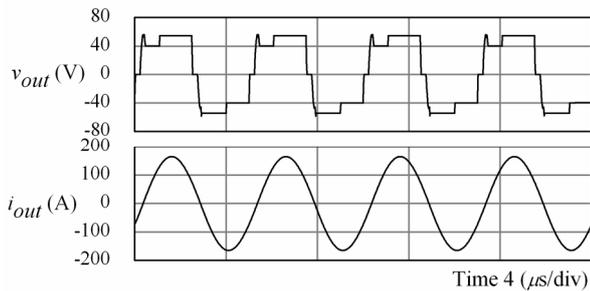
Fig. 3. Switching pattern of output pulse and output current waveform.

表 1 主回路の電気的パラメータ
Table 1. Electric parameters of power circuit.

Input Power Source	3 ϕ 200 V, 60 Hz
Input LC Filter	$L_f = 0.6$ mH, $C_f = 50$ μ F ($L_f = 0.028$ p.u., $C_f = 0.15$ p.u.)
Load	$R = 0.324$ Ω , $L = 7.19$ μ H
Output Resonant Capacitor	$C = 89.2$ nF
Output Frequency	200 kHz



(a) 出力電圧, 出力電流
(a) v_{out} , i_{out} .

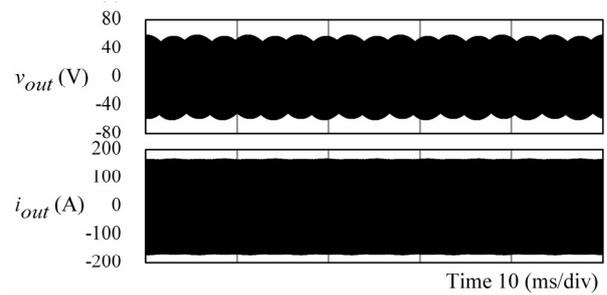


(b) 出力電圧, 出力電流の拡大波形
(b) Enlarged waveform v_{out} , i_{out} .

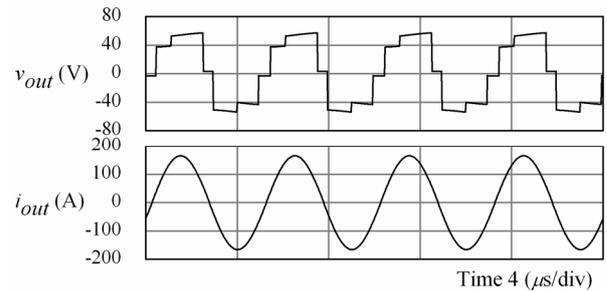
図 4 シミュレーション波形 (従来法)
Fig. 4. Simulation result (conventional switching pattern).

3. シミュレーションによる運転特性の検証

表 1 に示すパラメータを用いてシミュレーションを行った。図 4 に従来法、図 5 に提案法のスイッチングパターンを適用した重負荷 (5 kW 出力) 時の波形を示す。従来法では負荷電流極性の切り換わりにおいて電流経路がなくなり出力電圧にサージが発生する。この電圧サージは重負荷になるほど大きくなりスイッチング素子耐圧の点で看過できない。提案法では負荷電流の極性切り換わりにおいて出力部に還流モードを割り当てることでサージ電圧を回避し良好な波形となる。出力部の還流時間を 100 ~ 400 ns と変化させた場合の入力電流の総合歪率 (30 次まで) を比較したものを図 6 に示す。重負荷時 (5 kW) に近づくほど入力電流の総合歪率は悪化する。また、還流時間と出力部零電圧出力時間は等しいため、還流時間が長いほど零電圧出力時間が長くなり負荷の最大出力可能範囲が制限される。よって、還流時間を長くした場合に電流指令値を増加させると、指令値が三角波キャリアを逸脱して、制御不可能となり入力電流が歪む。以上から還流時間が長いほど入力電流の総合歪率は悪化し、還流時間が短いほど入力電流の総合歪率の悪化を防ぐことができる。負荷 5 kW において、従来法では出力電圧にサージが発生し、入力電流の総合歪率は 2.80 % であったのに対し、提案法はサージ電圧を回避するとともに総合歪率は 1.21 % に改善できた。



(a) 出力電圧, 出力電流
(a) v_{out} , i_{out} .



(b) 出力電圧, 出力電流の拡大波形
(b) Enlarged waveform v_{out} , i_{out} .

図 5 シミュレーション波形 (提案法)
Fig. 5. Simulation result (proposed switching pattern).

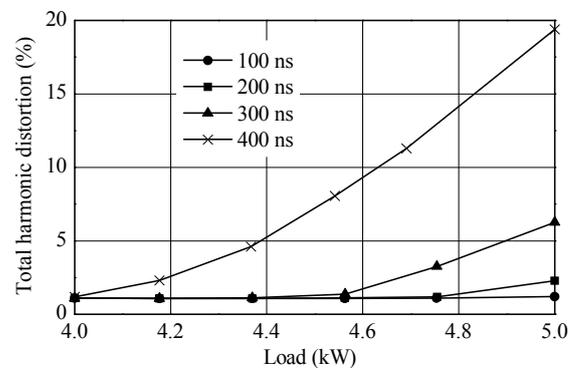


図 6 入力電流の総合歪率
Fig. 6. Total harmonic distortion of input current.

4. まとめ

本稿では 200 kHz, 5 kW 三相-単相マトリックスコンバータの重負荷時における運転特性について、従来法と提案法のスイッチングパターンを用いて運転特性を比較評価した。シミュレーション結果より、負荷電流の極性切り換わりにおいて還流モードを適用することで出力のサージ電圧を回避し、さらに還流時間を短くすることにより入力電流の総合歪率を改善できることを示した。

文 献

- (1) 高山・久保田・野口:「200 kHz 出力三相-単相マトリックスコンバータの入力電流波形改善に関する検討」電気学会産業応用部門大会, 1-170 (2011)