



なため、出力が低力率であっても前述のクランプ現象は発生しない。そのため、出力力率が低い場合でも、すべての期間において、ゼロ電圧でのスイッチングが可能であるという利点がある。

〈2・2〉 制御方式 PDM 制御は一定幅のパルスの密度および正負で波形を形成する。提案回路の入力は高周波の正弦波電圧であるため、この半周期を PDM 制御の 1 パルスとして扱うことで、PDM 制御を適用可能である。

図 2 に PDM 信号生成ブロック図<sup>(1)</sup>を示す。SVM による選択ベクトル信号を D フリップフロップ(D-FF)に入力し、入力電圧のゼロクロス検出信号を CLK とすることで、D-FF の出力 Q はゼロクロス検出信号のエッジに同期される。この同期された選択ベクトル信号はスイッチング信号生成器によりスイッチングパターンに変換される。また、入力電圧の極性により上下アームのスイッチング信号を入れ替える必要があり、入力電圧極性信号とスイッチング信号の否定排他的論理和(EXNOR)をとることで実現している。

これにより入力電圧の半周期を制御の最小単位とする PDM 制御が可能となり、スイッチの印加電圧がほぼゼロでスイッチングを実現できる。

### 3. 実験結果

図 3 に PDM 制御を適用した動作波形を示す。(a)の出力には 50Hz の正弦波電流と電圧が得られている。(b)に(a)における区間 A の拡大図を示す。(b)より、変換器は入力電圧のゼロクロス付近でスイッチングできていることがわかる。

図 4 に出力線間電圧の高調波解析結果を示す。図 4 より、出力電圧は出力周波数 50Hz に対して低次高調波をほとんど含んでいない。出力電圧のひずみ率(THD, 40 次まで)は 2.09%となった。また、SVM のキャリア周波数 5kHz と、入力電圧周波数 100kHz の 2 倍の周波数である 200kHz の整数倍高調波を多く含んでいる。

図 5 に高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータの効率特性を示す。結果より、直接形回路において最高効率点は 40W 負荷で 95.0%であり、低負荷ほど高効率である。これに対して、間接形回路では 85W 負荷で 96.2%であり、低負荷において効率が低下している。この違いは実際にはスイッチングのタイミングのずれにより、厳密にゼロ電圧スイッチングが達成されていないためと考えられる。特に、間接形ではスイッチング回数はキャリア周波数により決定されるが、直接形では、キャリア周波数だけでなく入力周波数によって決まる。今回の実験条件では、間接形に対して直接形では 40 倍程度のスイッチング回数となるため、直接形では厳密にスイッチングタイミングを調整することで、より高効率が得られることが明らかになった。

### 4. まとめ

本論文では、直接形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータに SVM を基にした PDM 制御を適用し、実験により基礎検証を行った。その結果、出力電圧 THD は 2.09%

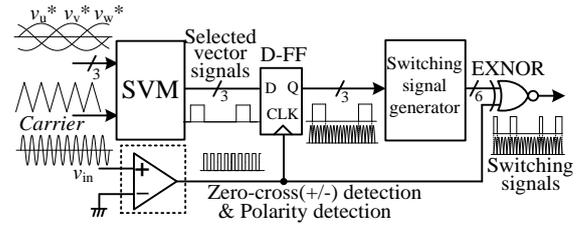


Fig. 2. Control block diagram of the PDM based on SVM.

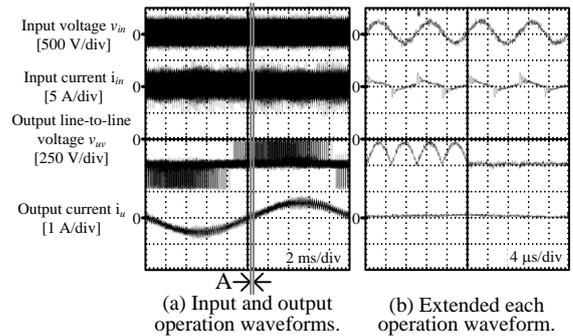


Fig. 3. Operation waveforms of the matrix converter.

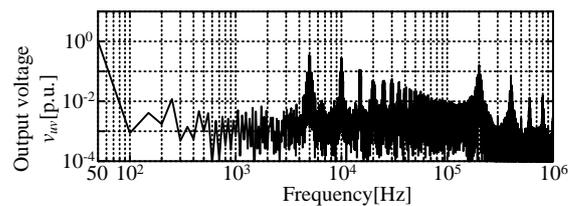


Fig. 4. Harmonics analysis of output voltage.

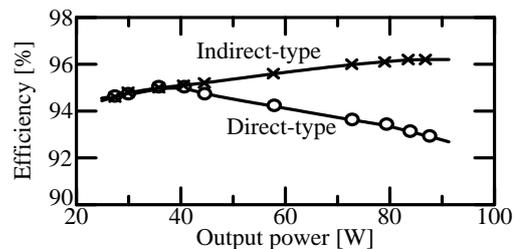


Fig. 5. Characteristics of the efficiency.

となり、最高効率が 95.0%であり、その動作を確認した。

## 文 献

- (1) Yuki Nakata and Jun-ichi Itoh : “PDM Control Method for a Matrix Converter Converting Several-Hundred-kHz Single-Phase Input to Commercial Frequency Three-Phase Output”, IEEJ Transactions on Industry Applications, Vol.134, No.1 pp.41-48 (2014) (in Japanese)  
中田祐樹・伊東淳一:「百 kHz 級単相-商用周波三相マトリックスコンバータの PDM 制御法」, 電学論 D, Vol.134, No.1 pp.41-48 (2013)
- (2) O.Machida, N.Kaneko, S.Iwakami, M.Yanagihara, H.Goto and A.Iwabuchi : “GaN bidirectional switch”, 2008 IEEJ Annual Meeting, Vol.4, No.1 p. 269 (2008) (in Japanese)  
町田 修・金子信男・岩上信一・柳原将貴・後藤博一・岩沼昭夫:「GaN 双方向スイッチ」, 平成 20 年電気学会全国大会, Vol. 4, p.269 (2008)