

空間ベクトル変調を基にした PDM 制御の高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータへの適用

◎中田 祐樹 伊東 淳一

長岡技術科学大学大学院工学研究科 エネルギー・環境工学専攻

{nakata@stn|itoh@vos}.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

近年、非接触電力伝送向けの高周波回路が盛んに研究されている⁽¹⁾。ここで、受電側コイルで受電した電力を商用系統に連系するシステムを想定すると、受電側コイルと系統の間には、入力が高周波、出力が商用周波数(50Hz または 60Hz)の低周波である交流-交流電力変換器が必要となる。

そこで著者らは、この交流-交流電力変換器としてパルス密度変調(PDM)制御を適用した高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータを提案しており、インダイレクト形回路において動作検証を行った⁽²⁾。提案方式は、PDM 制御を用いることでゼロ電圧でのスイッチングが可能となり、スイッチング損失低減が可能となる。

本論文では、PDM 制御法を適用したダイレクト形回路による試作機を制作し、提案する空間ベクトル変調を基にした PDM 制御の基本動作を確認したので報告する。

2. 回路構成と制御方式

(1) 回路構成

図 1 に今回検討を行った高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータの回路構成を示す。この回路は6個の双方向スイッチで構成されている。これは、入力電圧が交流であり、単方向スイッチでは入力電圧が負極性の時にはスイッチに逆電圧が加わり寄生ダイオードで電源短絡するのを防ぐためである。今回製作した試作機では、MOSFET を逆直列にすることで、双方向スイッチを実現している。

また、この回路は交流-交流直接変換器であり、直流リンクに電解コンデンサを持たず、従来の整流器-平滑キャパシタ-インバータシステムと比較して変換回数が2回から1回に減るため損失が小さくなる。

(2) 制御法

図 2 に単相-三相マトリックスコンバータに PDM 制御を適用する際のイメージ図を示す。PDM 制御は一定幅のパルスを出力の最小単位と

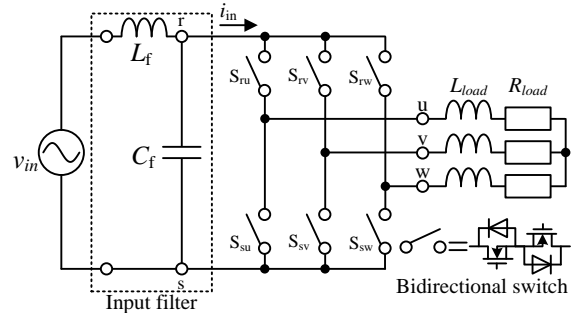


Fig. 1. Single-phase to three-phase matrix converter.

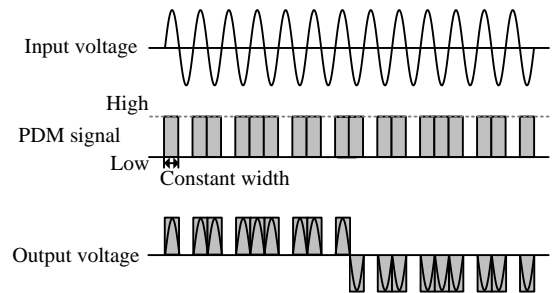


Fig. 2. PDM control waveform of proposed circuit.

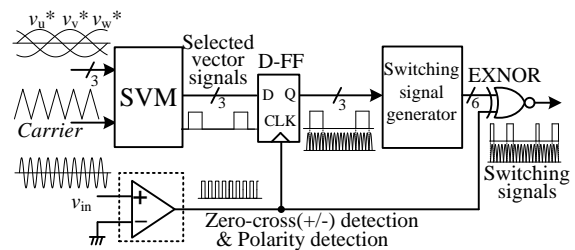


Fig. 3. Control block diagram based on SVM.

し、その密度および正負で波形を形成する制御法である。提案回路の入力に非接触給電の受電端が接続されるとすると、単相-三相マトリックスコンバータの入力は高周波の正弦波電圧であるため、この入力電圧の半周期を PDM 制御の 1 パルスとして扱い、スイッチングを行うことで PDM 制御

を適用することができる。

図3にPDM信号生成ブロックを示す。図3は空間ベクトル変調(SVM)を基に生成する⁽²⁾。SVMによる選択ベクトル信号とその各デューティにより各選択ベクトルの出力のタイミングが分かる。その信号を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D-FFのCLKに入力することで、D-FFの出力Qはゼロクロス検出信号のエッジで同期できる。このゼロクロス点に同期された選択ベクトル信号を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する。また、入力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るため、入力電圧極性信号とスイッチングパターンの否定排他的論理和をとることでそれを実現している。

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する。

3. 実験結果

本実験では、提案する制御法の基本動作を確認するため、無負荷試験を行った。表1に実験条件を示す。

図4に提案するPDM制御法を適用した動作波形を示す。(a)のフィルタ通過後の出力線間電圧より、出力には周波数50Hzの正弦波電圧が出力されている。ここでフィルタのカットオフ周波数は1kHzである。

(b)に(a)における区間Aの拡大図を示す。(b)より、インバータ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確認できる。

図5に出力線間電圧の高調波解析結果を示す。図5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)は40次までで1.88%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。

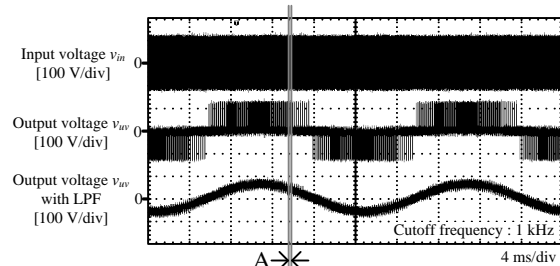
以上の結果より、入力の半周期を制御の最小単位とするPDM制御の動作が確認できる。

4. まとめ

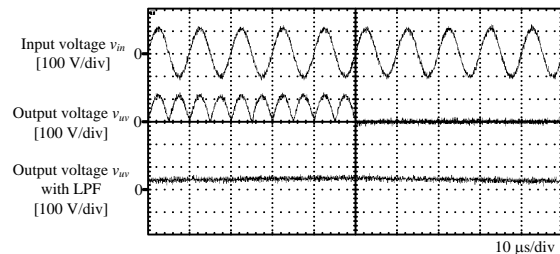
本論文では、入力を高周波、出力を低周波とする単相-三相マトリックスコンバータにSVMを基にしたPDM制御法を適用し、実験により基礎検証を行った。入力電圧を100kHzとして、PDM制御を適用することによって、出力には50Hzの正弦波電圧を得られており、入力電圧のゼロクロス

Table 1. Experimental conditions.

Input voltage	70.7V (100 V _{peak})
Input frequency	100kHz
Output line-line voltage	55V
Output frequency	50Hz
Carrier frequency of the SVM	5kHz



(a) Input and output operation waveforms.



(b) Extended each operation waveform.

Fig. 4. Operation waveforms of the proposed circuit.

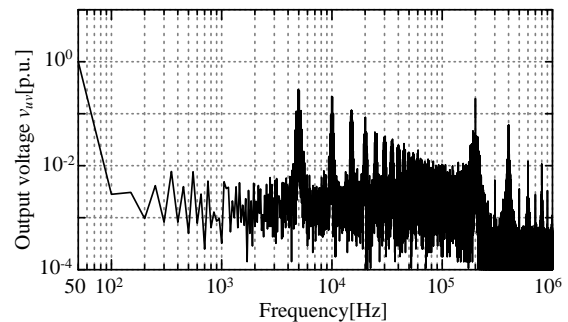


Fig. 5. Harmonics analysis of output voltage.

付近でのスイッチングを確認した。高調波解析では、出力電圧THDは1.88%となった。

今後、負荷を接続して実験を行う予定である。

文 献

- (1) 黒田忠広:「ワイヤレス給電」, 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.11 pp.964-968 (2010)
- (2) Yuki Nakata and Jun-ichi Itoh: "Pulse Density Modulation Control using Space Vector Modulation for a Single-phase to Three-phase Indirect Matrix Converter", IEEE ECCE 2012, pp. 1753-1759 (2012)