論文誌テンプレート^{消さないでください} Ver. 2011. 02. 22

研	究	開	発
レ	タ		—

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

学生員 中田 祐樹* 正員 伊東 淳一*a)

A Direct-type Single-phase to Three-phase Matrix Converter with PDM based on SVM

Yuki Nakata*, Student Member, Jun-ichi Itoh*a), Member

(20XX 年●月●日受付, 20XX 年●月●日再受付)

This paper presents a direct-type single-phase to three-phase matrix converter with a pulse density modulation (PDM) control method for high-frequency applications. The input frequency of the proposed converter is several hundred kilohertz, and the output frequency is a commercial frequency. The proposed converter reduces the switching loss by zero voltage switching from the PDM control. In this study, the PDM based on space vector modulation (SVM) is applied to a direct-type matrix converter. From the experimental results, the total harmonic distortion in the output voltage is 2.09%, and the maximum efficiency is 95.0%.

キーワード: PDM 制御, ゼロ電圧スイッチング, 空間ベクトル変調, 非接触給電 Keywords: PDM control, zero voltage switching, space vector modulation, wireless power transfer

1. はじめに

非接触給電の受電側回路や絶縁型 DC-AC コンバータの二 次側回路は、出力を系統と連系するシステムを想定すると、 入力が 100kHz 以上の高周波、出力が商用周波数(50Hz また は 60Hz)の低周波である交流-交流電力変換器となる。

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、間接形回路において動作検 証を行った⁽¹⁾。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行えるため、スイッチング損失の 低減が可能である。しかし、間接形はモータなどの低力率 の負荷では直流中間部の電流の逆流により出力電圧にクラ ンプ現象が発生し、波形が大きくひずむ問題がある。

そこで、本論文では、低力率負荷でもクランプ現象が生 じない直接形回路構成について検討を行う。また、直接形 回路は将来的に GaN による逆阻止デバイス⁽²⁾を用いて、よ り高効率化できる可能性がある。ここでは PDM 制御を適用 した直接形回路の試作機を製作し、その動作を確認したの で報告する。

a) Correspondence to: Jun-ichi Itoh. E-mail: itoh@vos.nagaokaut.ac.jp * 長岡技術科学大学 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 Nagaoka University of Technology 1603-1, Kamitomioka-machi,Nagaoka, Niigata, Japan 940-2188

回路構成と制御方式

〈2・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。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。この回路は交流-交流直接形 変換器であり,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減るため損失が小さくなる。

また,文献(1)のダイオード整流器-インバータの間接形回 路では、出力が低力率の場合に直流中間部の電流が逆流し、 回生動作ができないため、出力電圧が直流部のスナバキャ パシタ電圧にクランプされる現象が発生する。これにより、 ゼロ電圧でのスイッチングができない期間が発生する。

一方、本論文で用いる直接形回路では、回生動作が可能



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

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⁽¹⁾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. 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 bidirecitonal 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・岩渕昭夫:「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)