

PDM 制御法を用いた高周波単相/三相マトリックスコンバータの基礎解析

◎中田 祐樹 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年、電磁界共鳴を用いた非接触での電力伝送など高周波の回路が盛んに研究されている⁽¹⁾。このとき変換器の入力は 100kHz 以上の高周波、出力は商用系統を想定する低周波であり、パルス密度変調 (Pulse Density Modulation, PDM) 制御⁽²⁾を適用できる。

そこで本論文では、PDM 制御を適用した高周波電源用単相/三相マトリックスコンバータ (以下、MC) を提案する。提案回路では、PDM 制御を用いることでゼロ電圧スイッチング (ZVS) が可能な利点がある。シミュレーションによりその動作を確認したので報告する。

2. PDM 制御法

図 1 に単相/三相 MC を示す。単相/三相 MC の入力が高周波であるため、PDM 制御を適用することができる。PDM 制御では一定周期のパルスの密度および正負で波形を形成する。

今回、非接触給電の受信端を模擬して、単相/三相 MC の入力は高周波の正弦波電圧源とする。この入力電圧の半周期を制御の最小単位 (パルス) として扱い、スイッチングを行うことで PDM 制御を実現する。

また、入力が正弦波であるため半周期毎にゼロクロス点が現れる。このゼロ電圧入力時にスイッチングを行うことで ZVS が可能となる。ZVS によりスイッチング損失をほぼゼロにでき、素子での損失を大幅に低減できる。

図 2 に制御ブロック図を示す。スイッチングに用いる PDM 信号は各相の指令値を $\Delta\Sigma$ 変換することで得られる。入力が単相交流であるため、入力電圧の正負を判別し、負の場合は、上下アームのスイッチング信号を入れ替えることで、出力に PDM 波形を得る。

3. シミュレーションによる動作確認

シミュレーションにおいて図 1 の単相/三相 MC の入力の高周波電圧源は 200V, 100kHz の正弦波電圧源としている。また、出力電圧は 100V, 50Hz とし、負荷は $L_{load}=5mH$, $R_{load}=20\Omega$ とした。

図 3 にシミュレーション波形を示す。図 3(a) は出力の各線間電圧とそのローパスフィルタ (LPF) 通過後の波形および入力電流波形、(b) は (a) で示す区間 A の入力電流の拡大波形とその時の入出力電圧および S_1 のスイッチング信号である。(a) より出力に 100V, 50Hz の三相交流電圧が得られていることが確認できる。また (b) では、入力電圧の半周期毎に ZVS が達成されていることが確認できる。一方、入力電流波形は矩形波になっている。しかし、高周波なので、伝送線路のインダクタンスとフィルタコンデンサにより入力側高調波は十分低減できることが予想される。

図 4 に出力電圧と入力電流の高調波解析の結果を示

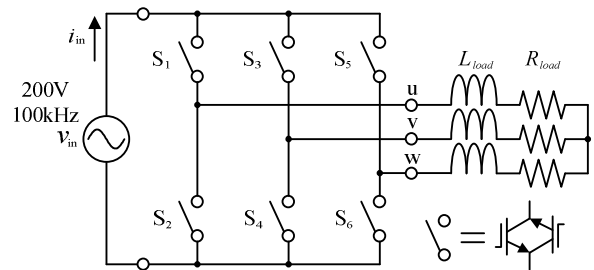


Fig. 1. Single-phase to three-phase MC.

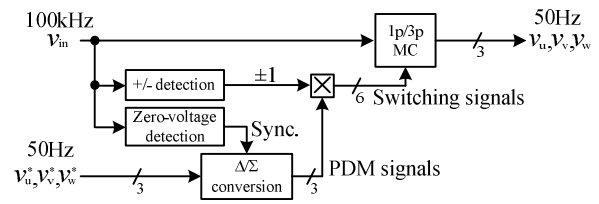
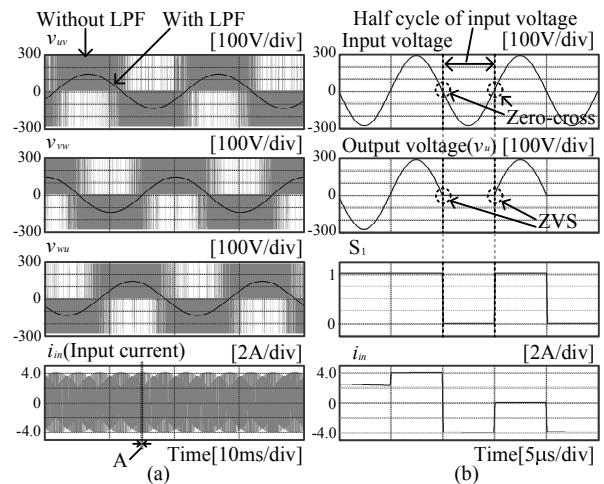


Fig. 2. Control block diagram.



(a) Waveforms of output voltages and input current.
(b) Extended each operation waveform.

Fig. 3. Operation waveforms of the proposed circuit.

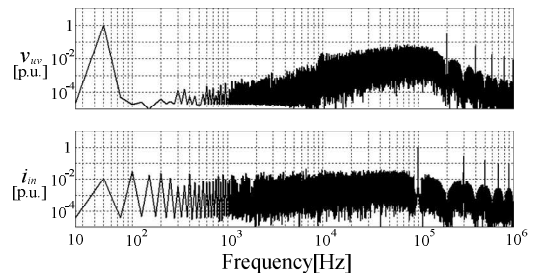


Fig. 4. Harmonics analysis of output voltage and input current.

す。出力電圧は出力周波数 50Hz に対して低次高調波 40 次以下をほとんど含んでいない。しかし、入力電流は入力周波数 100kHz の整数倍高調波を含む。また、総合ひずみ率は、出力電圧は 40 次までで 1% 以下、入力電流は 10 次までで 36.9% であることを確認した。

文 献

- (1) 居村・堀：電学誌, Vol.129, No.7, pp.414-417(2009)
- (2) 馮・小西・中岡：電学論, Vol.120-D, No.10, pp.1239-1240(2000)