

インダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータの波形改善

◎中田 祐樹, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 非接触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) 制御が適用できる。

これまで著者らは, 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)を提案している⁽²⁾. 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。しかし, Δ - Σ 変換を用いた PDM 信号生成法を適用した場合, 出力波形に逆電圧のパルスと波形のクランプ現象が発生する。

そこで本論文では, 出力波形の改善手法として空間ベクトル変調(SVM)を基にした PDM 信号生成法を提案する。また, シミュレーションを行い, 波形改善を確認したので報告する。

2. 動作原理と波形改善

図 1 にインダイレクト形単相-三相 MC を示す。これは, 整流器とインバータから構成される。本論文では, 非接触給電の受電端を模擬して, 入力が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 制御を適用できる。PDM 制御では一定幅のパルスの密度およびその正負で波形を形成する。また, 入力半周期毎に現れるゼロクロス点で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る。

図 2 に Δ - Σ 変換を用いた PDM 信号生成ブロックを示す。スイッチングに用いる PDM 信号は各相の指令値を Δ - Σ 変換することで得られる。また, 入力電圧のゼロクロス点と同期させることで ZVS を実現する。しかし, この手法は図 1 のインダイレクト形の回路構成において, 出力電圧波形が一定電圧にクランプされる。その結果, ZVS できず, スイッチング損失が増加する。この改善法として, SVM を基にした PDM 信号生成法を提案する。

図 3 に SVM を基にした PDM 信号生成ブロックを示す。SVM による選択ベクトル信号を D-FF に入力し, 入力電圧のゼロクロス検出信号を CLK に入力することで, 出力 Q はゼロクロス検出信号のエッジで同期する。この信号からスイッチング信号を生成することにより ZVS を実現する。

3. シミュレーション結果

図 4 に Δ - Σ 変換を使用した PDM 信号生成法を適用したシミュレーション結果を示す。図 4(a) は入出力の電圧と電流である。図 4(b) は同図(a)の区間 A を拡大したものである。(a)より, 出力電流は正弦波となっていることがわかる。しかし, 出力電圧には逆電圧のパルスが存在しており, 波形ひずみに影響を与える。(b)より, 入力電圧のゼロクロス点でのスイッチングを確認できる。しかし, 出力電圧が一定電圧にクランプされている期間がある。この期間では ZVS できないため, スイッチング損失が増加する。

図 5 に SVM を基にした PDM 信号生成法を適用したシミュレーション結果を示す。図 5(a) は入出力電圧および電流である。図 5(b) は同図(a)の区間 B を拡大したものである。(a)より, Δ - Σ 変換を用いた方式と同様に, 出力電流は正弦波である。また, 出力電圧には Δ - Σ 変換を用いた方式で発生していた逆電圧のパルスが発生していない。(b)より, 入力電圧のゼロクロス点でスイッチングされており, スイッチング損失をほぼゼロにできる。また, Δ - Σ 変換を用いた方式で発生していた出力電圧波形のクランプ現象は発生せず, 波形の改善を確認できる。

以上より, 提案手法の有効性が確認できる。

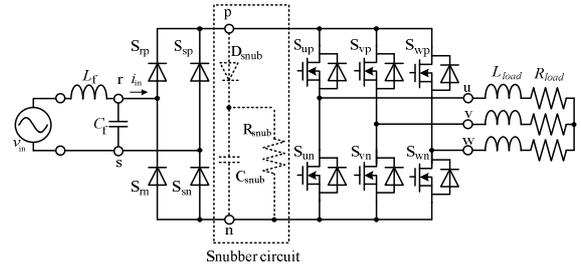


Fig. 1. Indirect single-phase to three-phase MC.

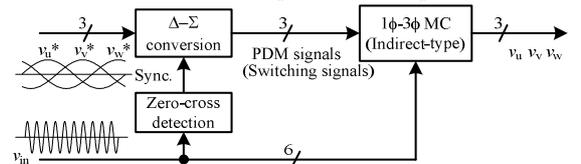


Fig. 2. Control block diagram using Δ - Σ conversion.

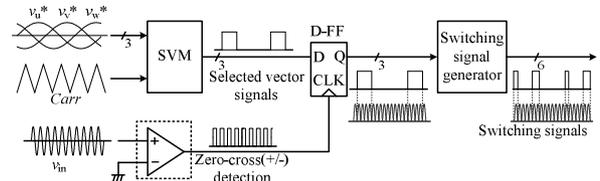


Fig. 3. PDM signals generation block diagram based on SVM.

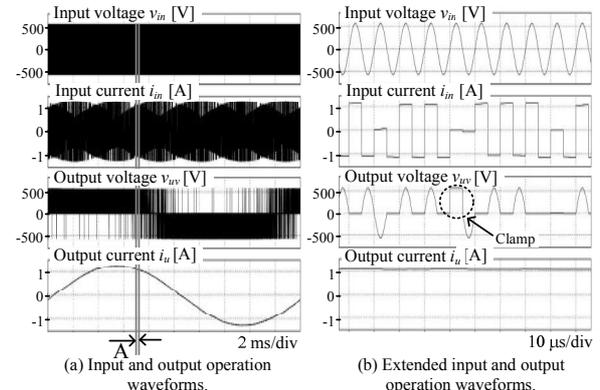


Fig. 4. Operation waveforms of the PDM using Δ - Σ conversion.

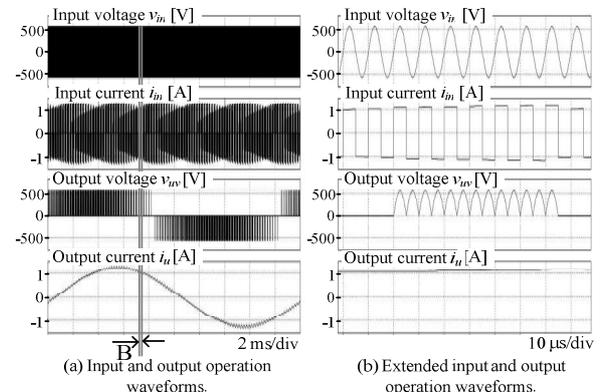


Fig. 5. Operation waveforms of the PDM based on SVM.

参考文献

- 黒田: 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.11 pp.964-968 (2010)
- 中田, 伊東: 東京支部新潟支所大会, IV-07 p.114 (2010)