

# マトリックスコンバータとインバータの時分割制御におけるデッドタイム電圧誤差補償法

田村 浩志\*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

A Deadtime Voltage Error Compensation for a Time Division Control between a Matrix Converter and an Inverter.  
Hiroshi Tamura, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

近年、ハイブリッド自動車、新エネルギー発電の需要が高まっており、小型で高効率に直流電源と交流電源を連系できる電力変換システムが要求されている。

著者らは、マトリックスコンバータ (以下、MC)、ダイオード整流器、電圧形インバータ (以下、VSI) を用いて各電源と負荷間の電力変換を 1 回に削減できるデルタ形連系システムを提案した<sup>(1)</sup>。さらに、横流抑制用リアクトルを用いずに、連系システムの出力電圧と MC および VSI の出力電力比を制御する時分割制御法を提案した。しかし、時分割比が一方の変換器に偏ると過変調になり、提案システムの出力電圧範囲を縮小させる問題があった<sup>(2)</sup>。

本論文では、提案システムの出力電圧範囲を拡大することを目的として、出力電圧誤差補償法を提案する。各変換器で発生するデッドタイムに伴う電圧誤差を、時分割比に応じて各変換器の電圧指令へ分配する。実験により、所望の動作を確認したので報告する。

## 2. 提案システム

図 1 に、提案システムの構成を示す。提案システムは、MC の入力側にダイオード整流器、出力側に VSI を並列接続し、発電機、バッテリー、モータの 3 要素を連系する。各要素間の電力授受は、1 回の電力変換のみで行えるため、高効率である。また、バッテリーと VSI が MC のスナバ回路として動作するため、電解コンデンサを不要にできる。さらに、MC と VSI の動作時間を分割することで、横流抑制用リアクトルが不要となり、小型化できる。

ただし、発電機とバッテリーの電源短絡を防止するため、MC と VSI のスイッチを同時オンしてはならない。また、横流を抑制するために、バッテリー電圧  $E_{dc}$  は発電機の線間電圧  $E_g$  の最大値  $E_{g,max}$  より高くなければならない。

## 3. 各変換器のデッドタイム電圧誤差補償

### < 3・1 > 時分割制御で発生する電圧誤差

図 2 に、各変換器の時分割比と動作信号の関係を示す。MC から VSI への動作切り換え時には、電源短絡を防止するためデッドタイムを設ける。したがって、時分割制御で発生する電圧誤差の要因は、(1)各変換器の素子で発生する電圧降下、(2)MC の転流時に発生する誤差、(3)VSI の上下アーム短絡防止用のデッドタイムにより発生する誤差、(4)MC から VSI への動作切り換え時のデッドタイムにより

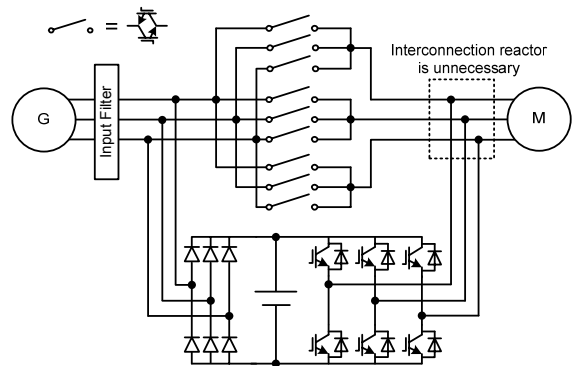


図 1 提案システムの構成  
Fig.1 A configuration of the proposed system

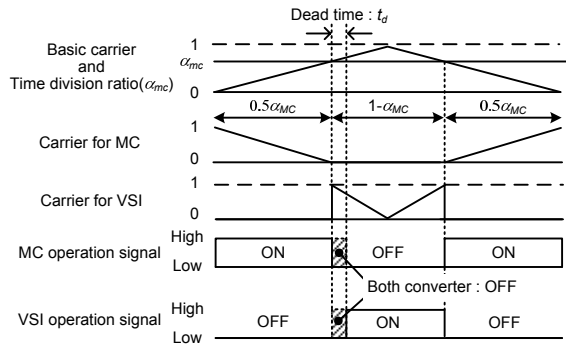


図 2 時分割比と動作信号の関係  
Fig.2 Relation between a time division ratio and operation signals

発生する誤差、に分類できる。本論文では、(2)、(3)、(4)により発生する電圧誤差を主に補償する。

### < 3・2 > MC 動作時に発生する電圧誤差

MC の制御法は、大中小並び替え方式および電圧転流方式を採用している<sup>(3)</sup>。MC の入力電圧最大相  $v_{max}$ 、最小相  $v_{min}$ 、転流時間  $t_d$ 、基本キャリア周波数  $f_c$ 、負荷電流  $i_{load}$  と定義すれば、MC の転流に伴う電圧誤差  $\Delta v_{mc}$  は、(1)式で表せる。

$$\Delta v_{mc} = -(v_{max} - v_{min}) t_d f_c \text{sign}(i_{load}) \quad (1)$$

ただし、 $\text{sign}(x)$  は符号関数であり、 $x > 0$  で 1、 $x = 0$  で 0、 $x < 0$  で -1 である。

### < 3・3 > VSI 動作時に発生する電圧誤差

VSI 動作では、動作切り換え時に設けたデッドタイムと上下アーム短絡防止用のデッドタイムにより電圧誤差が生じる。デッドタイム  $t_d$ 、バッテリー電圧  $e_{dc}$  と定義すれば、VSI

動作時に発生する電圧誤差 $\Delta v_{vsi}$ は、(2)式で表せる。

$$\begin{aligned} \Delta v_{vsi} &= -e_{dc} t_d f_c \quad (i_{load} > 0) \\ \Delta v_{vsi} &= 2e_{dc} t_d f_c \quad (i_{load} < 0) \end{aligned} \quad (2)$$

### < 3・4 > MC と VSI の電圧誤差補償

各変換器で補償する電圧誤差量は、各変換器の時分割比に応じて分配する。連系システムの実出力電圧 $V_{sys}$ は、MC の出力電圧 $V_{mc}$ とVSIの出力電圧 $V_{vsi}$ の平均値の和となり、(3)式で表せる。したがって、(4)式に示すように、MC動作とVSI動作で発生する電圧誤差の総和を打ち消すように、各変換器の出力電圧指令を生成すればよい。

$$V_{sys} = \alpha_{mc} V_{mc} + (1 - \alpha_{mc}) V_{vsi} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} v_{mc}^{**} &= v_{mc}^* - (\Delta v_{mc} + \Delta v_{vsi}) \\ v_{vsi}^{**} &= v_{vsi}^* - (\Delta v_{mc} + \Delta v_{vsi}) \end{aligned} \quad (4)$$

### < 3・5 > 提案システムの実出力電圧範囲

図3に、提案システムの実出力電圧範囲を示す。提案システムのバッテリー電圧 $E_{dc}$ は、発電機の線間電圧最大値 $E_{g\_max}$ より高い。したがって、提案システムの実最大出力電圧 $V_{sys\_max}$ は、バッテリー電圧とVSI単体動作時の上下アーム短絡防止のデッドタイムによる電圧誤差で決定され、(5)式で表せる。

$$V_{sys\_max} = \frac{E_{dc}}{\sqrt{2}} - E_{dc} t_d f_c \quad (5)$$

## 4. 実験結果

三相交流電圧200V、50Hz、直流電圧300V、出力電圧指令100V、100Hz、RL負荷( $R=12\Omega$ ,  $L=5mH$ )、基本キャリア周波数10kHz、入力フィルタのカットオフ周波数1.4kHzの条件下で実験を行った。

図4に、出力電力比指令 $P_{mc}^*=0.5$ 時の実験波形を示す。なお、出力電圧は、ローパスフィルタ(カットオフ1kHz)を設けて観測している。各波形は、跳躍など発生せず正弦波に制御できている。

図5に、出力電力比と出力電圧の関係を示す。誤差補償適用後の出力電圧の平均誤差率は、6.1%であり、適用前の28.9%と比較し、約1/5に改善できた。

図6に、出力電力の理想値と実測値の比較を示す。誤差補償適用後の各出力電力は、理想値とほぼ一致する。しかし、出力電力比指令 $P_{mc}^*$ が0.1および0.9では、デッドタイムより短いスイッチングパルスが増加するため、出力電力は低下する。

## 5. まとめ

本論文では、各変換器の時分割比に応じて、デッドタイム電圧誤差補償量を分配する制御法を提案した。提案手法により、連系システムの実出力電圧範囲を拡大できる。実験により、出力電圧の平均誤差率を1/5に改善し、提案手法の有用性を確認した。本研究は、平成17年度産業技術研究助成事業の支援を受けており、関係各位に感謝の意を表す。

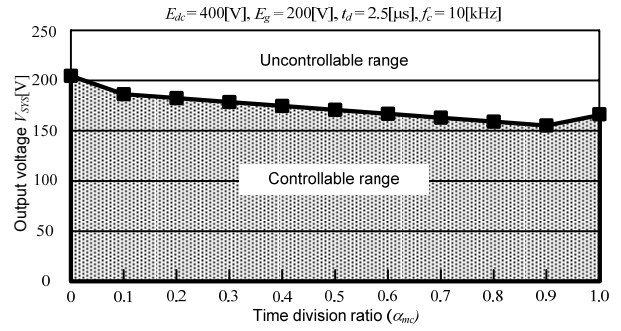


図3 提案システムの実出力電圧範囲  
Fig.3 An output voltage range of the proposed system

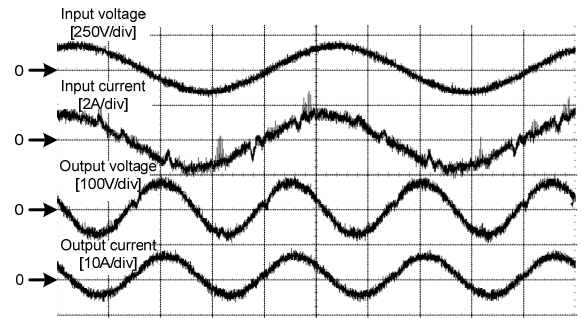


図4 入出力波形  
Fig.4 Input and output waveforms

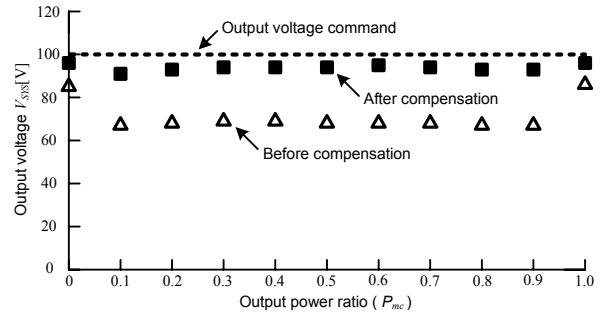


図5 出力電力比と出力電圧の関係  
Fig.5 Relation between an output power ratio and an output voltage

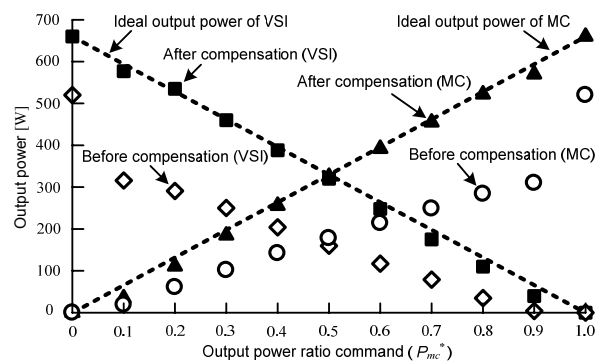


図6 出力電力の理想値と実測値の比較  
Fig.6 Comparison between an ideal output power and a measured one

## 文献

- (1) 田村, 伊東: JIAS, I-201, 2008
- (2) 田村, 伊東: 電気関係学会関西支部連合大会, P-10, 2008
- (3) 加藤, 伊東: IEEJ Trans. IA, Vol.127, No.8, 2007
- (4) 後藤, 小笠原, 船渡: SPC-06-101, 2006