

インダイレクトマトリックスコンバータを用いた マルチ電源連系システムの空間ベクトル制御法

加藤 康司*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

A Space Vector Control Method for Multi Power Supply Interface System Using Indirect Matrix Converter

Koji Kato, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

新エネルギーやハイブリッドEV用の電力変換器の小型、長寿命、高効率化のため、著者らは、電解コンデンサレスのインダイレクトマトリックスコンバータ⁽¹⁾(以下 IMC)を応用したシステムとキャリア比較方式に基づく簡単な制御法を提案し、その有用性を実験により示した⁽²⁾。提案法は、整流器のスイッチングをインバータのゼロ電圧ベクトル期間に同期させることで、整流器をゼロ電流スイッチング(以下 ZCS)するため高効率であるが、変調率が高くなると ZCS に必要なゼロ電圧ベクトルが不足し、ZCS ができなくなり、それに起因して入出力波形がひずむ。

本論文では、提案システムの入出力波形改善を行うため、ゼロ電圧ベクトルを任意に配置可能な空間ベクトル制御方式を用いた制御法を提案し、シミュレーションにより基本的な動作を確認する。加えて、ZCS 可能な制御範囲を検討し、安定に制御できる範囲を明らかにしたので報告する。

2. 従来制御方式の問題点及び提案制御方法

図 1 に提案回路構成を示す。提案回路は、IMC のスナバ回路にスイッチを設け、DC/DC コンバータとして動作する。この場合、DC/DC コンバータはスナバ回路と共通になるため、直流電源の電圧は入力線間電圧のピーク値以上である。

図 2 に提案回路の動作原理を示す。提案回路は 1 制御周期中に IMC 動作とインバータ動作を交互に繰り返す。直流リンクの 1 制御周期 T_s 中の平均電圧 E_{dc} は IMC の整流器側のデューティを D_{rec}^{**} とし、DC/DC コンバータのデューティを D_b^* とすると、(1)式のように表せる。

$$E_{dc} = D_{rec}^{**} v_{in} + D_b^* v_b \quad (1)$$

出力電圧は、(1)式に示す直流電圧をスイッチングして得るため、理想的には(1)式の範囲で出力電圧を制御できる。しかし、インバータの変調率を高くすると、整流器の転流に必要なゼロ電圧ベクトル期間が不足し、ZCS ができなくなる。すなわち ZCS を実現するには変調率に制限がある。

図 3 に従来制御方式の実験結果を示す。整流器側の ZCS に必要なゼロベクトル期間が不足することに起因して、図中の○印に示すように波形ひずみが発生し、また直流電流が脈動している。そこで、提案回路のインバータ側に空間ベクトル制御方式を用いる。キャリア比較方式に比べ、空

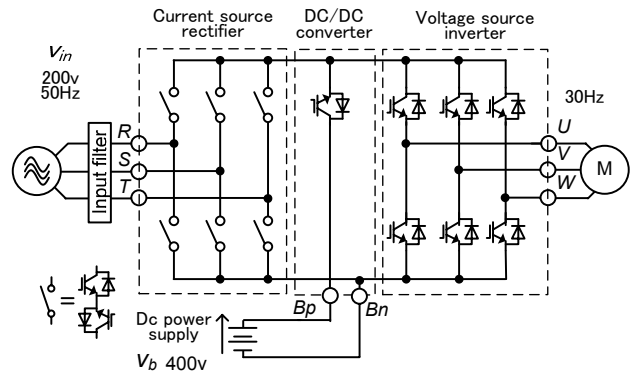


図 1 提案回路

Fig. 1. Proposed circuit.

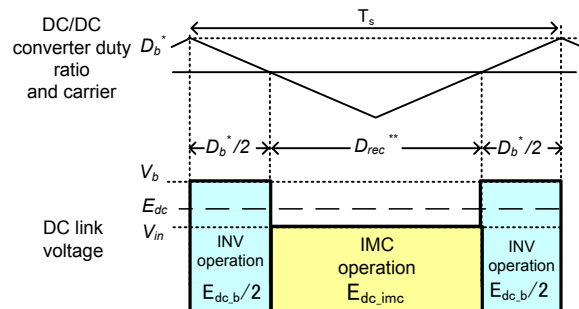


図 2 提案回路の動作原理

Fig. 2. Principle of proposed converter.

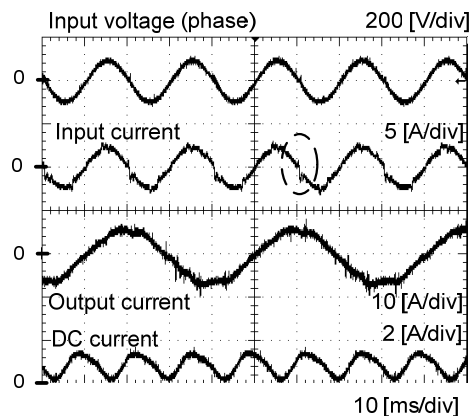


図 3 従来制御法の実験結果 ($D_b:0.3$, 変調率:0.5)

Fig. 3. Experimental result of conventional method. ($D_b:0.3$, modulation index:0.5)

間ベクトル制御方式は、ゼロ電圧ベクトルを直接制御でき、また1キャリア中にゼロベクトルを任意に配置できるため、整流器の転流時間を確保することが比較的容易であり、整流器の転流失敗による波形ひずみが低減できる。以下にZCS可能な制御範囲について検討する。

図4に整流器側とインバータのスイッチングモードを示す。整流器でZCSを行うために必要となるゼロベクトルの時間は(2), (3)式で表される。

$$\frac{T_{0rec}}{2} > \frac{T_d}{T_s(1-D_b^*)/2} \quad (2), \quad \frac{T_{0b}}{2} > \frac{T_d}{T_s D_b^*/2} \quad (3)$$

(2), (3)式の条件を満たすように、インバータの変調率 λ を求めると(4), (5)式となる。ここで、 λ_{inv} はインバータ動作時、 λ_{imc} はIMC動作時の変調率である。

$$\lambda_{inv} \leq 1 - \frac{2T_d}{T_s D_b^*} \quad (4), \quad \lambda_{imc} \leq 1 - \frac{2T_d}{T_s(1-D_b^*)} \quad (5)$$

図5に提案回路の出力電圧範囲を示す。図中の実線部は理想状態の出力電圧範囲であり、斜線部に提案回路のZCS範囲である。(4), (5)式より出力電圧は(6)式で表される。この範囲において提案回路は安定にZCS動作が可能である。

$$v_{out} = \lambda_{inv} D_b^* \frac{E_{dc_b}}{2} + \lambda_{imc} (1-D_b^*) \frac{E_{dc_inc}}{2} \quad (6)$$

従来法は、キャリア比較方式を用いているためゼロベクトルを任意に配置できない。その結果、ZCSに使用できるゼロベクトル期間は2/3になる。一方、提案法はゼロベクトル期間を100%転流に使用できるため、より有用である。

3. シミュレーション結果

図6に提案回路の動作波形を示す。シミュレーション条件として、DC/DCコンバータデューティ $D_b^* : 0.33$ 、インバータ動作時の変調率 $\lambda_{inv} : 0.4$ 、IMC動作時の変調率 $\lambda_{imc} : 0.6$ 、また理想条件とするため負荷は電流源を用いる。

入力率ほぼ1、交流入出力電流は正弦波状の良好な電流、直流出力が得られている。このときの電流ひずみ率はそれぞれ1%以下であり、提案制御法の良好な結果が確認できる。このときの直流リンク電圧は295[V]であり、(1)式のとおり理論値と良く一致している。また出力電圧は125[V]であり、(6)式のとおり制御できる。以上の結果より、提案する制御方式の基本的な動作を確認できた。

4. まとめ

本論文では、提案システムの波形改善を行うため、ゼロ電圧ベクトルを任意に配置可能な空間ベクトル制御法を用いた制御法を提案した。またZCS可能な範囲の検討と制御範囲の明確化を行い、シミュレーションにより提案法の基本的な動作を確認した。今後は実機により提案法の有用性を確認する。なお、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します。

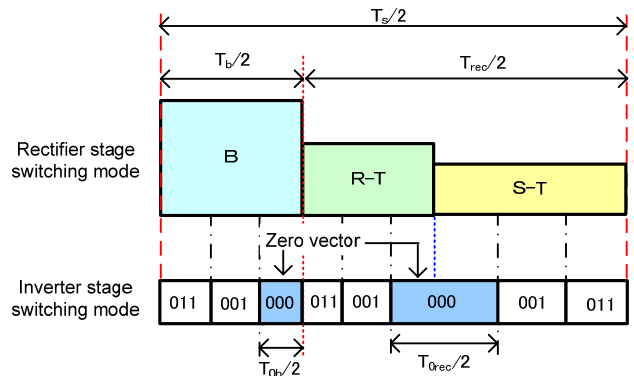


図4 インバータ側と整流器側のスイッチングモード
Fig. 4. Switching mode for inverter and rectifier stage.

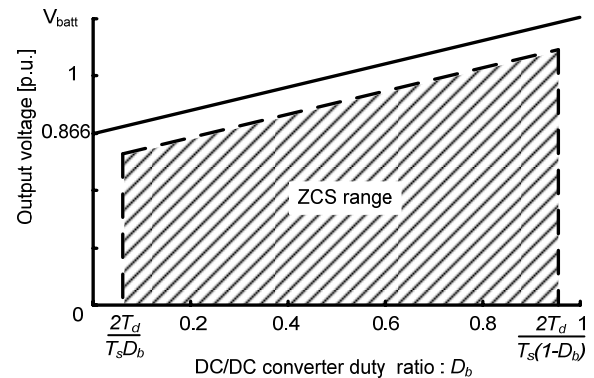


図5 提案回路のZCS範囲
Fig. 5. ZCS range of proposed circuit.

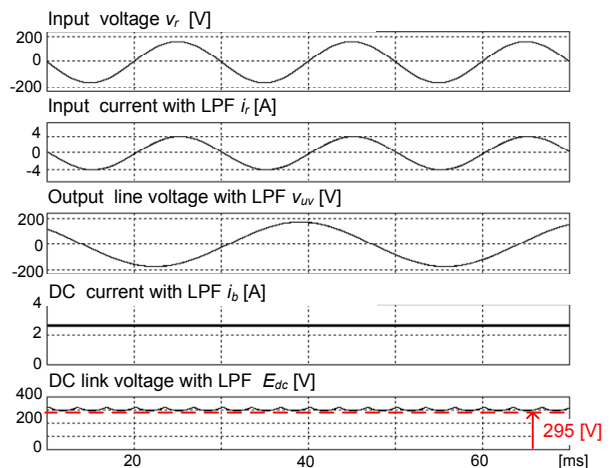


図6 提案法のシミュレーション結果
Fig. 6. Simulation result of proposed method.

文献

- (1) 室屋・飯盛他：電学論D, 122巻6号, P624, 2002
- (2) 加藤, 伊東：SPC08-11