

# 昇降圧形マトリックスコンバータに適用する ダンピング制御の一提案法

小岩 一広\*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Damping Control of Matrix Converter with Boost-up Chopper

Kazuhiro Koiwa, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

平滑コンデンサなしで交流から交流へ直接変換可能であるマトリックスコンバータ<sup>(1)(2)</sup>(以下 MC)の出力電圧範囲は入力電圧の 0.866 倍に制限される。この問題に対して著者らは V 結線チョッパを内蔵した昇降圧形 MC に関して研究を行っている。昇降圧形 MC は LC フィルタの共振が原因で入力電流波形がひずむ。著者らはこれまでに、共振によるひずみをチョッパにダンピング制御を適用することで抑制する方法を提案した<sup>(1)</sup>。しかし、ダンピング制御を適用するためには、入力電流を検出する必要があり、電流センサ等の部品点数の増加が懸念される。そこで、本論文では、フィルタキャパシタ電圧を用いてダンピング制御を行う方法を提案する。また、シミュレーションにより提案方法の実現可能性について検討する。さらに、1.8kW のプロトタイプを試作し、実機実験を行う。その結果、入力電流を用いたダンピング制御および提案するダンピング制御を適用し、入力電流 THD は 13.2%および 17%改善したので、報告する。

## 2. 回路構成およびゲイン設計

図 1 に V 結線チョッパを内蔵した昇降圧形 MC の回路図を示す。本回路は、V 結線チョッパを LC フィルタの間に接続した構成である。入力リアクトルを昇圧リアクトルとして利用することで、追加する素子はチョッパを構成するスイッチのみとなる。

図 2 に昇降圧形 MC の制御ブロック図を示す。同図(a)は提案するダンピング制御のブロック図を示す。本ダンピング制御は、検出したフィルタキャパシタ電圧からキャパシタ電流を算出し、回転座標変換により d 軸電流を得る。d 軸電流に含まれるスイッチングリップルは LPF(Low Pass Filter)を通すことで除去し、ダンピングゲイン  $K_d$  を乗算してチョッパ指令値に重畳する。本ダンピング制御はフィルタキャパシタ電圧に含まれる高調波成分のみフィードバックし、基本波成分には関与しない。したがって、昇降圧形 MC の制御応答はダンピング制御を適用しても悪化しない。一方、図 2(b)は MC の制御ブロック図である。MC は従来の制御法である仮想 AC/DC/AC 制御を用いる。

## 3. シミュレーションおよび実験結果

図 3 に提案するダンピング制御を適用した場合のシミュレーション結果を示す。ここで、表 1 にシミュレーション条件を示す。図 3(a)は入力電流ダンピング制御を適用した

場合のシミュレーション結果である。ダンピング制御を適用しない期間では、LC フィルタの共振により入力電流波形はひずみ、さらに負荷側にも影響を与えている。このときの入力電流の総合ひずみ率(THD)は 38.2%である。一方、図 3(b)は提案するダンピング制御を適用した場合の結果である。定常時において入力電流の共振ひずみは抑制されている。さらに、出力電力  $P_o$  の脈動はダンピング制御により抑えられ、一定となることが確認できる。また、このときの

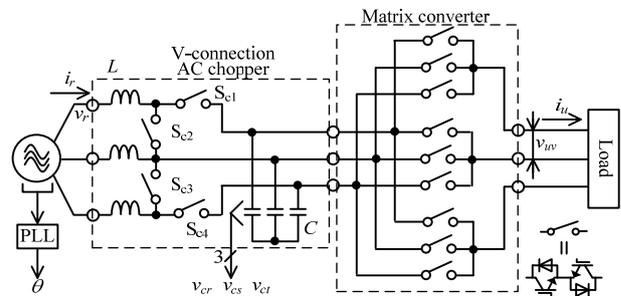
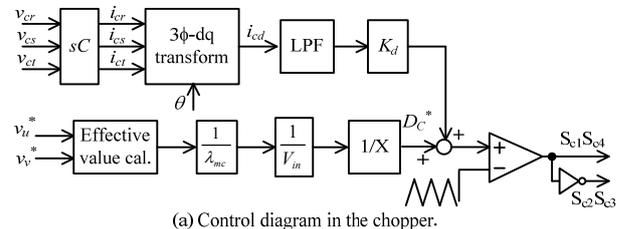
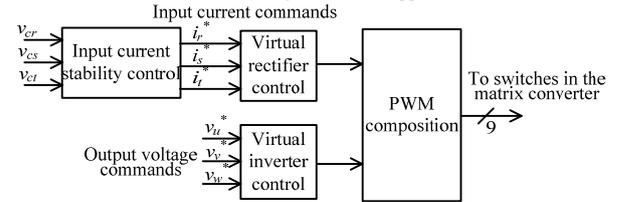


Fig. 1. Configuration of the boost-up matrix converter.



(a) Control diagram in the chopper.



(b) Control diagram in the matrix converter.

Fig. 2. Control block diagrams of the boost-up matrix converter.

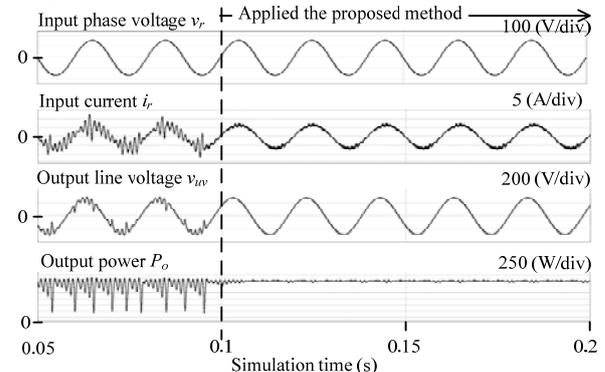


Fig. 3. Simulation result.

入力電流 THD は 3.3%であり、ダンピング制御を適用することで、35%の THD が低減されることを確認できる。

図 4 にダンピング制御適用前後の実験結果を示す。表 1 に実験条件を示す。なお、本実験では回路の電源側に発電機が接続されることを想定し、入力リアクトルは 10.5mH (16.5%)を接続した。図 4(a)はダンピング制御を適用しない場合の動作波形である。ここで、出力電圧波形は、観測用として 1.5kHz の LPF を用いて観測した。結果より、入力電流 THD および出力電圧 THD はそれぞれ 23.5%および 7.48%であり、入力フィルタの共振により波形はひずむことがわかる。一方、図 4(b)は入力電流ダンピング制御を適用した場合の動作波形である。入力電流波形より、ダンピング制御の適用で共振ひずみは抑制されていることがわかる。ここで、入力電流 THD および出力電圧 THD は 10.3%および 3.52%である。さらに、図 4(c)に提案するダンピング制御を適用した場合の動作波形を示す。入力電流を使用したダンピング制御と同様に、共振ひずみは抑制されていることが確認できる。また、入力電流 THD および出力電圧 THD は 6.47%および 5.36%である。以上より、提案するダンピング制御を適用することで、入力電流 THD は 17%、出力電圧 THD は 2.12%改善できることがわかる。

図 5 に各ダンピング制御を適用した場合の入力電流に含まれる高調波を示す。まず、ダンピング制御を適用しない場合と各ダンピング制御を適用した場合を比較する。その結果、ほとんどの高調波次数はダンピング制御を適用した場合の方が低減されている。これにより、ダンピング制御は入力電流を安定化する手法として適していることが確認できる。次に、提案するダンピング制御と入力電流ダンピング制御の結果を比較する。その結果、提案するダンピング制御は入力電流ダンピング制御と同等の共振ひずみ抑制効果が得られていることを確認できる。

以上より、提案するダンピング制御を適用することで、入力電流を検出せずに共振ひずみを抑制できる。したがって、電流センサや検出回路を増設する必要がなく、コストは低減可能である。

#### 4. まとめ

本稿では、入力電流を検出せずにダンピング制御を適用し、共振ひずみを抑制する方法を提案した。シミュレーションにより、入力電流 THD はダンピング制御を適用しない場合と比較して、35%低減した。さらに、1.8kW のプロトタイプを試作し、実機実験を行った。その結果、提案するダンピング制御の適用により入力電流 THD および出力電圧 THD を 13.2%および 2.12%改善できることを示した。以上より、提案するダンピング制御手法の有用性を確認した。

今後の課題として、ダンピングゲインの最適設計が挙げられる。なお、本研究は平成 21 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。

Table 1 Simulation and experimental parameters.

		Simulation	Experiment
Input phase voltage $V_m$		115 V	
Input frequency $f_m$		50 Hz	
Carrier frequency $f_s$	Chopper	10 kHz	
	MC		
Input reactor $L$		2 mH	10.5 mH
Filter capacitor $C$		13.2 $\mu$ F	13.2 $\mu$ F
Boost-up ratio of the chopper $\beta_s$		1.155	
Damping gain $K_{d,r}$		0.5	4.0
Load		Constant current source	R-L load (12.5 $\Omega$ , 5mH)

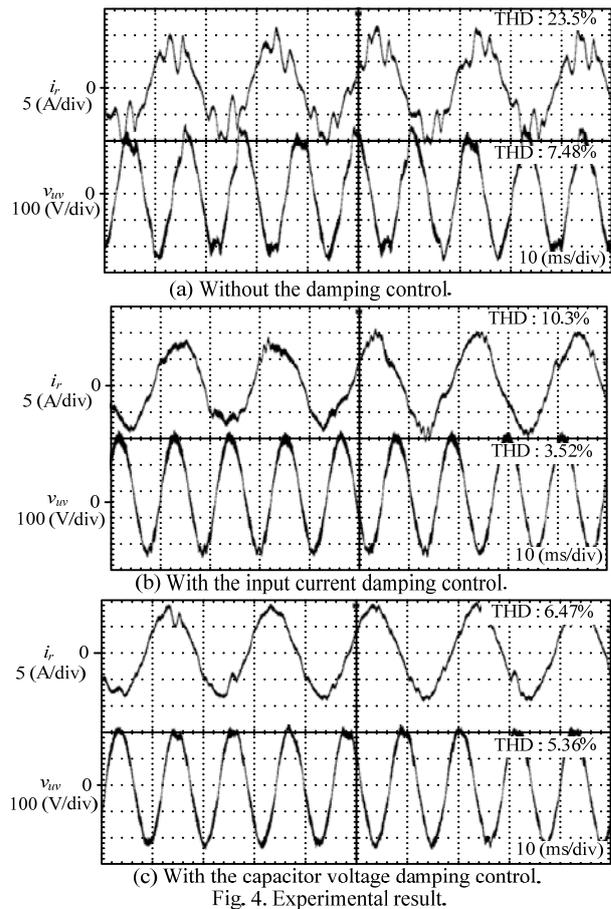


Fig. 4. Experimental result.

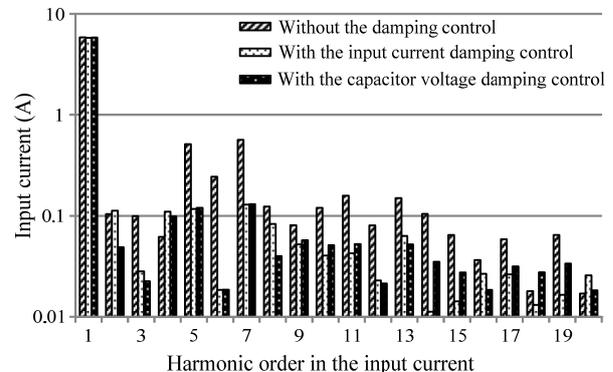


Fig. 5. FFT analysis of the input current.

文献

- (1) K. Koiwa, J. Itoh, EPE2011, pp. 1-10, 2011
- (2) 春名, 伊東, 電学論 D, vol.5, pp. 482-489, 2009