

マトリックスコンバータの出力側に統合したダンピング制御法

高橋 広樹*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Damping Control Method Combined to the Output Stage of a Matrix Converter

Hiroki Takahashi, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、大容量のエネルギーバッファを介さずに直接交流から交流に電力を変換できるマトリックスコンバータが盛んに研究されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。マトリックスコンバータは、従来の Back-to-back (BTB) システムと比べシステムの高効率化や小型軽量化、メンテナンスフリー化を実現できる。

システムとマトリックスコンバータを絶縁する場合、マトリックスコンバータの入力にトランスを使用する。マトリックスコンバータは入力電流を PWM 制御するため LC フィルタが必要だが、トランスの漏れインダクタンスをフィルタリアクトルとして利用可能なため、フィルタはキャパシタのみでよい。しかし、トランスの漏れインダクタンスと入力フィルタキャパシタの間で LC 共振が発生した場合、入力電流ひずみが増加する。

本論文では、著者らがこれまでに検討した入力共振ひずみを抑制する出力側ダンピング制御の有用性を実機にて検証する。その結果、出力側ダンピング制御を適用することで入力電流 THD (Total Harmonic Distortion) を 65.3 % 低減できることを確認したので報告する。

2. 出力側に統合したダンピング制御

図 1 に入力トランスを用いたマトリックスコンバータを示す。入力フィルタリアクトルをトランスの漏れインダクタンスで代用するため、フィルタ素子はキャパシタのみを追加すれば良い。しかし、本システムではトランス漏れインダクタンスに対して並列にダンピング抵抗を接続できないため、LC 共振による入力電流ひずみが問題となる。従って、制御的にフィルタ共振を抑制する必要がある。

図 2 に本システムのシステムブロック図を示す。共振を抑制するダンピング制御は、マトリックスコンバータの入力電流制御に適用する場合と出力電圧制御に適用する場合の 2 パターンある。しかし、マトリックスコンバータに出力電流 ACR (Auto Current Regulator) を導入する場合、入力側にダンピング制御を施すと入出力制御が干渉する。一方、マトリックスコンバータはエネルギーバッファを持たないため、フィルタ共振ひずみは出力側に伝達する。すなわち、出力側に伝達する共振ひずみを抑制できれば、結果的に入

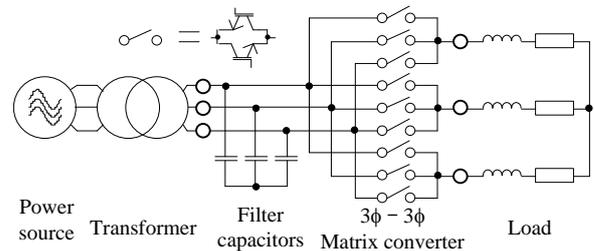


Fig. 1. Matrix converter with input transformer.

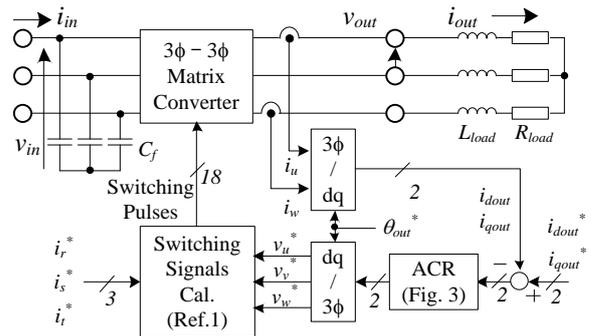


Fig. 2. System block diagram.

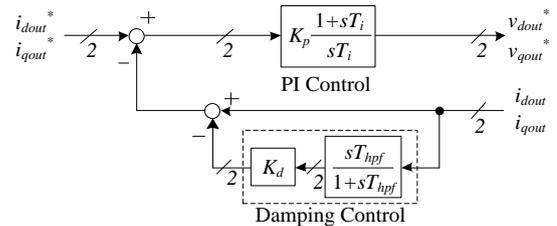


Fig. 3. Control block diagram of the proposed output damping control.

力フィルタ共振を抑制できる。さらに、入力電流をオープンループ制御できる。従って、出力電流 ACR にダンピング制御を組み込むことで、マトリックスコンバータのフィルタ共振抑制、出力電流制御及び入出力制御の非干渉性を同時に達成できる。

図 3 に出力側ダンピング制御ブロック図を示す。まず、HPF (High Pass Filter) で共振に起因する出力電流の高調波成分を抽出する。ここで、HPF のカットオフ周波数は、入力電流の基本波成分が回転座標変換によって直流となるた

め十分低い周波数で良い。次に、抽出した高調波成分にダンピングゲイン K_d を乗算し、出力電流 i_d, i_q に重畳する。出力電流制御はダンピング制御によって得られたフィードバック値と電流指令値 i_{dout}^*, i_{qout}^* の偏差に対して PI 制御をかける。以上の制御で、マトリクスコンバータの入力フィルタ共振抑制と出力電流制御を同時に実現する。

3. 実験結果

表 1 に実験条件を示す。なお、入力フィルタはトランスの漏れインダクタンスを模擬したリアクトルを使用した。

図 4 に定常状態での入出力波形を示す。(a)はダンピング制御を導入しない場合の波形で、(b)は出力側ダンピング制御を導入した際の波形である。(a)では入力フィルタ共振が発生し、40 次までの入力電流 THD を測定すると 24.4 % となる。さらに、共振が出力波形にも悪影響を及ぼし、出力電流に共振ひずみが重畳する。一方、(b)では出力側ダンピング制御によって出力電流に重畳する共振ひずみを小さくできる。その結果、入力電流ひずみも小さくなる。ここで、(b)の入力電流 THD は 8.46 % となり、高調波を 65.3 % 低減できる。なお、入力電流 THD はダンピングゲインの設計によってさらに抑制できると考える。

図 5 に出力側ダンピング制御を適用し、出力電流指令値をステップ入力した時の出力 dq 軸電流の応答波形を示す。なお、出力電流指令値は 0.1 pu から 0.4 pu にステップ入力している。出力側ダンピング制御の結果、出力電流に共振リプルは現れず、出力電流は指令値に追従する。この時、出力 q 軸電流のオーバーシュートは 116 %、最終値の $\pm 3\%$ 以内に実電流が収束する整定時間は 8.21 ms となる。以上の結果より、出力側へダンピング制御を施すことでマトリクスコンバータのフィルタ共振ひずみを小さくできる。

5. 結論

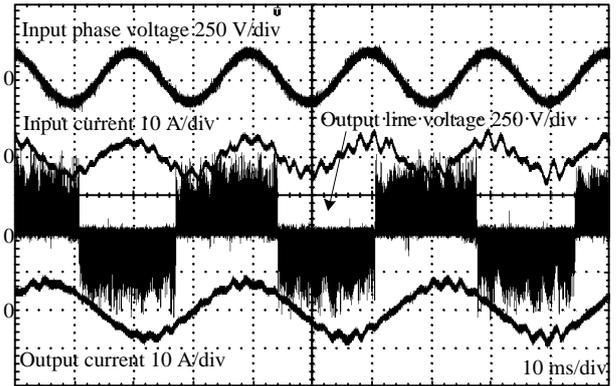
本論文では、入力にトランスを持つマトリクスコンバータにおいて、フィルタ共振を抑制する出力側ダンピング制御の実機検証を行った。出力側ダンピング制御によって、共振ひずみを抑制しつつマトリクスコンバータの出力電流を制御できる。この時、出力側ダンピング制御を導入することで入力電流 THD を 65.3 % 低減できる。以上より、マトリクスコンバータの出力側ダンピング制御の有効性を確認した。今後の課題として、安定解析と所望の応答及び共振ひずみ低減効果を得るゲイン設計法の確立があげられる。なお、本研究の一部は平成 21 年度産業技術研究助成事業の支援を受けており、関係各位に感謝の意を表します。

文献

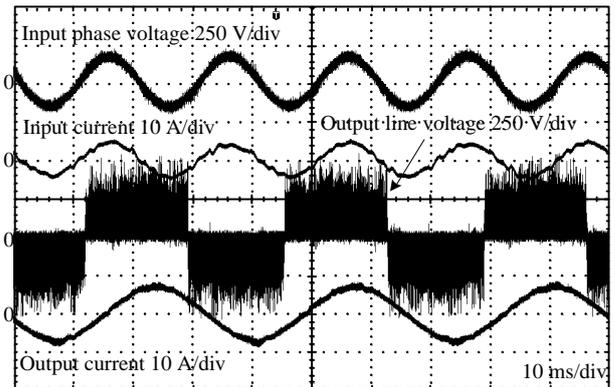
- (1) 伊東他, 電学論 D, 124 巻 5 号 (2004)
- (2) J. Haruna, J. Itoh, APEC 2011, pp. 1782 - 1789
- (3) 高橋他, SPC 愛知, SPC11-188 (2011)

Table 1. Experimental conditions.

Input voltage	200 V	Output frequency	30 Hz
Input frequency	50 Hz	Load resistance	84 %
Rated power	1.5 kW	Load inductance	3.77 %
Input filter L	12.6 %	Load current command	0.9 pu
Input filter C	5.54 %	Damping gain	0.5 pu
Carrier frequency	10 kHz	Damping HPF cut off frequency	30 Hz
Commutation time	2.5 μ s		



(a) Without the damping control of the output stage.



(b) With the damping control of the output stage.
Fig. 4. Input and Output waveforms in steady state.

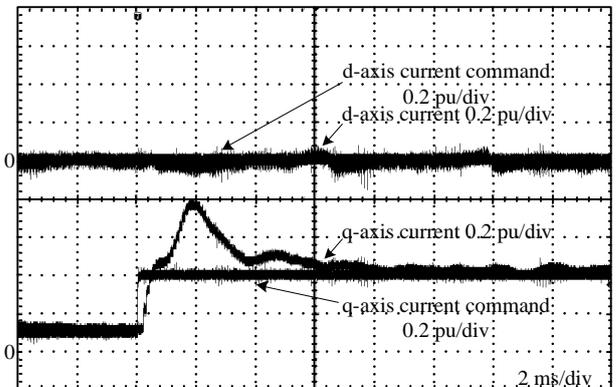


Fig. 5. dq-axis current with the damping control of the output stage with the damping control of the output stage.