

昇降圧形マトリックスコンバータに適用する ダンピング制御の比較検証

小岩 一広*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Comparison of Each Damping Controls of Matrix Converter with Boost-up Chopper

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

1. はじめに

マトリックスコンバータ(以下 MC)は、小形、高効率、長寿命など、数々の利点があるが、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 結線チョッパを用いた昇降圧形 MC を提案している。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。共振ひずみを抑制する方法として、ダンピング制御が提案されている。ダンピング制御は、チョッパに適用する方法として、入力電流を使う電流形またはフィルタキャパシタ電圧を使う電圧形、さらに MC に適用するダンピング制御として出力側のフィードバック制御に統合する出力側統合形があり、それぞれのダンピング制御を適用した際の共振ひずみ抑制効果が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、モータ負荷において各ダンピング制御を適用した際の特性を比較した論文は報告されていない。そこで本論文では、永久磁石同期電動機(IPMSM)を駆動した際に、それぞれのダンピング制御の定常特性および過渡特性について評価する。

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り、LC フィルタの共振により入力電流がひずむ。システムに接続する際は、高調波規制のため、ひずみを抑制する必要がある。この解決策として、ダンピング制御を適用する方法がある。

図 2 に各ダンピング制御の制御ブロック図を示す。図 2(a) は電流形のブロック図である。本ダンピング制御は、入力電流に含まれる高調波を直接制御するため、ダンピング効果は高い。しかし、入力電流を検出するため、追加の電流センサ等が必要となる。一方、図 2(b) に電圧形のブロック図を示す。ここで、フィルタキャパシタ電圧は MC の出力電圧制御に必要な情報であり、元々検出している。したがって、センサ等の追加素子なしにダンピング制御を適用できる。最後に、図 2(c) は MC に適用する出力側統合形ダンピング制御⁽²⁾のブロック図である。入出力の瞬時電力は等しいため、MC で出力側の高調波を抑制することで、入力側の高調波成分を同時に抑制できる。

3. シミュレーション結果

図 3 に各ダンピング制御を適用した場合の過渡応答シミュレーション結果を示す。ここで、負荷トルクを 0% から

100% にステップ変化させた場合、ダンピング制御なしでは共振ひずみが原因でモータが脱調する。そこで今回は、各ダンピング制御およびダンピング制御なしの過渡応答を比較するため、ダンピング制御なしでもモータが脱調しない 60% を負荷トルクのステップ変化幅とした。また、電流形、電圧形のダンピングゲインは減衰係数 0.1 程度として、それぞれ 0.2, 2.608 と設定した。出力側統合形のダンピングゲインは 0.5 に設定した。図 3(a) にダンピング制御を適用しない場合の過渡応答波形を示す。結果より、モータ回転速度 ω が定常値に収束するまでに約 16.4 ms を要している。図 3(b) に出力側統合形ダンピング制御を適用した場合の過渡応答結果を示す。結果より、 ω の収束時間は約 30 ms であり、ダ

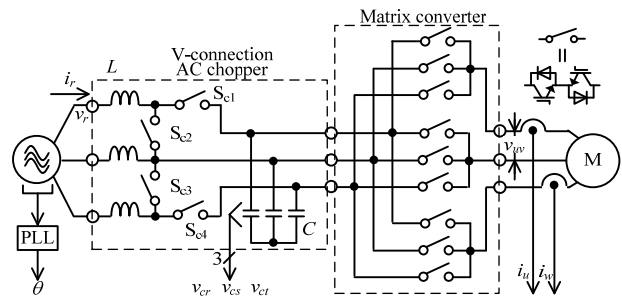


Fig. 1. Configuration of the matrix converter with the boost-up chopper.

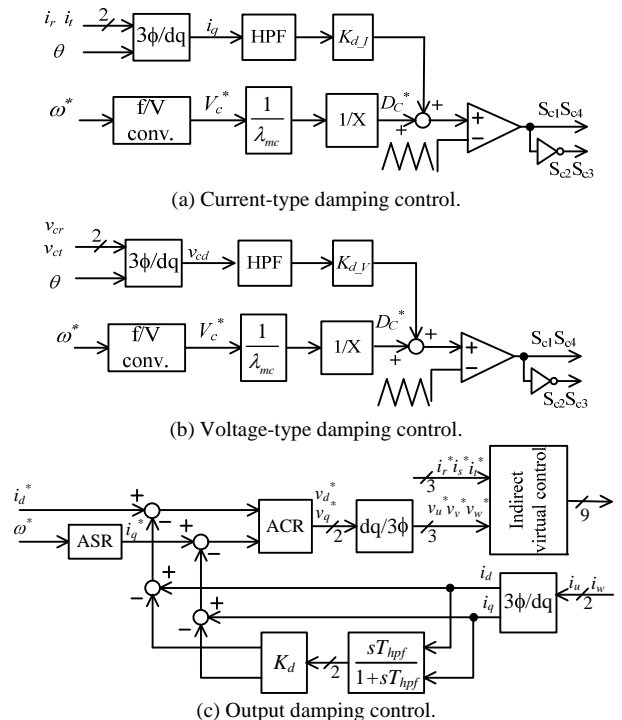
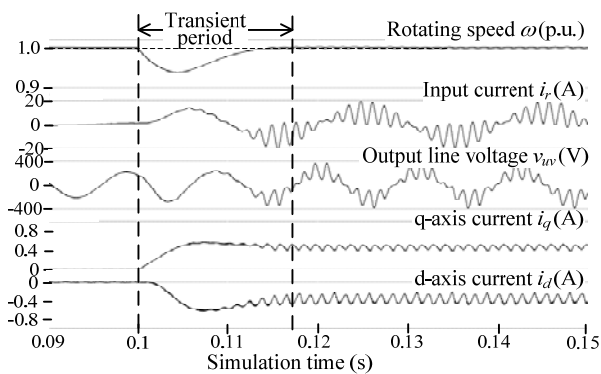
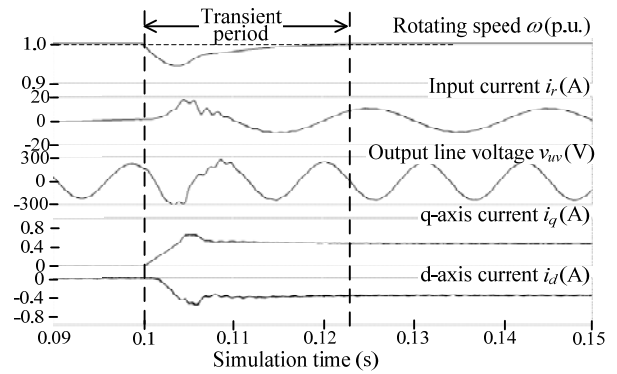


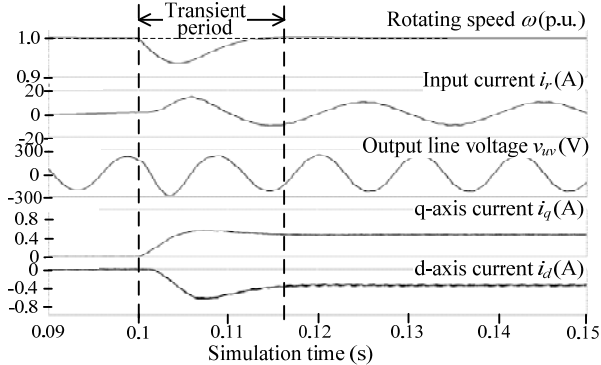
Fig. 2. Control block diagrams of each damping control.



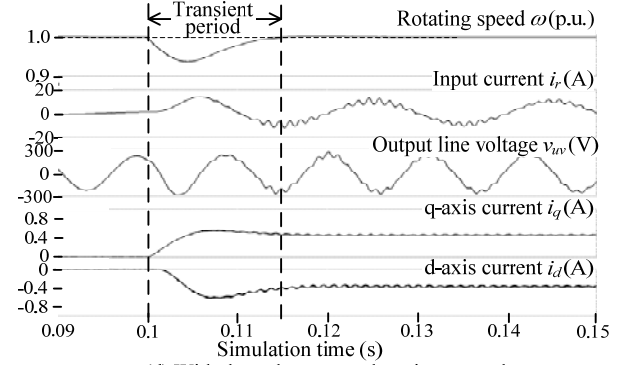
(a) Without the damping control.



(b) With the output-side damping control.



(c) With the current-type damping control.



(d) With the voltage-type damping control.

Fig. 3. Transient waveforms by each damping control. As simulation time is 0.1s, load torque changes from 0% to 60%.

ンピング制御を適用しない場合と比較して、収束時間は13.6 ms程度長い。また、d軸、q軸電流 i_d 、 i_q のオーバーシュートは増大していることがわかる。これは出力側統合形ダンピング制御が i_d および i_q に含まれる高調波成分や過渡変化分にゲインを乗算し、 i_d および i_q から減算するためである。図3(c)は電流形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。 ω の収束時間は14.7 msであり、ダンピング制御を適用しない場合とほぼ同等である。チョッパはオープンループ制御を採用しており、IPMSMの駆動制御には関与しない。したがって、MCの制御にダンピング制御を適用しなければ、過渡応答特性は同等となる。最後に、図3(d)は電圧形ダンピング制御を適用した場合の結果である。 ω の収束時間は、15 msを要しており、電流形と同様の理由でダンピング制御なしとほぼ同等となる。

図4に各ダンピング制御を適用した場合の入力電流THD特性を示す。ここで、Lの巻線抵抗として、50mΩを直列に接続した。まず、ダンピング制御を適用しない場合の入力電流THDは機械出力が30%以下で5%以内となっている。これは、Lの巻線抵抗が共振ひずみ抑制の役割をしているためである。しかし、機械出力40%以上では負性抵抗が増大し、システムの減衰係数を低下させる。その結果、入力フィルタの共振が発生し、THDが増大する。最後に、電流形ダンピング制御をチョッパに適用した場合、全機械出力において入力電流THDは5%以下と良好な結果を得ている。これは、電流形が入力電流に含まれる高調波成分を直接補

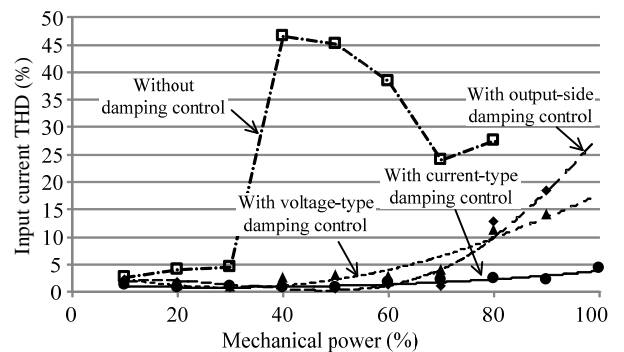


Fig. 4. Input current THD characteristics by each damping control.

償し、他方式よりダンピング効果が最も高いためである。

4. まとめ

本稿では、昇降圧形MCに適用するダンピング制御の過渡応答特性およびTHD特性について調査した。各制御方式の特徴をまとめると下記となり、特徴を踏まえて用途に応じて適用する必要がある。(1)電流形：ダンピング効果が高く、入力電流THDは5%以下である。(2)電圧形：追加素子なしで共振抑制できる。(3)出力側統合形：チョッパの安定化制御は不要なため、システムの制御が簡単化する。

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。

文献

- (1) K. Koiwa, J. Itoh, IPEMC2012, pp. 1-7, 2012
- (2) 高橋, 伊東, 2012年全国大会, No.4, pp. 22-23, 2012