

昇圧形マトリックスコンバータを用いた 永久磁石同期電動機駆動システムの有効性の検討

◎小岩 一広 伊東 淳一

長岡技術科学大学工学部 電気電子情報工学専攻

newkoiwa@stn.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

近年、大容量のエネルギーバッファを用いないマトリックスコンバータ(以下 MC)の研究が盛んに行われている⁽¹⁾。しかしながら、MC の入出力電圧比は 0.866 に制限される問題がある。モータを負荷とする場合、速度起電力に対して電圧が低く、モータ性能が低下する。弱め磁束制御を適用することで、モータ性能を上げることが可能であるが、モータ電流が増大し、損失が増加する。著者らは MC の電圧利用率の問題を解決するため、MC の前段に V 結線チョッパを接続する方式を提案した⁽¹⁾。

本稿では、従来の MC(以下 CMC)に対する提案回路の有用範囲を、効率の観点から検討する。具体的には、実験により 3.7kW 埋込永久磁石同期電動機(以下 IPM モータ)を駆動させた場合の損失を解析したので、報告する。

2. 回路方式および制御方法

図 1 に提案回路を示す。提案回路では昇圧機能を実現するため、MC の入力側に V 結線型の交流チョッパを接続する。チョッパを V 結線型にすることで MC に追加する素子は双方向スイッチ 4 つのみとなる。よって、提案回路は MC の利点である小型化を維持できる。

図 2 に IPM モータの弱め磁束制御適用時のフェーザ図を示す。ここで、 e_q は IPM モータの逆起電力であり、 v は弱め磁束制御を適用しない場合の IPM モータ端子電圧、 v' は弱め磁束制御を適用した場合の IPM モータの端子電圧である。IPM モータの弱め磁束制御は d 軸に負の電流を流すと d 軸電機子鎖交磁束が永久磁石の磁束を見かけ上減少させるように働くことで等価的に界磁を弱めることができ、速度制御範囲を拡大する制御である。フェーザ図より、次式が成り立つ。

$$i_d = \frac{-\frac{e_q}{\omega} + \sqrt{\left(\frac{V_{om}}{\omega}\right)^2 - (L_q i_q)^2}}{L_d} \quad (1)$$

ここで、 V_{om} は誘起電圧の上限値である。

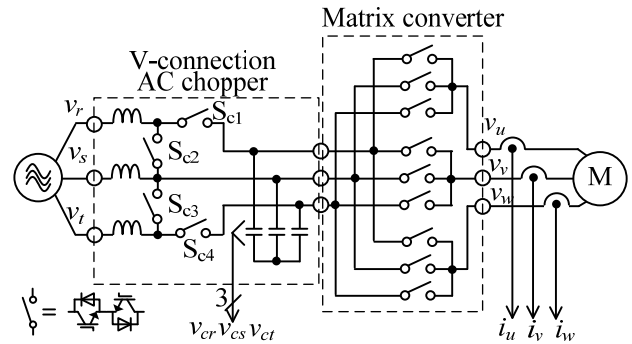


Fig. 1. Configuration of the proposed circuit.

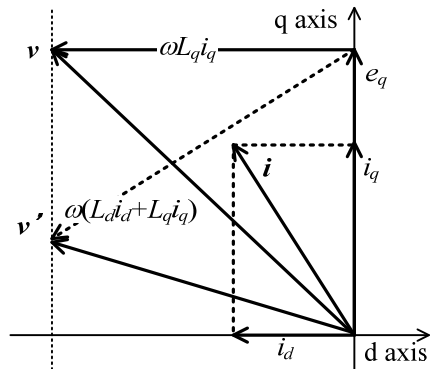


Fig. 2. Vector diagram of flux-weakening control.

3. 実験結果

図 3(a)に提案回路を用いて IPM モータを加速させた場合の波形を示す。ここで、モータの定格回転速度は 1800rpm であり、q 軸電流は定格電流 (14.2A) で規格化した。また、加速時間は 0.8s である。結果より、V 結線チョッパは回転速度 0.9pu から動作しているが、入出力電流に急峻な変化はみられない。したがって、提案回路は出力電圧を連続に制御可能であることがわかる。図 3(b)に 40%トルクで駆動した場合の波形を示す。結果より、入力電流波形ははずんでいる。これは、入力フィルタの共振が原因である。共振ひずみを抑制する方法として、以下のダンピング制御⁽²⁾が挙げられる。入力電流に含まれるひずみを抽出してチョッパの制御にフィードバックする入力電流ダンピング制御とフィルタキャパシタの端子電圧を検出して共振ひずみを抑制するキャパシタ電圧ダンピング制御である。

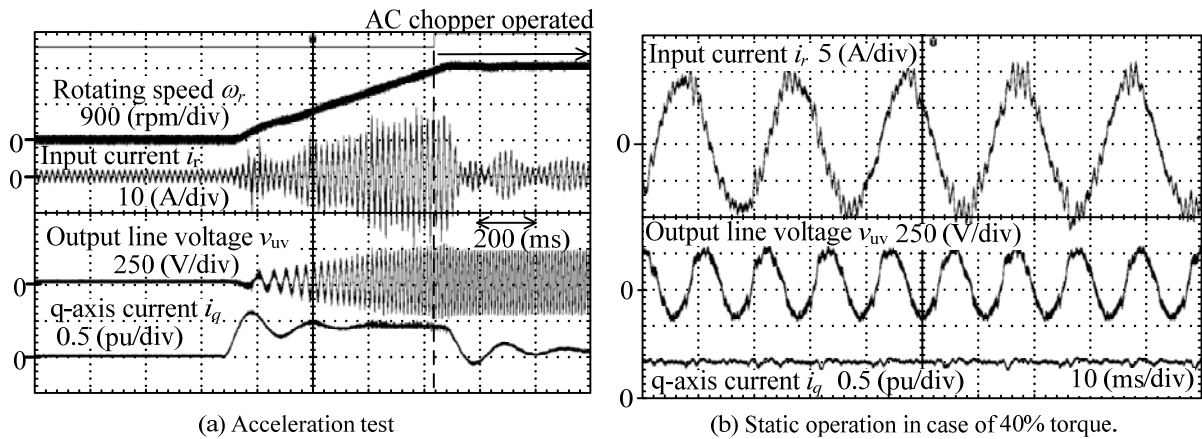


Fig. 3. Experimental results.

図 4 に弱め磁束制御を適用した場合の出力電圧特性を示す。ここで、IPM モータの定格電圧は 180V である。図より、変換器出力電力が 1400W 以下では、出力電圧は線形に増加している。一方、変換器出力電力が 1400W 以上になると、出力電圧は 177V 一定となっている。これは、弱め磁束制御により、d 軸電流を調整しているためである。これにより、出力電圧を一定に保ったまま、モータを高速領域で駆動できる。

図 5 に弱め磁束制御がモータ駆動システムの効率に与える影響を実験により検証した結果を示す。本稿で使用する IPM モータは弱め磁束制御の適用範囲が狭い。そこで本稿では、弱め磁束制御の適用範囲を拡大させるため、入力電圧を下げた高速領域を模擬した。その結果、弱め磁束制御を適用した CMC は入力電圧が低いほど効率が低下している。これは、入力電圧が低下することで弱め磁束制御により流す d 軸電流の量が増大した結果、変換器の導通損失および IPM モータの 1 次銅損が増加したためである。一方、提案回路は入力電圧が低下してもチョップが低下した電圧を補償する。したがって、弱め磁束制御を適用する必要がなく、高効率が維持できる。その結果、モータ駆動システムの効率は最大で 13% 改善可能である。以上より、弱め磁束制御を適用するより昇圧機能を付加した方が高効率を実現できる。

4. 結論

本論文では、CMC および提案回路で IPM モータを駆動させた場合の損失を解析した。その結果、実機実験により提案回路の効率は CMC と比較して、最大で 13% の効率向上を確認した。

今後は、入力電流の波形改善と高出力での損失解析を行う予定である。なお、本研究の一部は平

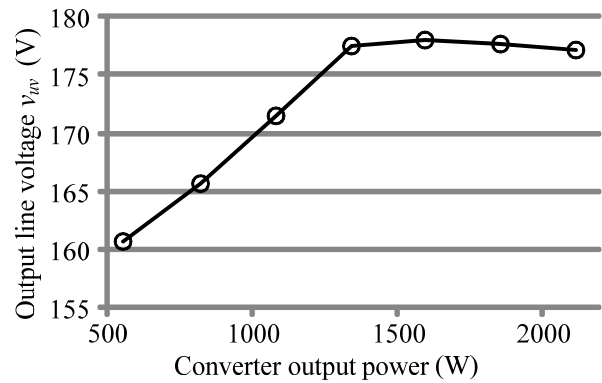


Fig. 4. Output voltage characteristic in flux-weakening control.

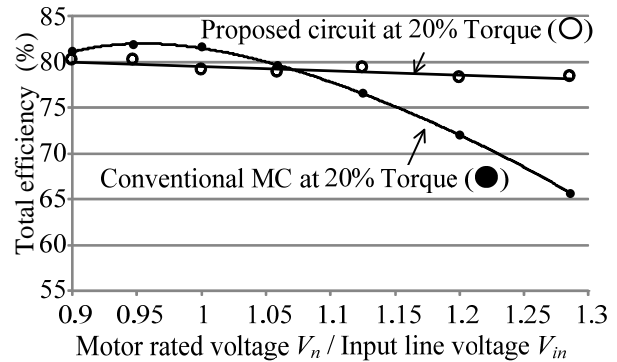


Fig. 5. Efficiency characteristic.

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。

参考文献

- (1) 小岩一広, 伊東淳一: 「V 結線チョップを用いた昇圧形マトリックスコンバータの実機検証」平成 22 年 半導体電力変換研究会, SPC-10-129, 2010
- (2) K. Koiwa, J. Itoh: "A damping control method for a matrix converter with a boost-up AC chopper", IPEMC 2012, Vol. 2, pp. 783-789 (2012)