

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、シミュレーションにより 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。

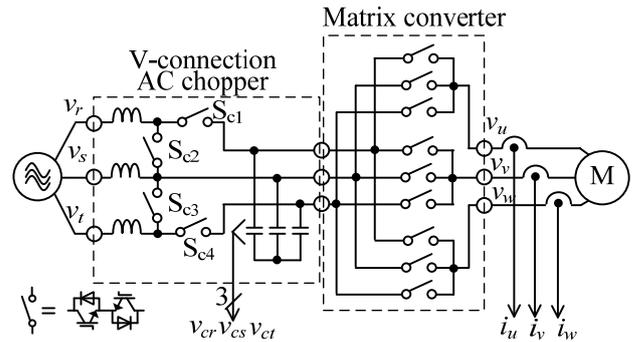


Fig. 1. Configuration of the proposed circuit.

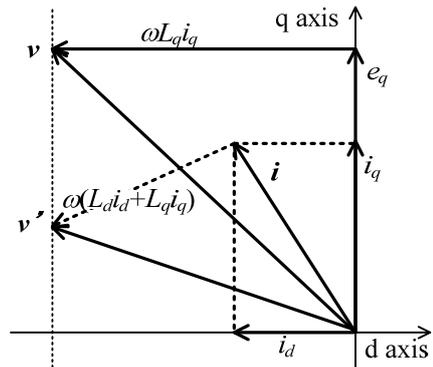


Fig. 2. Vector diagram of field-weakening control.

3. シミュレーション結果

図 3(a)に CMC を用いて IPM モータを回転させた場合、図 3(b)に出力電圧が 240V のときの提案回路のシミュレーション結果を示す。ここで、モータの回転速度は定格回転速度(1800rpm)、d 軸および q 軸電流は定格電流(14.2A)でそれぞれ規格化した。結果より、CMC は高速領域において弱め磁束制御が適用されていることがわかる。一方、提案回路は高速領域でも弱め磁束制御を適用することなく、安定な動作が得られている。IPM モータのトルクは次式で表せる。

$$T = P_n [\psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (2)$$

ここで、 P_n は極数、 ψ_a は永久磁石による鎖交磁束である。図 3(a)は弱め磁束制御を適用し、d 軸電流を流れている。図 3(b)と比べると、d 軸電流の増加に伴いトルクを一定に保つため、q 軸電流が減少している。

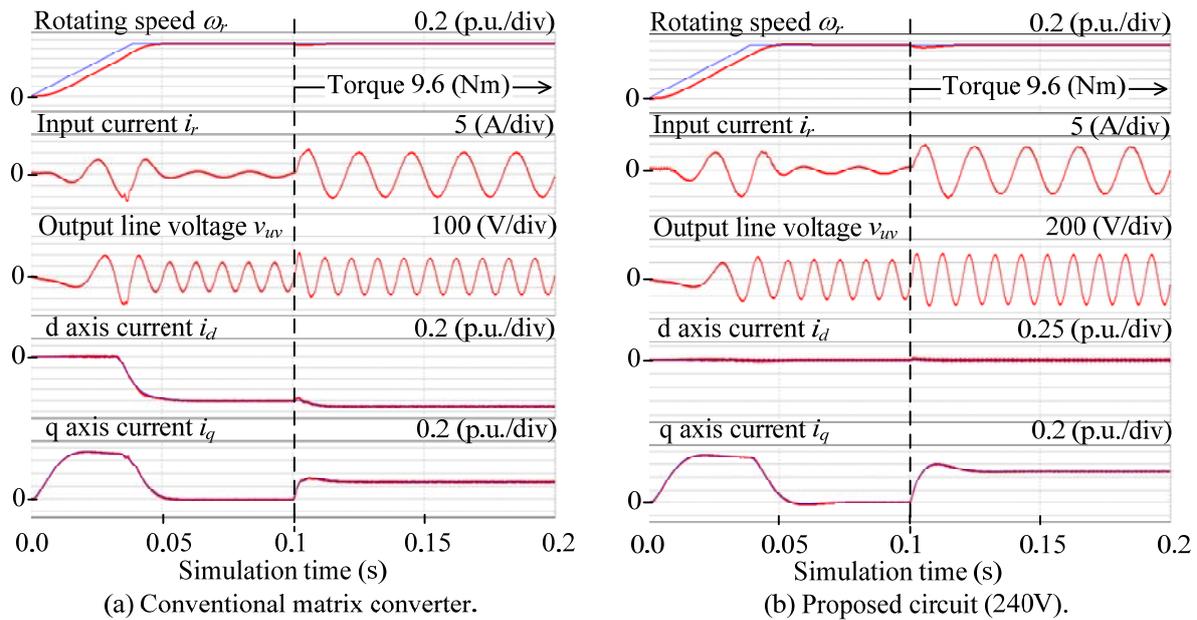


Fig. 3. Operation waveforms in the simulation result.

図 4 に変換器効率とモータ効率を考慮した効率特性を示す。ただし、フィルタ損失および鉄損は考慮していない。ここで、機械出力は 2kW 一定である。また、損失は変換器損失とモータの 1 次銅損を考慮した。出力電圧が 240V で制限される提案回路の最高効率は回転速度が 1.11pu において 91.1% であり、CMC と比較して 12% の効率が向上している。これは、CMC が弱め磁束制御を適用しており、モータ負荷電流が増加しているのに対して、提案回路は弱め磁束制御を適用せず、モータ負荷電流が増加しないため、高効率となる。

図 5 に回転速度 1.11pu において各変換器で IPM モータを駆動させた場合の損失分離した結果を示す。提案回路はチョップの損失が発生するが、MC の導通損失およびモータの 1 次銅損が CMC と比較して低下している。以上より、弱め磁束制御を適用すると、モータ負荷電流が増加し、損失が増大することが確認できる。したがって、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 および昇圧機能を付加した MC 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、提案回路の効率は CMC と比較して、12% の効率向上を確認した。

今後は、以上のシミュレーションで得られた知見を実機で検証する予定である。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。

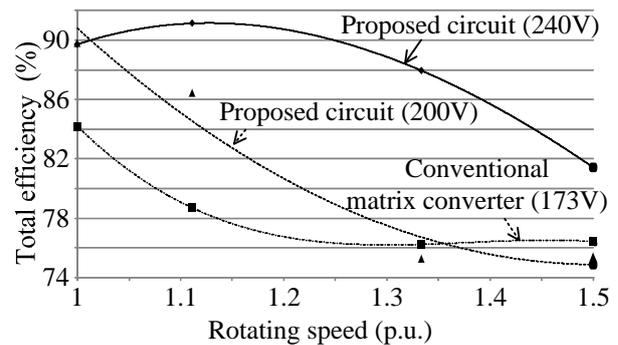


Fig. 4. Efficiency characteristics.

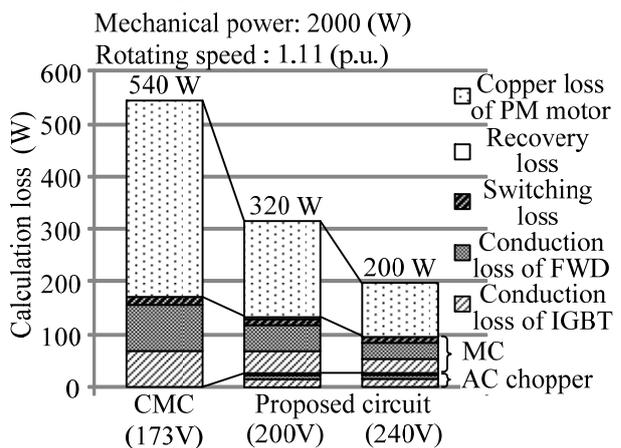


Fig. 5. Property of the loss.

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