

透磁率変調技術に基づく可変界磁 PM モータの 拡張 MTPA 制御に関する基礎検討

岩間 清大*, ナフィア ニンディタ, 野口 季彦, 青山 真大(静岡大学)

Preliminary Study of Extended MTPA Control of Adjustable Field PM Motor Based on Permeability Modulation Technique
Kiyohiro Iwama, Nafia Nindita, Toshihiko Noguchi, Masahiro Aoyama (Shizuoka University)

1. まえがき

筆者らは磁気飽和を積極的に活用した透磁率変調技術に基づく可変界磁 PM モータと, Fig. 1 のドライブ回路を採用することで制御できる零相電流 i_0 を透磁率変調起磁力源とする方式について報告してきた⁽¹⁾。本稿では, 従来 MTPA の制御を零相も含む $0dq$ 座標に拡張することで, 透磁率変調技術に基づく可変界磁 PM モータの MTPA 制御アルゴリズムを導出したので報告する。

2. 拡張 MTPA 制御の理論式導出

Fig. 2 に JMAG-Designer18.0TM により解析を行った可変界磁 PM モータを示す。さらに, Table 1 にこのモータの諸元を示す。このモータは i_0 により磁極間漏れ磁路の透磁率を変調し, ステータに鎖交する界磁量を制御できる。

i_0 と Ψ_m の関係は概ね線形で近似できるため, 比例係数 K_Ψ および i_0 が 0 A 時の界磁量 Ψ_0 を用いて以下の式で表せる。

$$\Psi_m = K_\Psi i_0 + \Psi_0 \quad (1)$$

本稿のモータでは K_Ψ が 4.24×10^{-3} , Ψ_0 が 0.03 Wb である。

Fig. 3 に $0dq$ 座標上での電流ベクトルと球面座標系で表現したときの位相 θ_i および ϕ_i と電流ノルム I_a の関係を示す。同図より, トルク T は次式で表すことができる。

$$T = P_n \left\{ (K_\Psi I_a \cos \theta_i + \Psi_0) + (L_d - L_q) I_a \sin \theta_i \cos \phi_i \right\} I_a \sin \theta_i \sin \phi_i \quad (2)$$

トルクの最大値は $\partial T / \partial \theta_i = 0$, $\partial T / \partial \phi_i = 0$ を満たす点であるため, 最大トルク時の電流位相 θ'_i , ϕ'_i は以下の式で表せる。

$$\theta'_i = \cos^{-1} \left(\frac{K_\Psi A}{4 \left\{ K_\Psi^2 + (L_d - L_q)^2 \right\} I_a^2} \right) \quad (3.1)$$

$$\phi'_i = \cos^{-1} \left(\frac{2(L_d - L_q) \left\{ 4I_a^2 \left\{ K_\Psi^2 + (L_d - L_q)^2 \right\} - \Psi_0 A \right\}}{A \sqrt{\left\{ 4I_a^2 \left\{ K_\Psi^2 + (L_d - L_q)^2 \right\} \right\}^2 - K_\Psi^2 A^2}} \right) \quad (3.2)$$

ただし, $A = -\Psi_0 + \sqrt{\Psi_0^2 + 8 \left\{ K_\Psi^2 + (L_d - L_q)^2 \right\} I_a^2}$ である。

3. 電磁界解析による運転特性の評価

Table. 2 に I_a を 6.93 A としたときのマグネットトルク, 従来の MTPA および拡張 MTPA 制御時の各電流指令値を示す。また, Fig. 4 に Table. 2 の電流を通電したときのトルク波形とそのフーリエ解析結果を示す。同図より, 拡張 MTPA 制御時に最大トルクを出力できることがわかる。

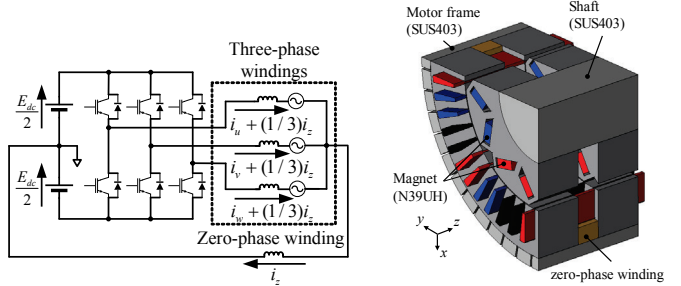


Fig. 1. Motor drive circuit.

Fig. 2. Motor model.

Number of slots	48 slots
Stator diameter	φ148 mm
Rotor diameter	φ100 mm
Stack length	60 mm
d -axis inductance L_d	0.623 mH
q -axis inductance L_q	1.179 mH

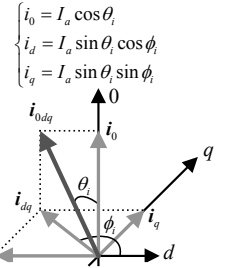


Fig. 3. Current vectors.

Table 2. Current command values with current norm of 6.93 A.

	Magnet torque	Conventional MTPA	Extended MTPA
i_0	0 A	0 A	3.44 A
i_d	0 A	-0.82 A	-0.45 A
i_q	6.93 A	6.88 A	6.00 A

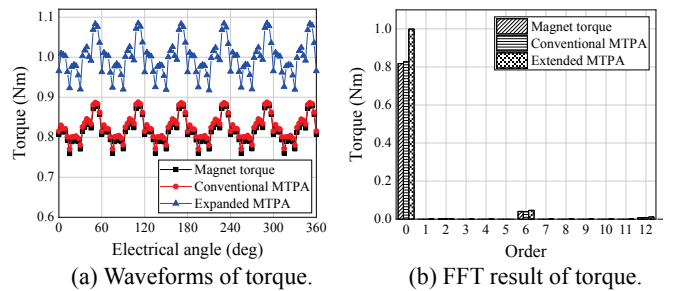


Fig. 4. Torque with current norm of 6.93 A.

4. まとめ

本稿では, $0dq$ 座標に拡張した MTPA 制御を提案し, 拡張 MTPA 制御を採用することで, 電流ノルムが等しい条件下で最大トルクを出力できることが確認できた。今後は, 拡張 MTPA 制御の可変速特性および銅損について検討をする。

文 献

(1) 岩間他: モータドライブ/家電・民生合同研究会, 2019