

# 同期リラクタンスモータの最大効率運転と最大トルク運転

日吉 良太\*, 野口 季彦 (静岡大学)

Maximum Efficiency Operation and Maximum Torque Operation of Synchronous Reluctance Motor

Ryota Hiyoshi, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

## 1. まえがき

同期リラクタンスモータ (以下 SynRM) は負荷に応じて励磁電流を制御することにより, 最大効率運転や単位モータ電流に対する最大トルク運転を実現することができる<sup>(1)</sup>。本稿では磁気飽和および等価鉄損抵抗の電流依存性を考慮した両運転方式の比較評価を行ったので報告する。

## 2. SynRM の最大効率運転と最大トルク運転

Fig. 1 に鉄損を考慮した SynRM の  $d$  軸および  $q$  軸等価回路を示す。突極性をもつ SynRM は  $d$  軸インダクタンス  $L_d$  と  $q$  軸インダクタンス  $L_q$  の差によってトルクを発生するため, 磁気飽和によるインダクタンスの変動は運転特性に重大な影響を及ぼす。これらのインダクタンスを各軸電流  $i_d, i_q$  の自然対数を用いて(1)のように定式化する。また, 鉄損抵抗も回転速度  $\omega$  と  $d$  軸電流  $i_d$  を用いて(2)のように定式化する。

$$\begin{cases} L_d = L_{d0} + k_{L_d} \ln(i_d) \\ L_q = L_{q0} + k_{L_q} \ln(i_q) \end{cases} \quad (1)$$

$$R_c = k_{\omega} \omega + k_{R_c} \ln(i_d) + R_{c0} \quad (2)$$

Fig. 1 の等価回路の定常状態における電圧電流方程式から得られた効率式において, インダクタンスと鉄損抵抗の電流依存性を考慮して最大効率となる励磁条件, 即ち  $\partial \eta / \partial i_d = 0$  となる  $i_d$  を求めると(3)が得られる。

$$i_d = \pm \sqrt{\frac{(L_d - L_q + k_{L_d})(R_a + \omega^2 L_d L_q \frac{R_a + R_c}{R_c^2}) - \omega^2 L_q (L_d - L_q) \left\{ k_{L_d} \frac{R_a + R_c}{R_c^2} - k_{R_c} L_d \frac{2R_a + R_c}{R_c^3} \right\}}{(L_d - L_q - k_{L_d})(R_a + \omega^2 L_d L_q \frac{R_a + R_c}{R_c^2}) + \omega^2 L_q (L_d - L_q) \left\{ k_{L_d} \frac{R_a + R_c}{R_c^2} - k_{R_c} L_d \frac{2R_a + R_c}{R_c^3} \right\}}} i_q \quad (3)$$

同様に, 等価回路から得られるトルク式において, モータ電流のノルムを一定に維持した条件で, トルク  $T$  を最大化する励磁条件を求めると(4)が得られる。

$$i_d = \pm \sqrt{\frac{L_d - L_q + k_{L_d} + \omega^2 L_d L_q \left\{ \frac{1}{R_c^2} \left( L_d - L_q + k_{L_d} \frac{L_q}{L_d} \right) + \frac{2k_{R_c}}{R_c^3} (L_d - L_q) \right\}}{L_d - L_q + k_{L_d} + \frac{\omega^2 L_d L_q}{R_c^2} \left( L_d - L_q + k_{L_d} \frac{L_d}{L_q} \right)}} i_q \quad (4)$$

(3), (4)は右辺に  $L_d, L_q, R_c$  を含んでいるため適当な初期値を与えて  $i_q$  に対する  $i_d$  の収束計算を行うことで最適な電流を求めることができる。なお, 従来のように磁気飽和と等価鉄損抵抗の電流依存性を無視 ( $k_{L_d} = k_{L_q} = k_{R_c} = 0$  の場合に相当) した場合は(5)のように簡単化される。

$$i_d = \pm i_q \quad (5)$$

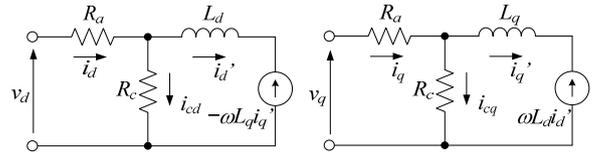


Fig. 1. Equivalent circuits incorporating iron core loss resistance.

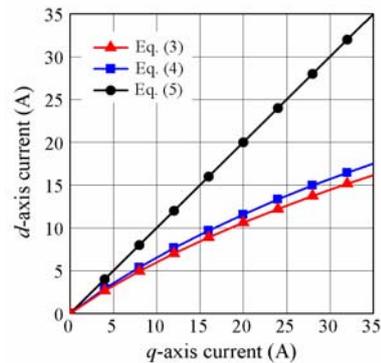


Fig. 2. Magnetizing current characteristics.

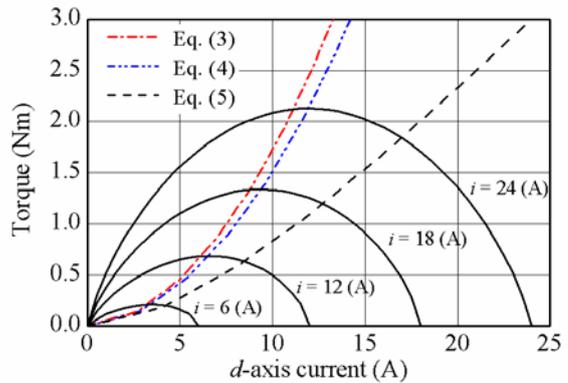


Fig. 3. Torque characteristics curves and delivered torque given by (3), (4) and (5).

## 3. シミュレーション結果とまとめ

Fig. 2 に(3), (4), (5)に示した励磁電流特性を示す。条件式からもわかるように最大効率運転と最大トルク運転の励磁電流は異なる。Fig. 3 はモータ電流のノルムを一定にした場合のトルク特性曲線群と, (3), (4), (5)の励磁電流を与えたときのトルク特性である。最大トルク運転条件により得られるトルク特性は, トルク曲線群の最大トルクを与える頂点に正確に位置していることがわかる。以上より, 通常機械出力の最大化を考えると, 最大効率運転と最大トルク運転は同じであると考えられるが, 磁気飽和と鉄損抵抗の特性により両運転の励磁条件は異なることを確認した。

文献

(1) 日吉・野口: 電気学会全国大会, 4-114, 2013