

電圧制限を考慮した数式モデルに基づく SR モータのトルクリプル低減手法

熊谷 崇宏・佐藤 大介・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

SR モータは一相通電の場合、電流通電相の切り替え時に大きなトルクリプルが発生する。そこで、瞬時トルクを一定にする理想電流を用いて部分的に二相通電を行うことで、トルクリプルを低減する手法が提案されている⁽¹⁾。しかし、従来の理想電流指令の導出には有限要素法による解析が必要である。そこで、本稿では、SR モータの数式モデルを用いて電源電圧を考慮した理想電流指令の導出手法を提案する。

2. 提案手法

図 1 に提案する理想電流指令の導出フローを示す。電流-鎖交磁束 ($i-\Phi$) 特性の数式モデル⁽²⁾より、線形領域において瞬時トルクを一定にする理想電流 $i(\theta)$ は(1)式で表される。

$$i(\theta) = \sqrt{\frac{2T^*}{L_u - L_v}} \sqrt{\frac{f_{Tx}(\theta, \theta_{f0}, \theta_{lap})}{\frac{df(\theta)}{d\theta}}} \dots\dots\dots(1)$$

T^* はトルク指令値、 L_a は対向状態の初期固定子インダクタンス、 L_v は非対向状態の固定子インダクタンス、 $f(\theta)$ は非対向状態と対向状態の間のインダクタンス特性を表現する関数⁽²⁾、 $f_{Tx}(\theta, \theta_{f0}, \theta_{lap})$ は電流通電相の切り替え時に出力するトルクの分担を決める関数⁽³⁾である。 L_a 、 L_v 、 $f(\theta)$ はモータのパラメータであるため、理想電流を求めるには f_{Tx} 、つまり二相通電区間を決める変数 θ_{f0} 、 θ_{lap} を適切に決定することが必要となる。ここで、電源電圧 E_d により出力できる最大の電流の時間変化と理想電流の時間変化との差を余裕度 M と定義する。簡単化のため、速度起電力の影響を無視すると、 M が最小になるのは、二相通電開始時から終了時のいずれかである。二相通電開始時と終了時における余裕度 M_f および M_l を(2)、(3)式に示す。

$$M_f = \frac{E_d}{L_u + f(\theta_{f0} - \theta_{lap})(L_u - L_v)} - \frac{\omega\pi}{\theta_{lap}} \sqrt{\frac{T^*}{2(L_u - L_v)}} \left(\frac{df(\theta_{f0} - \theta_{lap})}{d\theta} \right)^{-1/2} \dots\dots\dots(2)$$

$$M_l = \frac{E_d}{L_u + f(\pi/N_r + \theta_{f0})(L_u - L_v)} - \frac{\omega\pi}{\theta_{lap}} \sqrt{\frac{T^*}{2(L_u - L_v)}} \left(\frac{df(\pi/N_r + \theta_{f0})}{d\theta} \right)^{-1/2} \dots\dots\dots(3)$$

N_r はロータの極数、 ω は電気角速度である。理想電流指令を導出するには $M_l=0$ とした上で θ_{f0} を調整し、 $M_f \geq 0$ が成立する θ_{lap} を求めれば良い。これにより、ある電源電圧下にてリプルゼロで出力できるトルクを最大化できる。

3. シミュレーション結果

図 2 に提案手法に基づく理想電流指令により駆動した際の実電流と出力トルクのシミュレーション結果を示す。使用しているモータは 3 相 18S/12P 型である。出力可能な電流によってトルクリプルが発生していないことが分かる。従って、提案手法が妥当であることが確認できる。

図 3 に極数が異なるモータにおいて、電源電圧により発生する鎖交磁束とリプルゼロで出力できる最大のトルク T_{max} の関係を示す。図 3 より、 T_{max} は鎖交磁束の 2 乗に比例、つまり、電源電圧の 2 乗に比例し、電気角速度

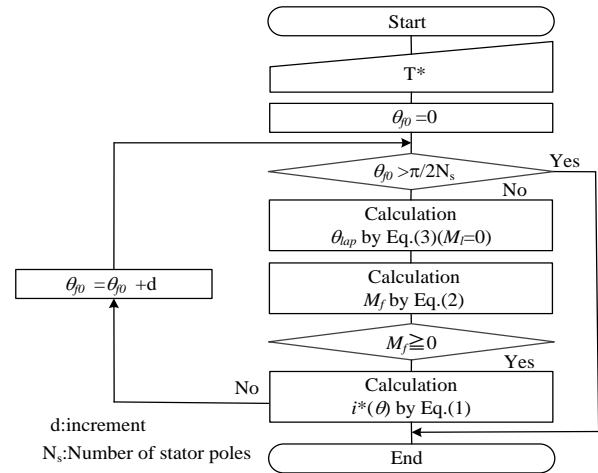


Fig.1 Creating flow for ideal current waveform

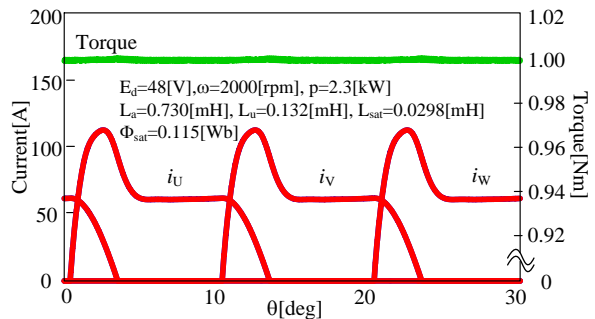


Fig.2 Ideal current waveform and Output torque

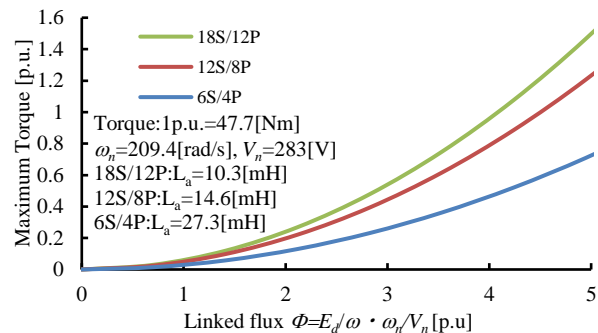


Fig.3 Standardized maximum torque reference

の 2 乗に反比例することが分かる。また、極数が多いほど初期固定子インダクタンス L_a が小さくなるため、 T_{max} は大きくなる。このことから、理想電流指令を適用する場合、多極である方が有利となる。今後は、実機検証を行う予定である。

文 献

- (1) 石川他, 電学論 D, Vol.125, No.12 (2005)
- (2) 見城尚志, 「SR モータ」, 日刊工業新聞社, (2012)
- (3) 牧野他, 電学論 D, Vol.135, No.6 (2015)