

磁化特性の数式モデルに基づくSRMのトルクリプルと電流値の同時低減法

◎熊谷 崇宏, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

Switched Reluctance Motor (SRM)のトルクリプル低減法として、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手法がある。しかし、二相通電で発生トルクが小さい区間で通電すると、トルクを補うため部分的に電流値が増加する。電流値を低減させるには、発生トルクが大きい区間で通電すればよいが、実電流が追従できる理想電流指令は電源電圧によって制限されるため、トルクリプルゼロと電流低減の両立が難しい⁽¹⁾。そこで、本稿では、SRMの磁化特性の数式モデルを用いて、解析的にアプローチし、トルクリプルと電流値の同時低減手法を提案する。

2. 提案手法

図1に提案する理想電流指令の導出フローチャートを示す。ある電源電圧下にてリプルゼロで出力可能なトルクを最大化する手法は文献(1)のアルゴリズムを用いる。ここでは、ある電源電圧において、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。 M が最小にな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 を導出し、 $M \geq 0$ が成立するように単独通電開始角 θ_0 、オーバーラップ角 θ_{lap} を決定する。ここでトルクリプルゼロと電流値低減を両立させるためには、 $M \geq 0$ が成立する範囲で発生トルクが大きい区間で通電させる必要がある。ここで、電源電圧に制約がなければ $\theta_{lap}=0$ にでき、通電期間は $[\theta_0, \theta_0+2\pi/mN_r]$ となる。ある電流値 I に対して、この通電期間におけるトルクの積分は、磁化特性⁽²⁾における i - Φ 軌跡の周回積分 S であり、(1)式で表される。

$$S = (f(\theta_{f0} + 2\pi/mN_r) - f(\theta_{f0})) \int_0^I (\Phi_a(i) - \Phi_u(i)) di \dots\dots\dots(1)$$

N_r はロータの極数、 m は相数、 $\Phi_a(i)$ は対向状態の鎖交磁束、 $\Phi_u(i)$ は非対向状態の鎖交磁束、 $f(\theta)$ は非対向状態と対向状態の間の鎖交磁束特性を表現する関数である。定積分の項は定数のため、 S を最大化するには $f(\theta_0+2\pi/mN_r)-f(\theta_0)$ を最大化すればよい。 S を最大化できる θ_{0_Smax} は既存の最大値探索法で求められる。このとき、 S を最大化できる通電期間の中心角 θ_{mid_Smax} は、(2)式で表される。

$$\theta_{mid_Smax} = \theta_{f0_max} + \pi/mN_r \dots\dots\dots(2)$$

一方、実際の通電期間の中心角 θ_{mid} は、(3)で表される。

$$\theta_{mid} = \frac{2\theta_{f0} - \theta_{lap} + 2\pi/mN_r}{2} \dots\dots\dots(3)$$

トルクリプルゼロを達成し、かつ、電流値を低減するには、 $M \geq 0$ が成立する範囲で θ_{mid} を θ_{mid_Smax} に近づければよい。

3. シミュレーション結果

図2に提案法適用時の i - Φ 軌跡、回転速度 1p.u. および 0.25p.u. 時における実電流と出力トルクのシミュレーション結果を示す。図2(1)および(2)より低速時では、電圧制限による電流の傾きの制約が緩和されるため、発生トルクが大きい区間で通電可能となり、高速回転時と比較して低速回転時の電流値が 21.2%低減できていることが分かる。

図3にある電源電圧における回転速度と提案法に基づく理想電流指令の電流実効値の関係を示す。図3より、回転速度が小さく、電源電圧が大きいほど、発生トルクが大きい区間で通電できるため電流値を低減できることが分かる。今後は、実機実験にて、提案手法の妥当性を確認する予定である。

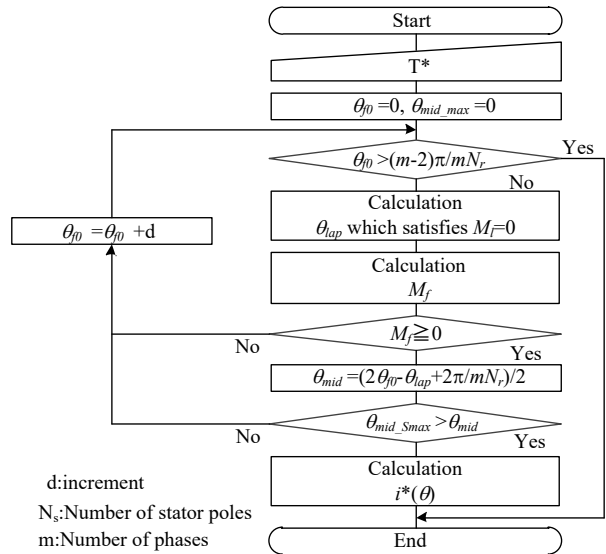


Fig.1. Creating flow for ideal current waveform

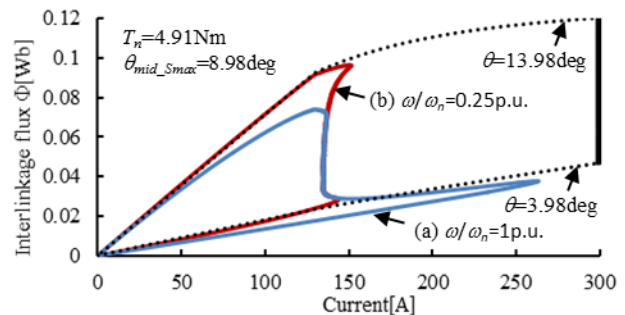


Fig.2.(a). Magnetization characteristic

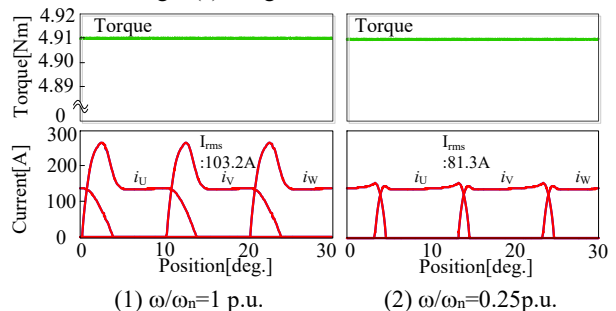


Fig.2.(b). Ideal current waveform and Output torque

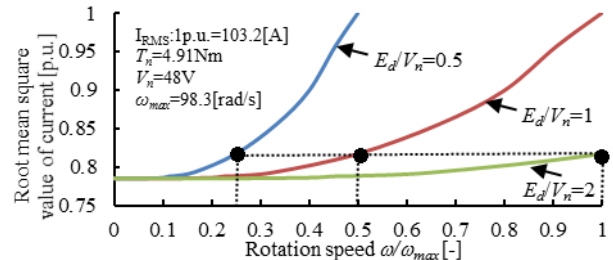


Fig.3. RMS value of current and Rotation speed (ω_{max} : maximum value of rotation speed which can output the rated torque with no torque ripple)

参考文献

- 熊谷, 佐藤, 伊東 : JHES2016, No.A3-20 (2016)
- 見城尚志, 「SR モータ」, 日刊工業新聞社, (2012)