

機電一体向け SRM 昇圧駆動回路の提案

◎大滝 悟史, 加藤 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 電動モビリティの需要増加に伴い製造コストの低下が要求される。そこで, システムの高パワー密度化に最適な機電一体設計が注目されている⁽¹⁾。著者らは永久磁石を使用せず安価で堅牢な Switched Reluctance Motor(SRM)の機電一体設計に着目した。一方で, SRM は騒音や振動が大きいことが課題であり, 解決手段として, これらを低減可能な電流波形で駆動する手法がある⁽²⁾。しかし, 高速域では, DC 電圧よりも高い指令電圧が要求されるため, 昇圧機構が必要になる。

本稿では, 機電一体設計に向けてブーストインダクタを使用しない昇圧駆動回路を提案し, シミュレーションにて動作検証をしたので報告する。

2. 提案昇圧回路およびCの設計法

図1に提案回路構成を, 図2に騒音・振動を低減可能な電流波形および指令電圧波形を示す。なお, 相電流と指令電圧は数値解析により導出した⁽²⁾。提案回路は, 非対称Hブリッジ回路一相ごとに昇圧用のCと切替用スイッチ S_{dc} , S_c を追加している。図2(b)に示すように指令電圧がDC電圧を超える区間では, S_c をONし, 昇圧したC電圧をモータに印加する。その他の区間では, 電気角一周でCの平均電圧が一定となるように制御する。ここで, Cの電荷量を(1)式に示す。

$$Q(\tau) = \int_0^{\tau} i_c(t) dt \begin{cases} i_c = \pm i^* (S_{dc} = 0, S_c = 1) \\ i_c = 0 (S_{dc} = 1, S_c = 0) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

i_c はキャパシタ電流, i^* は相電流である。なお, 電気角一周においてCの平均電圧を一定に保つには(2)式の条件を満たす必要がある。

$$Q(2\pi / \omega_e) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここで, ω_e は電気角周波数である。(2)式を満たすために, 前述した指令電圧がDC電圧を超える区間だけでなく, それ以外の区間においてもC電荷の充放電を行う。

次に昇圧用Cの設計を行う。昇圧用Cの設計式を(3)式に示す。

$$C = \frac{Q_c}{V_{max} - V_c^*} \dots\dots\dots (3)$$

ここで,

$$Q_c = \max\{Q(\tau) | \tau \in [0, 2\pi / \omega_e]\} - \min\{Q(\tau) | \tau \in [0, 2\pi / \omega_e]\} \dots\dots\dots (4)$$

なお, V_{max} はC電圧最大値, V_c^* はC電圧最小値, Q_c は電気角一周のC電荷量の最大値と最小値の差分を示している。ここで, V_{max} は素子耐圧により決定され, V_c は指令電圧絶対値の上限値により決定される。

3. シミュレーション結果

表1に使用したSRMのパラメータを示す。シミュレーションでは V_{max} を500Vとし, V_c は480Vに設定している。また, 昇圧用Cは(3)式より46.6 μ Fと決定した。

図3に速度1.5p.u.での相電流および相電圧波形を示す。図3(a)の従来回路適用時では, 指令電圧がDC電圧より大きい区間では相電圧は $-E_{dc}$ に張り付いており所望の電流に追従できていない。一方で, (b)の提案回路では, 昇圧した電圧を供給することで追従できている。

図4にラジアルカリブル率の低減効果を示す。本稿ではラジアルカリブル率により振動, 騒音の低減効果の評価している。従来回路では高速域になると, 速度起電力の上昇に伴い指令電圧がDC電圧より高くなる区間が増えるため,

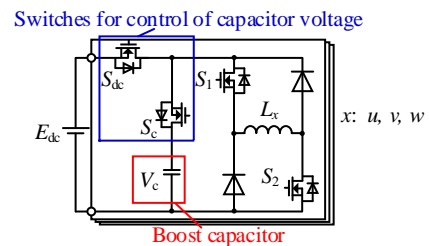
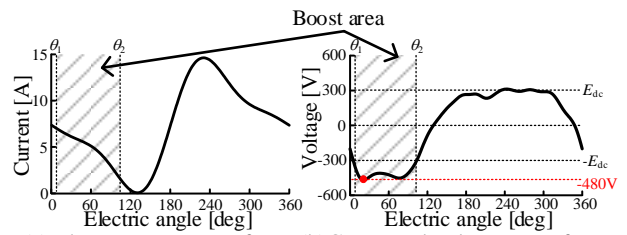


Fig.1 Proposed circuit.

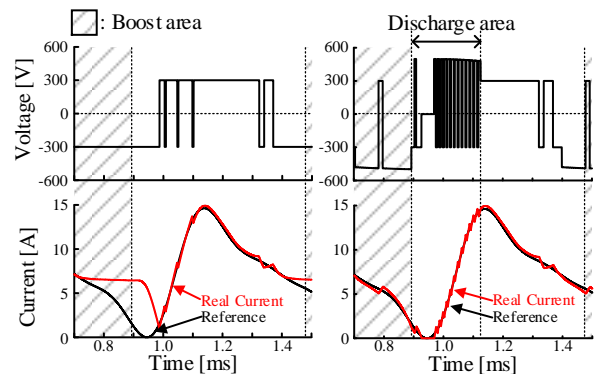


(a) Phase current waveform (b) Command voltage waveform

Fig.2 Waveforms to reduce radial force ripple.

Table 1 Motor parameters.

Rated power	2.2kW
Base speed(1.0p.u.), Max. speed	4800, 7200rpm
Max. torque(1.0p.u.)	4.38Nm
DC voltage	300V
Poles	Stator:18, Rotor:12
Resistance	0.66 Ω



(a) Conventional circuit (b) Proposed circuit

Fig.3 Phase current and voltage waveforms in each circuit.

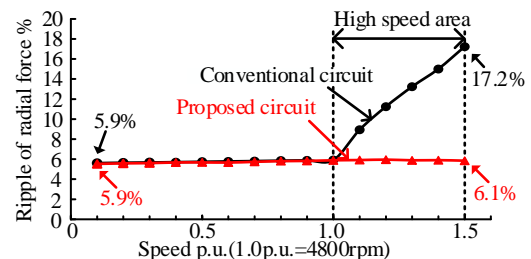


Fig.4 Relationship between speed and radial force ripple.

電流指令に追従できなくなり, リプル率が最大17.2%となる。一方で, 提案回路ではリプル率を常に5.9%に低減できていることから提案回路の効果を確認できた。今後は, 実験検証を行う予定である。

参考文献

1. 川副洋介, 他 : 2021年電気学会産業応用部門大会講演論文集, No.3-S12-3, pp.99-104 (2021)
2. J. Furqani, et.al : IEEE Trans., Vol.54, No.1 pp.213-222 (2018)