

集中巻独立二重三相 PMSM を用いた 6 次ラジアル力と 6 次トルクリプル抑制制御法

◎添田 拓巳, 芳賀 仁 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

集中巻永久磁石同期モータ(PMSM)は, 巻線構造が簡単である一方, 振動騒音の課題がある。集中巻 PMSM が引き起こす振動に, 電気角周波数の 6 の整数倍(6,12,18,...)に発生するトルクリプル^[1], および磁石と巻線によってラジアル方向に発生するラジアル力がある^[2]。本稿では, 独立二重三相集中巻 PMSM を対象に回転座標軸電流に 6 次の高調波電流を重畳することにより電気角 6 次のラジアル力の抑制を検討する。また, 巻線ずれをもつ構造から電気角 6 次トルクリプル抑制を狙う。電気角 6 次のラジアル力抑制と電気角 6 次トルクリプル抑制をシミュレーションによって確認したので報告する。

2. ラジアル力およびトルクリプル抑制方法

本稿で着目する独立二重三相 PMSM は, Fig. 1 に示すように 2 つの三相巻線セット[U,V,W]および[X,Y,Z]を有し, その位置関係は機械角で 30 度のずれを持つ。提案方式では奇数の極対数を持つモータのみを対象とし, 本稿では 10 極 12 スロットを想定する。この場合, 電気角 6 次トルクリプルは, 構造により打ち消し合う。独立二重三相巻線 PMSM は, 巻線同士に磁気干渉が発生するため, 文献[3]に示されている巻線セット間の非干渉化を導入する。

回転座標変換を式(1)のように定義し, 文献[3]記載の磁気非干渉化を施した座標変換を式(2)に示す。

$$T_p(\delta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \delta & \cos(\delta - 2\pi/3) & \cos(\delta + 2\pi/3) \\ -\sin \delta & -\sin(\delta - 2\pi/3) & -\sin(\delta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_{DQ}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} T_p(\theta) & T_p(\theta - \alpha) \\ T_p(\theta + \pi/2) & T_p(\theta - \alpha - \pi/2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

この変換により, 新たに非干渉化 DQ 軸[D1,Q1,D2,Q2]が定義される。通常の三相巻線構造を持つ集中巻 PMSM の電気角 6 次のラジアル力は, 先行研究[2]より, d 軸, q 軸電流に 6 次の高調波電流を重畳することで抑制できる。本稿では D2 軸, Q2 軸に高調波電流を重畳することでラジアル力を抑制する。高調波電流を重畳した DQ 軸電流指令値 I_{DQ}^* を式(3)とする。ここで, I_{6th} は重畳する電気角 6 次高調波電流の振幅, θ は磁極位置, θ_{6th} は重畳する高調波電流の位相である。 I_{D1} , I_{Q1} は D1 軸および Q1 軸電流指令値であり, 速度やトルク指令によって変動する。

$$I_{DQ}^* = [I_{D1} \quad I_{Q1} \quad I_{6th} \cos(6\theta + \theta_{6th}) \quad I_{6th} \sin(6\theta + \theta_{6th})]^T \quad (3)$$

3. シミュレーションによる検討

Fig. 2 に制御ブロックを示す。ラジアル力の測定点は, U 相ティースの先端中央部とした。対象のモータを機械速度 1200 rpm で一定速回転を与え, D1 軸, Q1 軸電流指令値に一定の電流指令, D2 軸, Q2 軸に高調波電流指令を与える。抑制効果の評価として, 電気角 6 次高調波電流の有無で 2 通りのシミュレーションを行ない, その際に発生するラジアル力, トルクの高調波解析によって比較する。

Fig. 3 にシミュレーション結果を示す。(a),(c)は発生するラジアル力の高調波解析結果を示す。電気角 6 次に相当する 600 Hz のラジアル力成分が 10.6 N(w/o i_{6th})から 1.32 N(with i_{6th})となり, 88%の低減を確認した。電気角 6 次トルクリプルは, 3.68×10^{-3} Nm(w/o i_{6th}), 4.90×10^{-3} Nm(with i_{6th})となり, トルク 0 次成分と比較して 0.1~0.2%と微小であることから, 構造によって抑制されているといえる。

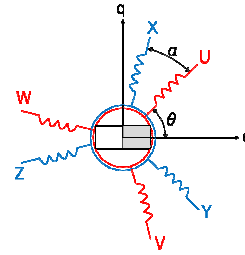


Fig. 1 Winding arrangement of double-winding PMSM

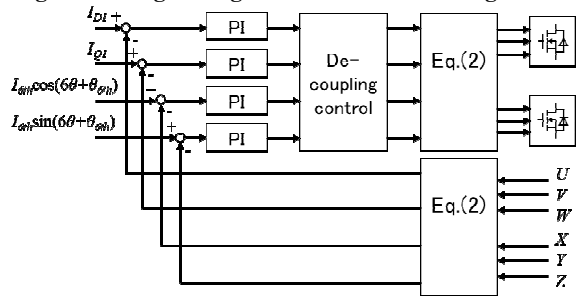


Fig. 2 Proposed control system

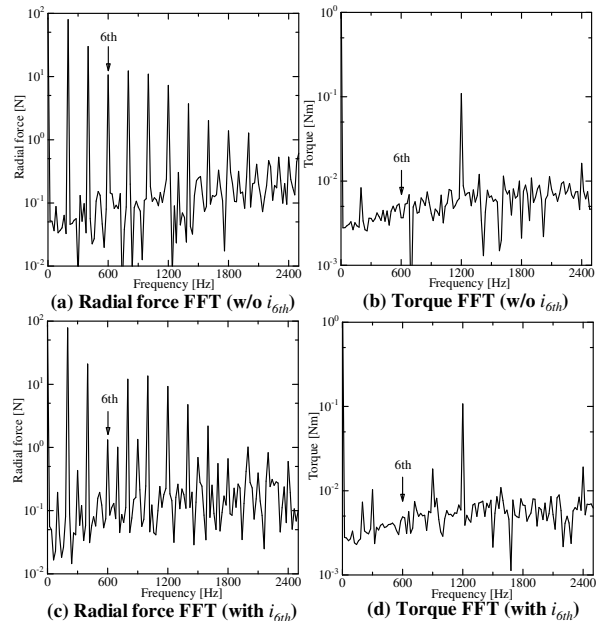


Fig. 3 Simulation results

4. まとめ

本稿では, 独立二重三相 PMSM の回転座標軸電流に高調波電流を重畳することで電気角 6 次ラジアル力の抑制を, モータ構造によって電気角 6 次トルクリプルの抑制が行なえることをシミュレーションで検討した。電気角 6 次ラジアル力は, 高調波電流重畳により 10.6 N(w/o i_{6th})から 1.32 N(with i_{6th})となり, 88%の低減を確認した。電気角 6 次トルクリプルは, 3.68×10^{-3} Nm(w/o i_{6th}), 4.90×10^{-3} Nm(with i_{6th})となり, トルク 0 次成分と比較して 0.1~0.2%と微小であることから, 構造によって抑制されているといえる。

参考文献

- [1] 川井, 芳賀, 近藤 : 電学論 D, Vol.134, No.2 pp.127-138 (2014)
- [2] 綿引, 他 : 電学論 D, Vol.139, No.8 pp.708-716 (2019)
- [3] Kallio, Andriollo, Tortella, and Karttunen : *IEEE trans. on I.E.*, Vol.60, No.6 pp.2486-2494 (2013)