

集中巻固定子巻線を有するIPMモータのインダクタンス分布

◎ 丸山 徹 野口 季彦
(長岡技術科学大学)

1. はじめに 集中巻固定子巻線を有する内部永久磁石形同期電動機(集中巻IPMモータ)の正弦波電圧駆動時に、電流は正弦波から大きく歪んだ波形となる。本稿では、この原因として考えられる回転子座標からみたインダクタンスの回転角依存性を明らかにし、数学モデルとして表現することを検討したので報告する。

2. 回転子座標インダクタンスの変動 Fig. 1に本稿で検討する集中巻IPMモータの断面図を示す。同図のように固定子巻線が60°毎に施された特殊な形状となるため、回転方向のリラクタンス分布は一様にならない。また集中巻では隣り合う固定子歯で磁気回路を構成するために固定子磁束の分布に多くの高調波(空間高調波)が含まれる。空間高調波はモータの構造的な要因によるものであるから、その磁気的影響はロータ回転角に依存する。ここでは、集中巻IPMモータの回転子座標からみたインダクタンス L_d, L_q が回転角の関数として変動すると考える。

3. 実験結果

〈3.1〉インダクタンス分布の測定 供試機に1500[W]、4[極]の集中巻IPMモータを使用し、回転子磁極の方向を d 軸、それと直交する方向を q 軸として各軸のインダクタンスを測定した。回転子を固定した状態で、角度に応じた三相電圧指令値をリニア電源装置により純正弦波で与える。電圧指令値の実効値はインダクタンスの飽和を考慮して3種類とした。オシロスコープのASCIIデータで得られた三相電圧、電流を再び回転子座標へ変換し、(1)によりインダクタンスを求める。

$$L = \frac{\sqrt{(v/i)^2 - R_a^2}}{\omega} \quad (1)$$

但し、 L 、 v 、 i はそれぞれ回転子座標上のインダクタンス、電圧、電流であり、 R_a は電機子抵抗、 ω は電源角周波数である。

Fig. 2(a), (b)に測定により得られた L_d, L_q を示す。先に述べたような理由から、特に同図(a)では回転角によって大きく値が変動していることがわかる。これらを回転角の関数として定式化すると、(2), (3)のように表わされる。

$$L_d = L_{d0} \{ (1 - k_d) + k_d \cos 12\theta_m \} \quad (2)$$

$$L_q = L_{q0} \{ (1 - k_q) - k_q \cos 12\theta_m \} \quad (3)$$

ここで k_d, k_q はインダクタンスの振幅に関する係数である。

〈3.2〉計算機シミュレーションによる検証 Fig. 3(a)は集中巻IPMモータに純正弦波電圧を印加してオープンループで回転させた時の電流波形を測定したものである。また、Fig. 3(b)は L_d, L_q を(2), (3)のように与え、オープンループを模擬してシミュレーションを行なった電流波形である。このときの振幅係数は測定結果に基づき、それぞれ $k_d=0.15, k_q=0.00$ とした。これらの波形がほぼ同一であることから、本稿で検討した数学モデルの妥当性が確認できる。

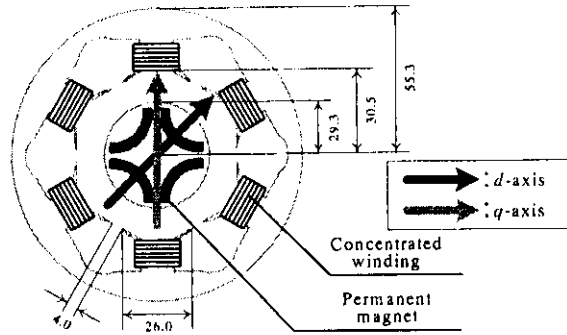


Fig. 1. PM motor with concentrated stator windings.

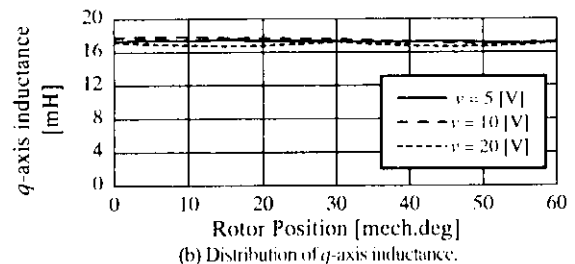
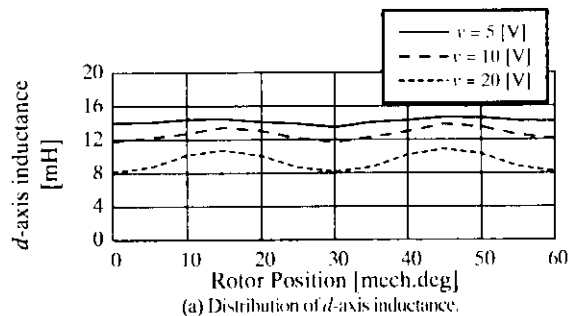


Fig. 2. Experimental results of inductance.

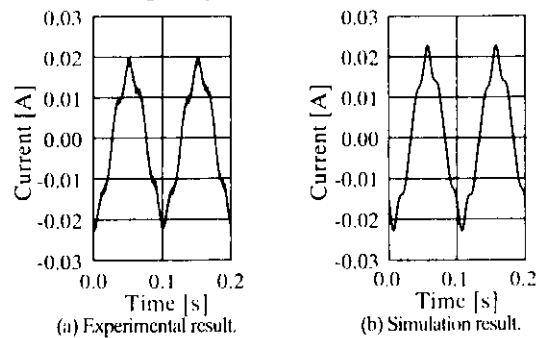


Fig. 3. Waveforms of line current.

4. まとめ

本稿では集中巻IPMモータの駆動電流に含まれる歪みを空間高調波によるインダクタンス変動と考え、その回転角依存性について調べた。測定で得られたインダクタンスの関数を用いてシミュレーションを行なった結果、実機と同様の電流波形を得ることができ、提案する数学モデルの妥当性を示すことができた。

参考文献

[1] 丸山, 野口:「永久磁石モータの空間高調波に着目した磁極位置推定法の検討」 電気学会産業応用部門大会, 419-420 (平14)