

非正弦波状インダクタンス分布を持つ集中巻 IPMSM のシミュレーションモデル

伊藤 健・西澤 是呂久・熊谷 崇宏・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

埋込型永久磁石同期電動機(IPMSM)の電圧電流方程式は、インダクタンス分布や鎖交磁束分布が正弦波状であることを前提としている。しかし、集中巻 IPMSM の場合、インダクタンス分布が高調波成分を有する非正弦波状になることが知られている⁽¹⁾。集中巻 IPMSM をベクトル制御する場合、この高次高調波成分を考慮できないため、モータ効率の低下やトルク脈動の発生、位置推定誤差の増加が報告されている⁽²⁾。この時の制御応答性や制御性能を評価するには、非正弦波状インダクタンス分布の特性を模擬したシミュレーションモデルが必要である。

本論文では、非正弦波状のインダクタンス分布を模擬したモータモデルを作成し、相間インダクタンスをシミュレーションにて測定し、理論値と比較して妥当性を検証する。

2. モータモデル作成法

IPMSM の電圧電流方程式を(1)式に示す。

$$\begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_u & pM_{uv} & pM_{wu} \\ pM_{uv} & R_a + pL_v & pM_{vw} \\ pM_{wu} & pM_{vw} & R_a + pL_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_u \\ e_v \\ e_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 L_x は各相の電機子自己インダクタンス、 M_{ab} は各相間の相互インダクタンス、 e_x は各相の速度起電力、 R_a は各相の電機子巻線抵抗、 i_x は各相の電機子電流、 v_x は各相の電機子電圧、 $p=d/dt$ は微分演算子である。(1)式のU相の電圧方程式において、 $p(i_u)$ に関して整理すると、(2)式が得られる。

$$p(i_u) = \frac{1}{L_u} (v_u - R_a i_u - M_{uv} p(i_v) - p(M_{uv}) i_v - M_{wu} p(i_w) - p(M_{wu}) i_w - p(L_u) i_u - e_u) \quad (2)$$

(2)式より、電機子電圧 v_u が印加されたときの電機子電流の時間微分 $p(i_u)$ が求まる。 $p(i_u)$ を時間積分することで、モータモデルに流れる電機子電流 i_u が求められる。

図1に(2)式から導出した、動的インダクタンスと静的インダクタンスの両方を考慮したモデルを示す。それぞれの自己インダクタンスおよび相互インダクタンスは n 次高調波成分を考慮すれば、(3)式のように表わされる。

$$\begin{cases} L_u = l + L_a - \sum_{k=1}^n L_{ask} \cos k(2\theta) \\ L_v = l + L_a - \sum_{k=1}^n L_{ask} \cos k(2\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{uv} = -\frac{1}{2} L_a - \sum_{k=1}^n L_{ask} \cos k(2\theta - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 l は漏れインダクタンス、 L_a は有効インダクタンスの平均値、 L_{asn} は n 次高調波の有効インダクタンスの振幅である。

3. シミュレーション結果

図2に正弦波状インダクタンス分布($n=1$)および二次高

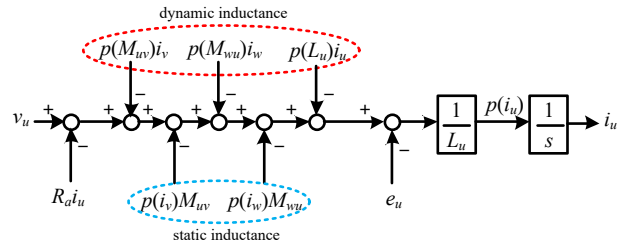
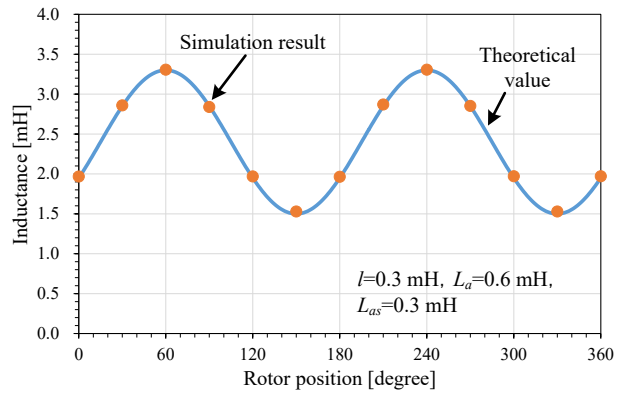
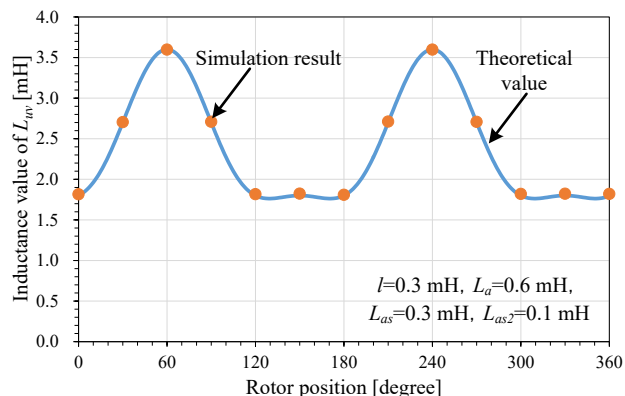


Fig.1. Block diagram of the IPMSM in U-phase.



(a) Sinusoidal distribution.



(b) In addition to secondary harmonic.
Fig. 2. U-V inductance distribution.

調波を含む非正弦波状インダクタンス分布($n=2$)における磁極位置ごとの U-V 間インダクタンスのシミュレーションによる測定結果を示す。U-V間インダクタンスは、(4)式の通りに計算できる。

$$L_{uv} = 2 \left\{ l + \frac{3}{2} L_a + \frac{3}{2} \sum_{k=1}^n L_{ask} \cos k(2\theta - \frac{2\pi}{3}) \right\} \quad (4)$$

シミュレーションにて測定した相間インダクタンスが理論値と一致していることから、正確にインダクタンス分布が模擬できていることがわかる。

今後は、作成したモータモデルを用いた非正弦波状インダクタンス分布が制御応答に与える影響の評価および電流応答改善方法、位置推定方法について検討する。

文 献

- (1) 内藤他, 半導体電力変換研究会, SPC-10-008, pp. 47-52(2010).
- (2) 北条他, 産業応用部門大会, 1-105, pp. I-499 - I-502(2004).