

磁束演算フィードバック形ベクトル制御における 磁束シミュレータの離散化誤差

研究開発
レター

正員 野口季彦 (長岡技術科学大学)
正員 近藤正示 (長岡技術科学大学)

学生員 山田和範 (長岡技術科学大学)
正員 高橋勲 (長岡技術科学大学)

Discrete Time System Based Estimation Errors in Flux Simulator of Field-Oriented Control
Toshihiko Noguchi, Member, Kazunori Yamada, Student Member, Seiji Kondo, Member, and Isao Takahashi, Member
(Nagaoka University of Technology)

キーワード：誘導電動機，磁束演算フィードバック形ベクトル制御，磁束シミュレータ，離散化誤差，観測座標

1. 緒言

近年，誘導電動機のベクトル制御もデジタル化が進み，離散時間系特有の問題を対象とした研究が重要性を増してきた^{(1),(2)}。そのひとつに磁束フィードフォワード(F F)形とフィードバック(F B)形による離散化誤差の相違を指摘した報告がある⁽²⁾。本稿ではF B形について磁束演算における観測座標の相違が離散化誤差の本質的な原因であり，F B形でも離散化誤差を低減し得ることを明らかにする。

2. 二次磁束シミュレータの構成と伝達特性

周知のようにF F形ベクトル制御では誘導電動機の磁束およびトルク発生機構の逆ダイナミクスを有する逆シミュレータが制御系で用いられる。このときフィードフォワード的に磁束を扱うため，操作量となる一次角周波数 ω で回転する磁束($d-q$)座標上で逆シミュレータを構成することができる。これに対して図1に示したF B形ベクトル制御では一次電流ベクトル i_1 から二次磁束ベクトル ψ_2 を演算フィードバックして d, q 軸の電流制御を行う。図2は磁束シミュレータの構成を連続時間系で示したものである。フィードバック量として磁束を扱うため，固定子($\alpha-\beta$)座標か回転子($\gamma-\delta$)座標で磁束シミュレータが構成される。

次に図2の磁束シミュレータについて，それらの微分方程式をサンプリング周期 T の差分方程式として離散化し，パルス伝達関数を求めると次式のようになる。

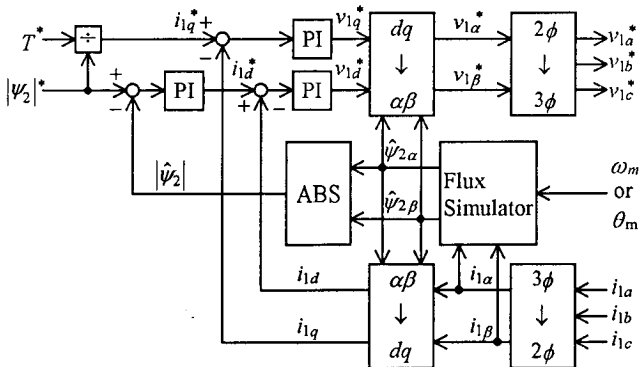


図1 磁束演算フィードバック形ベクトル制御系
Fig. 1. Flux feedback type field-oriented control system.

$$G_{\alpha\beta}(z) = \frac{M\tau_2^{-1}T}{(z + \tau_2^{-1}T - 1)^2 + (\omega_m T)^2} \begin{bmatrix} z + \tau_2^{-1}T - 1 & -\omega_m T \\ \omega_m T & z + \tau_2^{-1}T - 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$G_{\gamma\delta}(z) = \frac{M\tau_2^{-1}T}{z + \tau_2^{-1}T - 1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

ただし， ψ_2 ： ψ_2 の各軸成分， i_1 ： i_1 の各軸成分， $\omega_m = p\theta_m$ ：回転子角速度， τ_2 ：二次時定数， M ：相互インダクタンスである。図3は $T=103[\mu s]$ ， $\tau_2=116[ms]$ ， $M=51[mH]$ として求めた連続時間系および離散時間系各座標モデルの伝達特性である。ここでは実際の動作周波数を考慮して，すべりに対する i_1 と ψ_2 の振幅比，位相角をプロットした。同図(b)の $\gamma-\delta$ 座標モデルでは連続時間系と離散時間系の特性がよく一致し，しかも ω_m に対する依存性は見られない。このように $\gamma-\delta$ 座標モデルはすべり周波数に相当する低周波領域でのみ動作するため，離散化誤差がほとんど生じない。しかし，(a)の $\alpha-\beta$ 座標モデルでは同期速度近傍でゲインに大きな離散化誤差が生じるとともに，すべりの増加にともない位相角にも離散化誤差が発生する。また， $\alpha-\beta$ 座標モデルは一次周波数に相当する高周波領域で動作するため， ω_m が高くなるほど離散化誤差が増大する。このような離散化誤差により，図1の制

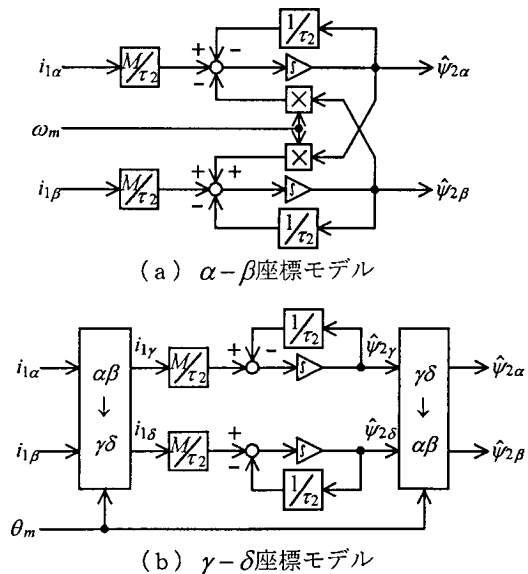


図2 二次磁束シミュレータの構成
Fig. 2. Configurations of secondary flux simulators.

御系では励磁電流の減少や ψ_2 と d 軸の不一致(いわゆる軸ずれ)という問題が生ずる。以上のように連続時間系では両座標モデルとも同一の伝達特性を示すが、離散時間系では磁束演算時の観測座標によって特性が大きく異なる。

3. 実験による離散化誤差の検証

ここでは一次電流に対する磁束シミュレータの応答を連続時間領域で解き、離散時間系の実験結果と比較することにより観測座標に依存した離散化誤差を検証する。いま(3)式の一次電流を連続時間系の磁束シミュレータに入力すると、同期運転の場合、その応答は(4)式ようになる。

$$\begin{bmatrix} i_{1\alpha} \\ i_{1\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m \cos \alpha t \\ I_m \sin \alpha t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\psi}_{2\alpha} \\ \hat{\psi}_{2\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MI_m (1 - e^{-\tau_2^{-1}t}) \cos \omega_m t \\ MI_m (1 - e^{-\tau_2^{-1}t}) \sin \omega_m t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

これは磁束シミュレータの収束時間が二次時定数に支配され、一次電流の振幅が一定であれば観測座標や運転周波数によらず一定振幅の磁束推定値が得られることを示している。しかし、離散時間系では図4に示した同期運転の実験結果のように、観測座標によって時間応答が異なる。いずれも(4)式の形になっているが、 $\gamma-\delta$ 座標モデルでは運転周波数によらず一定振幅の磁束推定が行われるのに対し、 $\alpha-\beta$ 座標モデルは運転周波数に対応して大きな離散化誤差を生じていることがわかる。このとき離散化の影響で高速運転時の振幅が低速運転時の約2倍となっているが、これは図3(a)における伝達特性の差(6[dB])と符合する。

4. 結言

F形ベクトル制御では $d-q$ 座標上で逆磁束シミュレータを構成するため、本質的に離散化誤差を生じない。これに対してF形では磁束シミュレータを構成する座標により、伝達特性が大きく左右される。 $\alpha-\beta$ 座標モデルでは大きな離散化誤差を生ずるが、 $\gamma-\delta$ 座標モデルではほぼ完全に離散化誤差を除去することができる。

(平成7年10月6日受付)

文 献

(1) 山田和範, 野口季彦, 近藤正示, 高橋 勲: 「ベクトル制御の磁束シミュレータにおける離散化誤差の検討」電学北陸支部大, 20~21 (平6-9)

(2) S. Doki, K. Takahashi and S. Okuma: "Slip Frequency Type and Flux Feedback Type Vector Controls in Discrete Time System," IPEC-Yokohama, 778-783 (1995)

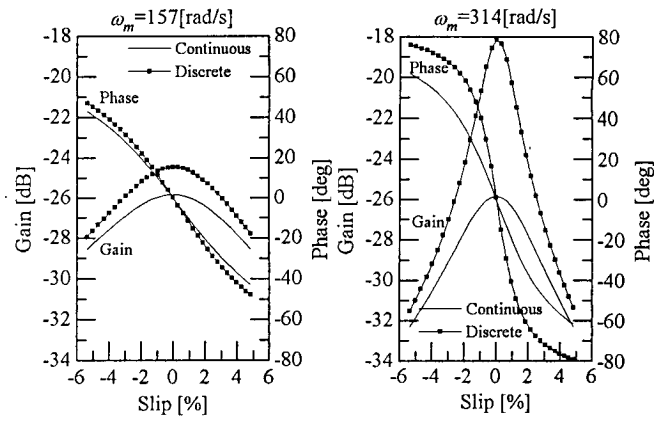
野口 季彦 (正員) 電学論D, 116巻2号参照。

山田 和範 (学生員) 1972年4月13日生まれ。平成3年長岡技術科学大学入学, 現在同大学院電気・電子システム工学専攻在学中。誘導機の高性能トルク制御法, ならびに永久磁石形同期電動機の磁極位置センサレス制御法に関する研究に従事。

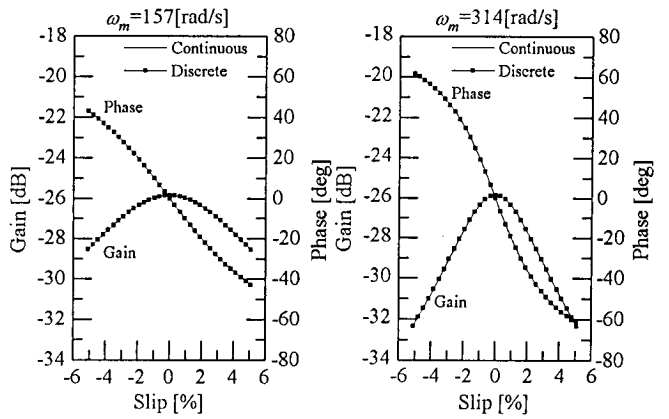


近藤 正示 (正員) 電学論D, 116巻2号参照。

高橋 勲 (正員) 電学論D, 116巻2号参照。



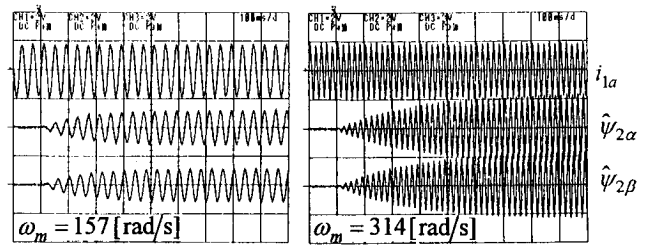
(a) $\alpha-\beta$ 座標モデルの伝達特性



(b) $\gamma-\delta$ 座標モデルの伝達特性

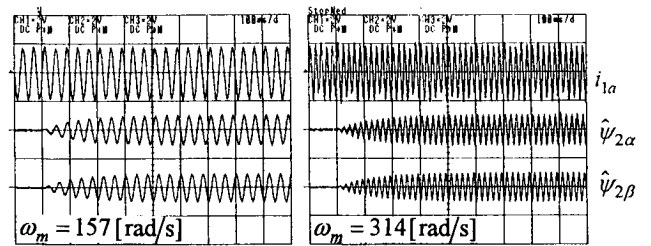
図3 各座標モデルの伝達特性

Fig. 3. Transfer characteristics of each coordinate model.



i_{1a} 7.3[A/div], $\hat{\psi}_{2\alpha}$ 0.8[Wb/div], $\hat{\psi}_{2\beta}$ 0.8[Wb/div],
 t 100[ms/div], T 103[μs]

(a) $\alpha-\beta$ 座標モデルの応答



i_{1a} 7.3[A/div], $\hat{\psi}_{2\alpha}$ 0.8[Wb/div], $\hat{\psi}_{2\beta}$ 0.8[Wb/div],
 t 100[ms/div], T 103[μs]

(b) $\gamma-\delta$ 座標モデルの応答

図4 時間応答の実験結果

Fig. 4. Experimental results for time responses.