

# A-21 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 離散化誤差の実験的検証

野口 季彦 山田 和範 近藤 正示 高橋 勲  
(長岡技術科学大学)

1 はじめに 磁束シミュレータをデジタル化した場合、運転周波数によっては離散化誤差を生じる。本稿では種々の座標における磁束シミュレータについてデジタルシミュレーションを行うとともに、実験による離散化誤差の検証を行ったので報告する。

2 磁束シミュレータの離散化と時間領域における応答  
固定子(dq)座標において誘導機の二次磁束 $\psi_2$ と一次電流 $i_1$ の関係を離散化すると次式のようになる。

$$\begin{bmatrix} \psi_{2d}(k+1) \\ \psi_{2q}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{R_2}{L_{22}}T & -\omega_m T \\ \omega_m T & 1 - \frac{R_2}{L_{22}}T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{2d}(k) \\ \psi_{2q}(k) \end{bmatrix} + M \frac{R_2}{L_{22}} T \begin{bmatrix} i_{1d}(k+1) \\ i_{1q}(k+1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

同様に回転子( $\alpha\beta$ )座標では(2)式のようになる。

$$\begin{bmatrix} \psi_{2\alpha}(k+1) \\ \psi_{2\beta}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{R_2}{L_{22}}T & 0 \\ 0 & 1 - \frac{R_2}{L_{22}}T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{2\alpha}(k) \\ \psi_{2\beta}(k) \end{bmatrix} + M \frac{R_2}{L_{22}} T \begin{bmatrix} i_{1\alpha}(k+1) \\ i_{1\beta}(k+1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

次に一次電流 $i_1$ を(3)式のように入力した場合の応答を連続時間領域で解くと(4)式のように求められる。

$$\begin{bmatrix} i_{1d} \\ i_{1q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m \cos \omega t \\ I_m \sin \omega t \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_{2d} \\ \psi_{2q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{MI_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2}\right)^2}} \left[ \cos \left( \omega t - \tan^{-1} \frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2} \right) \right] \\ \frac{MI_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2}\right)^2}} \left[ \sin \left( \omega t - \tan^{-1} \frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2} \right) \right] \\ - e^{-\frac{R_2}{L_{22}}t} \cos \left( \omega_m t - \tan^{-1} \frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2} \right) \\ - e^{-\frac{R_2}{L_{22}}t} \sin \left( \omega_m t - \tan^{-1} \frac{(\omega - \omega_m)L_{22}}{R_2} \right) \end{bmatrix} \quad (4)$$

これは磁束シミュレータの収束時間が二次時定数で決定され、指数関数的に振幅が増大する正弦波になることを示している。特に(4)式で同期運転の場合を考えると、 $\omega = \omega_m$ とおけるので(5)式のように簡単化される。

$$\begin{bmatrix} \psi_{2d} \\ \psi_{2q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MI_m \left( 1 - e^{-\frac{R_2}{L_{22}}t} \right) \cos \omega_m t \\ MI_m \left( 1 - e^{-\frac{R_2}{L_{22}}t} \right) \sin \omega_m t \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 3 シミュレーションと実験による離散化誤差の検証

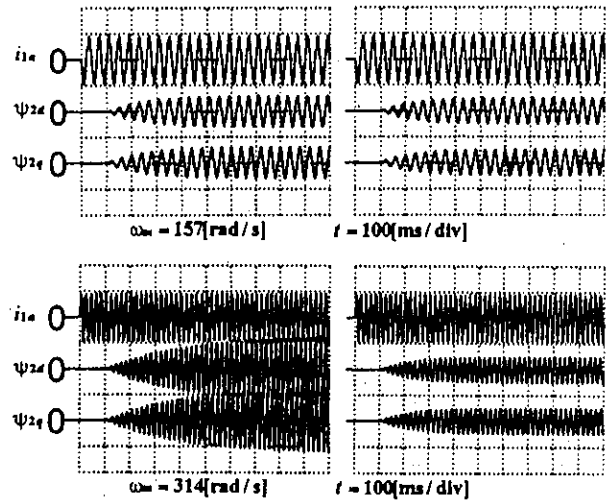
(1)式と(2)式に基づき各座標で磁束シミュレータを構成し、デジタルシミュレーションを実施した結果を図1に示す。これは同期運転の場合を示しており、磁束の応答は(5)式の形になる。これらからdq座標モデルでは離散化による誤差を生じ、磁束の振幅が運転周波数に依存することがわかる。すなわち、高速時は低速時に対して約二倍の振幅となり、このような誤差を無視することはできない。しかし、 $\alpha\beta$ 座標モデルでは高速時と低速時の差異は認められない。次に、実験結果を図2に示す。こちらもシミュレーションと同様の

条件でDSP(TMS320C25)を用いて実験をしており、両者がよく一致していることがわかる。

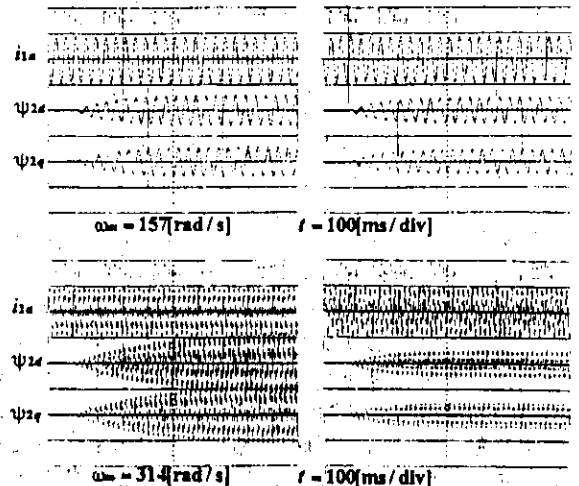
4 まとめ 本論文では観測する座標により磁束シミュレータに大きな離散化誤差が生ずることをデジタルシミュレーションと実験により示した。磁束フィードバック形ベクトル制御で磁束シミュレータを用いる場合、以上のような離散化誤差を考慮しなければ所期の制御特性は得られないと考えられる。

参考文献 (1)堀「誘導機の磁束オブザーバの離散形実現と電動機定数変動に対する低感度化」電学論D, 108, 7, p. 665(昭63-7)

$L_{22}/R_2 = 116[\text{ms}]$  二次時定数  $M = 51[\text{mH}]$  相互インダクタンス  
 $T = 103[\mu\text{s}]$  サンプリング周期  $\omega_m$  回転子角速度  
 $i_{1\alpha} = 7.3[\text{A/div}]$  一次電流  $\psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta} = 0.8[\text{Vb/div}]$  二次磁束



(a) dq座標モデルの応答 (b)  $\alpha\beta$ 座標モデルの応答  
図1 シミュレーション結果



(a) dq座標モデルの応答 (b)  $\alpha\beta$ 座標モデルの応答  
図2 実験結果