広速度範囲の誘導電動機制御に用いるパラメータ 適応二次磁束オブザーバの提案

正 員 久保田 寿 夫 (明治大) 正 員 松 瀬 貢 規 (明治大)

Flux Observer with Parameter Adaptation for Wide Speed Range Induction Motor Control

Hisao Kubota, Member, Kouki Matsuse, Member (Meiji University)

キーワード：オブザーバ，適応機構，誘導電動機，ベクトル制御

1. ま え が き

誘導電動機制御において，従来から用いられていた磁束演算器は幾つかの欠点があった。すなわち，固定子回路に基づくモデルによるものは，純粋な積分動作を必要とし，低速域では使用できず，また回転子回路に基づくモデルは二次抵抗誤差に対する感度が高いという欠点をもつ。一方，近年提案されたオブザーバ理論に基づく磁束演算器は，純粋積分が不要で，二次抵抗に対する感度も比較的下げられる⁽¹⁾。ただし，二次抵抗に対する感度を完全には零にできない。また，二次抵抗と同様に温度に対して変化するパラメータの一次抵抗の影響については論じられていない。本論文では，まず適応機構をもたない磁束オブザーバでは一次抵抗，二次抵抗の誤差とも，磁束推定誤差の原因となることを示す。次に，これらのパラメータの適応的な同定が可能な二次磁束オブザーバを提案する⁽²⁾。

2. 誘導電動機の二次磁束オブザーバ

誘導電動機は固定座標上で次のように記述できる。

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_s \\ \dot{\phi}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ \phi_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} v_s \dots\dots\dots (1)$$

ただし，

$$\begin{aligned} i_s &= [i_{ds} \quad i_{qs}]^T : \text{一次電流} \\ \phi_r &= [\phi_{dr} \quad \phi_{qr}]^T : \text{二次破束} \\ v_s &= [v_{ds} \quad v_{qs}]^T : \text{一次電圧} \\ A_{11} &= -\{R_s/(\sigma L_s) + (1-\sigma)/(\sigma \tau_r)\} I \\ A_{12} &= M/(\sigma L_s L_r) \{ (1/\tau_r) I - \omega_r J \} \\ A_{21} &= (M/\tau_r) I, \quad A_{22} = -(1/\tau_r) I + \omega_r J \\ B_1 &= 1/(\sigma L_s) I, \quad \sigma = 1 - M^2/(L_s L_r), \quad \tau_r = L_r/R_r \\ I &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

表 1 試料誘導電動機定格
Table 1. Ratings of induction motor.

3.7 kW,	200 V,	15 A
50 Hz,	1,420 rpm,	4 極

図 1 磁束フィードバック形ベクトル制御系
Fig. 1. Flux feedback vector control system.

(1)式から，状態変数を推定するための磁束オブザーバを次式のように構成する。

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_s \\ \dot{\hat{\phi}}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{A}_{11} & \hat{A}_{12} \\ \hat{A}_{21} & \hat{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_s \\ \hat{\phi}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{B}_1 \\ 0 \end{bmatrix} v_s + G(\hat{i}_s - i_s) \dots\dots\dots (2)$$

ただし， $\hat{\cdot}$ ：状態変数およびパラメータの推定値

3. ベクトル制御系へのパラメータ誤差の影響

適応機構をもたないオブザーバにより推定した二次磁束を誘導電動機制御に使用した場合のパラメータ誤差の影響を検討する。制御系構成は図1に示す磁束フィードバック形のベクトル制御系とする。この影響の度合は G に関係するが，ここでは $G=0$ としておく。

図2は負荷トルクを 20 N・m とし，一次抵抗および二次時定数の推定値に誤差がある場合の指令トルクと実トルクの比を示している。一次抵抗に誤差がある場

図 2 パラメータ誤差の発生トルクへの影響
Fig. 2. Influence of parameter variation on generated torque.

合、磁束フィードバック形では低速になるほどトルク誤差が大きくなっている。また、二次時定数に誤差がある場合、磁束フィードバック形では滑り周波数形に比べ大きく改善されているが、低速時にはやはりトルク誤差を生じている。これらの影響を除去する方法として、パラメータを適応的に同定することを考える。

4. パラメータ適応二次磁束オブザーバ

一次抵抗および二次時定数を適応的に同定するために、(2)式に次のパラメータ調整則を付加する。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\hat{R}}_s &= \lambda_1 e_{ids} \text{sign}(i_{ds}) \\ \dot{\hat{\tau}}_r &= -\lambda_2 e_{iqs} \text{sign}(v_{qs} - \hat{R}_s i_{qs}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $e_{ids} = \hat{i}_{ds} - i_{ds}$, $e_{iqs} = \hat{i}_{qs} - i_{qs}$,
 λ_1, λ_2 : 正, $\text{sign}(x)$: x の符号

この調整則は一次電流の推定誤差を減少させるようにパラメータを変更するように決定した。パラメータが抵抗であるから、抵抗にかかる電圧（あるいは電流）の符号によりパラメータを増すか減らすかを判断している。この調整則は力行時のみに行うこととする。

パラメータ同定結果の一例を図3に示す。パラメータ推定値の初期値は一次抵抗が真値の1.2倍、二次時定数が真値の0.8倍である。なお、 $\lambda_1=0.2$, $\lambda_2=0.03$ とした。図4はパラメータ同定が十分行われた後の指令トルクと実トルクとの比を示している。なお、パラメータの初期値、負荷トルクは図3と同様である。指令どおりのトルクを出力していることがわかる。

5. ま と め

二次磁束オブザーバにパラメータ適応機構を付加することにより、磁束推定特性および誘導電動機制御特性を著しく改善できることを示した。

(平成元年10月24日受付)

図 3 パラメータ同定結果
Fig. 3. Results of parameter adaptation.

図 4 同定完了後の発生トルク特性
Fig. 4. Generated torque after adaptation.

文 献

- (1) 堀, 他: 電気学会研資, IIC-89-18 (平元)
- (2) 久保田, 他: 電気学会研資, IEA-89-18 (平元)

久保田 寿 夫 (正員)

松 瀬 貢 規 (正員)

昭和59年3月明治大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年4月同大学工学部助手、平成元年4月同理工学部助手、現在に至る。工学博士。計測自動制御学会、IEEE 会員。

昭和46年3月明治大学大学院工学研究科博士課程修了。同年4月同大学工学部専任講師、助教授を経て、54年4月同教授、平成元年同理工学部教授、現在に至る。工学博士。55年3月～7月アメリカ・アイオワ州立大学客員教授。計測自動制御学会、IEEE 会員。