

## 誘導電動機のパラメータ同定に対する鉄損の影響

正員野口季彦（長岡技術科学大学）

学生員 大 村 竹 秀 (長岡技術科学大学)

准員平石大地(電氣興業)

Influence of Iron-Core Loss on Parameter Identification of Induction Motor

Toshihiko Noguchi, Member, Takehide Omura, Student Member (Nagaoka University of Technology), Daichi Hiraishi, Associate (Denki Kogyo Co., Ltd.)

This study focuses on influence of the iron-core loss resistance on parameter identification of a field-oriented induction motor. The rotor resistance can be identified insensitively to the stator resistance using reactive power. However, the identification error still remains due to model mismatch caused by the iron-core loss resistance. This paper discusses an analytical aspect of the identification error characteristic.

キーワード：鉄損、誘導電動機、パラメータ同定、瞬時無効電力

## 1. はじめに

固定子鉄損抵抗を考慮した誘導電動機の方程式や間接形ベクトル制御法はすでに報告されている<sup>(1)</sup>。一方、ベクトル制御の軸ずれを補償するためには回転子抵抗（時定数）のオンライン同定が不可欠であり、固定子抵抗に不感な手法も確立されている<sup>(2-4)</sup>。しかし、鉄損補償とパラメータ同定のいずれか一方でも欠くシステムは現実問題として意味をなさず、両者を同時に考慮してシステムティックに制御特性の改善を図る必要がある。本稿では、励磁インダクタンスと回転子抵抗の同定機構を有するベクトル制御系で、鉄損抵抗が同定特性に及ぼす影響を検討したので報告する<sup>(5,6)</sup>。

## 2. 固定子鉄損とパラメータ同定への影響

〈2・1〉 鉄損を考慮した誘導電動機の数学モデル 鉄損を考慮した誘導電動機は(1)のように表すことができる<sup>(1)</sup>。ただし、 $R_c$ は固定子の等価鉄損抵抗であり、定常状態では励磁インダクタンスに直列接続されていると考えられる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v}_{sdq} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + R_c + pL_s + j(\omega L_s - pk_c) \\ \omega_s k_c + pM + j(\omega_s M - pk_c) \end{bmatrix} * \\ * \begin{bmatrix} R_c + pM + j(\omega M - pk_c) \\ R_r + \omega_s k_c + pL_r + j(\omega_s L_r - pk_c) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sdq} \\ i_{rdq} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $k_c = R_c/\omega$ である。また、回転子磁束と出力トルクは(1)より以下のように導かれる。

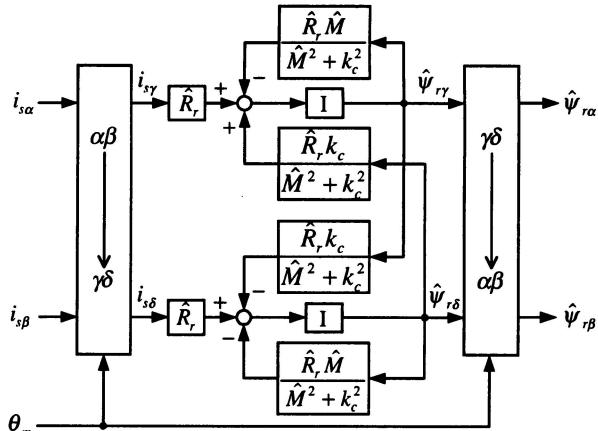


図 1 鉄損抵抗を含む磁束推定器

Fig. 1. Flux estimator with iron-core loss resistance.

以上の式で  $R_c = 0$  とおけば、従来の鉄損を考慮しない数学モデルと等しくなる。(1) および (2) より、回転子磁束は次式のアルゴリズムで推定することができる。

$$\hat{\psi}_{r\alpha\beta} = e^{j\theta_m} \frac{\hat{M}(i_{s\alpha\beta}e^{-j\theta_m})}{\frac{\hat{M}^2}{\hat{M}^2 + k_c^2} + \left(p - j\frac{\hat{R}_r k_c}{\hat{M}^2 + k_c^2}\right) \frac{\hat{M}}{\hat{R}_r}} \quad \dots (4)$$

図1は鉄損抵抗を考慮した回転子磁束推定器であり、鉄損抵抗を介して2軸間の干渉が生じていることがわかる。

## 〈2・2〉 パラメータ同定に対する鉄損の影響 瞬時無

効電力に着目することで、固定子抵抗の変動に対して不感なパラメータ同定を実現することができるが、誘導電動機の数学モデルに鉄損抵抗が導入されていないためモデル誤

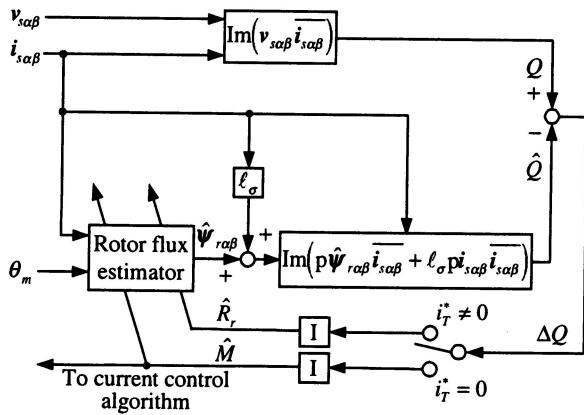


図2 パラメータ同定機構

差に起因したパラメータ同定誤差を生じる(2-4)。

図2に励磁インダクタンスと回転子抵抗の同定機構を示す。本手法では、無負荷時に励磁インダクタンス、負荷時に回転子抵抗を同定し、原理的には両者とも固定子抵抗の影響を受けることなくロバストに同定することができる。

このような構成で、規範モデルとなる瞬時無効電力は(5), その数学モデルは(6)のように表される。

$$\hat{Q} = \text{Im}(p\hat{\psi}_{r\alpha\beta}\overline{i_{s\alpha\beta}} + \ell_\sigma p i_{s\alpha\beta}\overline{i_{s\alpha\beta}}) \dots \dots \dots \quad (6)$$

定常状態において、両者の誤差は次式のように求められる。

$$\Delta Q = \frac{\omega \frac{M^2 + k_c^2}{M} |I_s|^2}{1 + \left( \frac{\omega_s}{R_r} \frac{M^2 + k_c^2}{M} + \frac{k_c}{M} \right)^2} * \\ * - \frac{\omega \frac{\hat{M}^2 + k_c^2}{\hat{M}} |I_s|^2}{1 + \left( \frac{\omega_s}{\hat{R}_r} \frac{\hat{M}^2 + k_c^2}{\hat{M}} + \frac{k_c}{\hat{M}} \right)^2} \dots \dots \dots (7)$$

磁束推定器内のパラメータは、上式の  $\Delta Q$  が零となるよう動的に調節される。図 1 のように鉄損抵抗を考慮した場合、 $\Delta Q \rightarrow 0$  のとき  $\hat{M} = M$  (無負荷時)、 $\hat{R}_r = R_r$  (負荷時) が保証される。しかし、鉄損補償を施さなければ、 $\Delta Q \rightarrow 0$  のとき励磁インダクタンスは真値に収束するものの、回転子抵抗は (8) のように誤った値に収束する。(8) はすべり角周波数  $\omega_s$  の項を含むため、収束値が負荷状態に影響されることを示している<sup>(5,6)</sup>。

$$\hat{R}_r = \frac{R_r}{\sqrt{\frac{k_c^2}{M^2} + \frac{2R_r k_c}{\omega_s M^2} + 1}} \dots \dots \dots (8)$$

### 3. 計算機シミュレーションによる検証

シミュレーションにおける電動機パラメータは表1に示す値とし、実機モデルの鉄損抵抗は運転周波数の関数として

表 1 供試機のパラメータ  
Table 1. Parameters of test motor.

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| Stator resistance $R_s$          | 0.32 [Ω]  |
| Rotor resistance $R_r$           | 0.25 [Ω]  |
| Stator inductance $L_s$          | 45.5 [mH] |
| Rotor inductance $L_r$           | 42.5 [mH] |
| Leakage inductance $\ell_\sigma$ | 3 [mH]    |
| Magnetizing inductance $M$       | 42.5 [mH] |

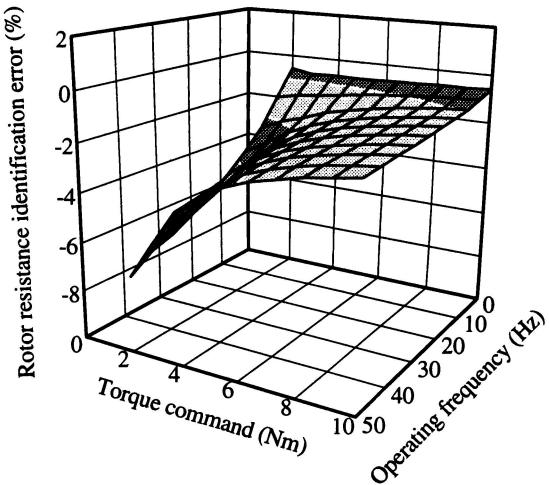


図3 回転子抵抗の同定誤差特性  
Fig. 3. Rotor resistance identification error.

オフラインで実測したものを用いた。図3に鉄損補償を施さない場合の回転子抵抗同定誤差特性を示す。これより、全運転領域において鉄損抵抗の影響により同定値が真値  $0.25[\Omega]$  より小さな値に収束し、運転条件によっては最大 8[%] の誤差を生じることがわかる。

#### 4. まとめ

本稿ではパラメータ同定機構を有するベクトル制御系において、固定子鉄損抵抗が回転子抵抗の同定に与える影響を理論およびシミュレーションにより明らかにした。

(平成13年5月2日受付)

文 献

- (1) 水野, 高山, 市岡, 寺嶋:「固定子鉄損を考慮した誘導電動機の非干渉制御法」電学論 D, **109**, 11, 841-848 (平1)
  - (2) L.J.Garcés, "Parameter Adaption for the Speed-Controlled Static AC Drive with a Squirrel-Cage Induction Motor," *IEEE Trans. Ind. App.*, **16**, 2, 173-178 (1980).
  - (3) K.Tungpimolrut, F.Z.Peng, and T.Fukao, "Robust Vector Control of Induction Motor without Using Stator and Rotor Circuit Time Constants," *IEEE Trans. Ind. App.*, **30**, 5, 1241-1246 (1994).
  - (4) T.Noguchi, S.Kondo, and I.Takahashi, "Field-Oriented Control of an Induction Motor with Robust On-Line Tuning of Its Parameters," *IEEE Trans. Ind. App.*, **33**, 1, 35-42 (1997).
  - (5) 平石, 野口:「鉄損を考慮した誘導電動機の直接形ベクトル制御とオンラインパラメータ同定」電学全大, **986**, 1, 51-55 (平11)
  - (6) T.Noguchi, and D.Hiraishi, "Core Loss Compensation of Direct Field-Oriented Induction Motor Incorporating Robust Parameter Identification," *IEEE IECON*, **3**, 1409-1414 (1999).