観測波を使った誘導モータの回転子抵抗値推定について†

谷 本 浩 一*・長 田 朗*

On Estimation of the Rotor Resistance of an Induction Motor Using a Test Signal†

Hirokazu TANIMOTO* and Akira NAGATA*

Several speed sensorless control drives of induction motor have a disadvantage that the rotor resistance variation causes the estimation error. This paper proposes a rotor resistance estimation method which using a test signal.

Key Words: induction motor, sensorless vector control, adaptive observe

1. はじめに

誘導モータのベクトル制御を行なうには、正確なモータ定数が必要である。なかでも、回転子の抵抗値は、モータ運転時の温度変化により変化してしまうことから、運転時の回転子抵抗値の推定は、特に重要である。そして、その推定法としては、二つの信号波を入力した上で、適応形オブザーバを使用して推定する方法¹⁾などが提案されているが、今回は、観測用信号を使用するものの、オブザーバを使用せずに、回転子抵抗値を推定する方法を提案する。

2. 回転子抵抗値推定

誘導モータの固定子、回転子の抵抗およびインダクタンスをそれぞれ、 R_s , L_s , R_r , L_r , 相互インダクタンスを M とし、角速度 ω で回転する回転座標系 (γ - δ 座標系) で等価回路を考えると、モータの回路方程式は、つぎようになる。

$$V_s = \{(R_s + pL_s)E + J\omega L_s\} I_s + (pME + J\omega M)I_r \quad (1)$$

$$0 = (pME + J\omega M)I_s + \{(R_r + pL_r)E + J\omega L_r\} I_r \quad (2)$$

ただし、

$V_s = [v_{s\gamma} \ v_{s\delta}]^T$: 固定子電圧

$I_s = [i_{s\gamma} \ i_{s\delta}]^T$: 固定子電流

$I_r = [i_{r\gamma} \ i_{r\delta}]^T$: 回転子電流

ω_{sl} : すべり周波数, p : 微分演算子

$$J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

また、モータに入力される電力 P_{in} と、発生するトルク T は²⁾,

$$P_{in} = I_s^T V_s + I_r^T V_r \quad (3)$$

$$T = PM(I_s^T J I_r) \quad (4)$$

ただし、 P : 極対数

となる。いま、モータに角速度 ω の観測波を入力し、定常状態になったと仮定すると、(1) 式、(2) 式、(3) 式から、

$$I_s^T V_s = R_s \|I_s\|^2 + R_r \|I_r\|^2 + \frac{\omega_{re}}{P} T \quad (5)$$

ただし、 ω_{re} : モータ角速度 (電気角)

が導かれる。また、トルクも

$$T = \frac{PR_r \|I_r\|^2}{\omega_{sl}} \quad (6)$$

と、表わすことができるので、これを (5) 式に代入すると

$$I_s^T V_s = R_s \|I_s\|^2 + R_r \|I_r\|^2 + \frac{\omega_{re}}{\omega_{sl}} R_r \|I_r\|^2 \quad (7)$$

が得られる。そして、この (7) 式を変形することにより、

$$\frac{\omega}{\omega_{sl}} R_r = \frac{I_s^T V_s - R_s \|I_s\|^2}{\|I_r\|^2} \quad (8)$$

が成立する。なお、回転子電流 I_r は、固定子側の鎖交磁束

$$\Phi_s = L_s I_s + M I_r \quad (9)$$

を考えると、(1) 式、(9) 式から、

$$I_r = \frac{1}{M} (\Phi_s - L_s I_s) \quad (10)$$

$$\Phi_s = \frac{1}{p^2 + \omega^2} (pE - J\omega)(V_s - R_s I_s) \quad (11)$$

となり、固定子電圧 V_s と、電流 I_s から、求めることができる。

(8) 式より、ここで、仮に、

$$\omega \gg \omega_{re} \quad (12)$$

となるような ω を持つ観測波を設定できれば、

$$\frac{\omega}{\omega_{sl}} \approx 1 \quad (13)$$

が言えるので、回転子抵抗値 R_r は、

$$R_r = \frac{I_s^T V_s - R_s \|I_s\|^2}{\|I_r\|^2} \quad (14)$$

となり、実質、固定子電圧 V_s と電流 I_s で表わすことができる。また、(12) 式が成立しない場合には ω_1 , ω_2 という角速度を持つ、二つの観測波を使用して、(14) 式を計算し、得られた抵抗値を R_{r1} , R_{r2} とすると、これらの値と真の抵抗値

† 第 44 回自動制御連合講演会で発表 (2001・11)

* 近畿大学理工学部 東大阪市小若江 3-4-1

* Faculty of Science and Engineering, Kinki University, Higashiosaka

(Received March 22, 2002)

(Revised June 7, 2002)

との間には,

$$R_{r1} = \frac{\omega_1}{(\omega_1 - \omega_{re})} R_r \quad (15)$$

$$R_{r2} = \frac{\omega_2}{(\omega_2 - \omega_{re})} R_r \quad (16)$$

という関係があるので, ここから, 回転子抵抗値 R_r は,

$$R_r = (\omega_2 - \omega_1) \frac{R_{r1} R_{r2}}{(R_{r1} \omega_2 - R_{r2} \omega_1)} \quad (17)$$

と計算できる.

3. シミュレーション結果

Table 1 の誘導モータに対して, まず, 本手法の特性を確認するため, モータ停止時における, 回転子抵抗値の推定結果を Fig.1 に示す. なお, 観測波は二つ使用し, 電圧は振幅の最大値が 0.1V, 周波数は 200Hz と, これとは回転磁界が逆方向に回転する 250Hz の, 三相交流とする.

Table 1 Induction motor constant

Stator resistance	0.407 Ω
Rotor resistance	0.4445 Ω
Stator self-inductance	28.7 mH
Rotor self-inductance	29.1 mH
Mutual inductance	27.1 mH
Poles	3

Fig. 1 Simulation result of rotor resistance estimation

Fig.1 より, シミュレーション開始時には, 大きな推定誤差が見られるが, 約 5sec 程で, それがほぼ 0 になっていることがわかる. つぎに, 回転子抵抗値が変化する状況下で, 適応形オブザーバによる回転速度推定に応用した場合の, シミュレーション結果を示す. ただし, 回転子抵抗値は, シミュレーション開始後 5.5sec で 1.5 倍に変化し, オブザーバの抵抗値更新を行なう際には, 同じく 4.5sec から行なうものとする. Fig.2 が実際の回転速度と推定値を, Fig.3 が実際の回転速度と推定値との誤差を, 示したものであるが, オブザーバ中の回転子抵抗値を補正しない場合は, 抵抗値が変化した後, 回転速度の推定値に, 誤差が発生したままになっている

Fig. 2 Simulation results of estimated rotor speed

が, 本手法による回転子抵抗の推定値を使用して, オブザーバを更新した場合には, 抵抗値の変化後 3sec 程度は, 抵抗値変動が原因の誤差が見られるものの, その後は, オブザーバ本来の誤差に戻っていることがわかる.

Fig. 3 Simulation results of estimated rotor speed error

4. おわりに

観測波を使用した, 回転子抵抗値の推定法を提案するとともに, 回転速度推定用の適応形オブザーバと組み合わせたシミュレーションを行ない, 回転子抵抗変動時に発生する, 回転速度の推定誤差が低減することを確認した.

参考文献

- 1) 久保田, 吉原, 松瀬: 速度センサレスベクトル制御誘導電動機の二次抵抗同定, 電気学会論文誌, **117-D-8**, 940/945 (1997)
- 2) 新中, 榊原, 深澤: 誘導機ベクトル制御のための統一的ベクトル解析, 計測自動制御学会論文誌, **30-7**, 760/766 (1994)