トルクセンサを用いた MRAS による誘導機の二次抵抗同定

正 員 杉 本 英 彦 (福井大)
准 員 川 崎 章 司 (福井大)

Secondary Resistance Identification of Induction Motor based on MRAS with Torque Sensor

Hidehiko Sugimoto, Member, Shoji Kawasaki, Associate (Fukui University)

キーワード：滑り周波数制御式ベクトル制御，二次抵抗同定法，MRAS，トルクセンサ

1. ま え が き

誘導電動機を高性能制御するための滑り周波数制御式ベクトル制御は，二次抵抗の温度変化で，制御性能が劣化するので，二次抵抗の推定値を補正し制御性能の劣化を防ぐ必要がある。既に報告されている二次抵抗同定法は，誘導電動機の電圧を検出し，それを用いて同定を行うものが多い⁽¹⁾が，PWM インバータを使う場合，電圧は低速域では精度良く検出および制御ができないので問題である。

そこで本報告では，このような問題を解消するため，電圧を検出せず，安価になりつつあるトルクセンサ⁽²⁾を用いて誘導電動機の軸トルクを検出し，これを用いて二次抵抗の同定を行うことを提案する。この同定においては，二次抵抗とトルク値の関係がトルク分電流値によって非線形変化するので，VSS (Variable Structure System)を採用してそれに対応している。

2. 二次抵抗同定法

誘導電動機の二次側の状態方程式およびトルクは角周波数 ω で回転する γ - δ 軸上で次式で与えられる。

$$P \begin{bmatrix} \dot{\lambda}_{\gamma r} \\ \dot{\lambda}_{\delta r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_r/L_r & \omega - p\omega_r \\ -(\omega - p\omega_r) & -R_r/L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{\gamma r} \\ \lambda_{\delta r} \end{bmatrix} + \frac{MR_r}{L_r} \begin{bmatrix} i_{\gamma s} \\ i_{\delta s} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$T_e = pM(i_{ss}\lambda_{\gamma r} - i_{\gamma s}\lambda_{\delta r})/L_r \dots\dots\dots (2)$$

滑り周波数制御式ベクトル制御では，(2)式において，トルク制御を簡単にするために，滑り周波数を制御し， $\lambda_{\delta r}$ を 0 にする。そのためには，二次抵抗が正しくわかっていなければならない。そこで，トルクセ

ンサを用いたモデル規範適応システム (以下，MRAS と略記) に基づく二次抵抗同定法を検討する。MRAS に基づく二次抵抗同定法では，実機とその数学モデルの変数の差を求める。いま，誘導電動機の二次側に注目する。(1)，(2)式は非線形であるので，平衡点近傍で線形化する。そして，これに対応する数学モデルの式を差し引いて得られる方程式を導出する。このとき，二次抵抗の同定がうまくいけば $\hat{R}_r = R_r$ となるので，誘導電動機とその数学モデルの平衡点は一致すると考えられるから，次式が得られる。

$$P \begin{bmatrix} \Delta\lambda_{\gamma r} - \Delta\hat{\lambda}_{\gamma r} \\ \Delta\lambda_{\delta r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\hat{R}_{r0}/L_r \\ -\hat{R}_{r0}/L_r \cdot i_{\delta s0}/i_{\gamma s0} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \hat{R}_r/L_r \cdot i_{\delta s0}/i_{\gamma s0} \\ -\hat{R}_r/L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\lambda_{\gamma r} - \Delta\hat{\lambda}_{\gamma r} \\ \Delta\lambda_{\delta r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \frac{Mi_{\delta s0}}{L_r} (\Delta R_r - \Delta\hat{R}_r) \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta T_e - \Delta\hat{T}_e = pM \{ i_{\delta s0}(\Delta\lambda_{\gamma r} - \Delta\hat{\lambda}_{\gamma r}) - i_{\gamma s0}\Delta\lambda_{\delta r} \} / L_r \dots\dots\dots (4)$$

ただし， $\hat{\cdot}$ ：推定値，添字 0：平衡点における値， Δ ：平衡点からの微小変化分

(3)，(4)式から次式が得られる。

$$\Delta T_e - \Delta\hat{T}_e = \frac{-p(M/L_r)^2 i_{\gamma s0} i_{\delta s0}}{s^2 + 2\hat{R}_{r0}/L_r \cdot s} * \left[\frac{s + \hat{R}_{r0}/L_r \{ 1 - (i_{\delta s0}/i_{\gamma s0})^2 \}}{(\hat{R}_{r0}/L_r)^2 \{ 1 + (i_{\delta s0}/i_{\gamma s0})^2 \}} \right] \times (\Delta R_r - \Delta\hat{R}_r) \dots\dots\dots (5)$$

(5)式より，負荷条件により $i_{\delta s0}$ および $-(i_{\delta s0}/i_{\gamma s0})^2$ の符号が変わることがわかる。従って，

図 1 二次抵抗同定器の構成線図
Fig. 1. Block diagram of R_r identifier.

図 2 二次抵抗同定器の構成
Fig. 2. Construction of R_r identifier.

補償要素として、それを考慮した VSS を採用した。

以上のことから、得られる二次抵抗同定器の構成を図 1 に示す。同定器に積分要素が付加してあるのは、その入力が入った後もその状態を保つためである。この図は平衡点近傍の構成線図である。

VSS を、 $(i_{ds0}/i_{rs0})^2 < 1$ のとき $V < 0$ かつ $K > 0$ 、 $(i_{ds0}/i_{rs0})^2 > 1$ のとき $V > 0$ かつ $0 < K < 2\hat{R}_r^2/(VpM^2i_{rs0}^2)$ と設定すると二次抵抗が安定に同定できる。 $i_{ds0}=0$ および $(i_{ds0}/i_{rs0})^2=1$ のときは、(5)式は 0 となり同定できないが、トルク偏差がないため抵抗のずれは問題ないと思われる。

3. シミュレーション

図 2 は微小分で表してきた記号を一般の記号に書き換えて表した二次抵抗同定器の構成である (T_s : トルクセンサによる軸トルク, T : サンプル周期)。トルクセンサにより検出できるトルクは軸トルクであるので、モータの慣性モーメントを加減速するのに必要なトルクは計算で求めている。図 3 は、図 2 に示す二次抵抗同定器を用い、滑り周波数制御式ベクトル制御を行ったときのシミュレーション結果であり、実際にあり得る温度変化と前述の符号が変化する前後で正しく動作するかをシミュレーションしてあり、すべての領域で問題ないことがわかる。(a), (b)図は $(i_{ds0}/i_{rs0})^2 < 1$ のときに、(c), (d)図は、 $(i_{ds0}/i_{rs0})^2 > 1$ のときに対応している。ただし、 $\hat{R}_r$ はあらかじめ $\pm 30\%$ ずらしておき、 γ 軸一次電流指令として定格電流を流し、0.2 秒後に速度指令 30 rpm を、0.3

図 3 二次抵抗同定特性
Fig. 3. Characteristic of R_r identification.

秒後に図に示してある負荷トルクを与えた。

4. あとがき

誘導電動機を滑り周波数制御式ベクトル制御により、二次鎖交磁束軸上で正確に制御するために必要な二次抵抗同定法として、トルクセンサを用いた MRAS に基づく方法を提案し、これにより低速域でも同定が行えることがわかった。

(平成 3 年 4 月 25 日受付)

文 献

- (1) 杉本・玉井:「モデル規範適応システムを適用した誘導電動機の二次抵抗同定法とその特性」, 電学論 B, 106, 97 (昭 61-2)
- (2) 宇津井・佐藤・池田:「磁歪式トルクセンサ」, 電気学会マグネティックス研資, MAG-88-158 (昭 63)

杉本 英彦 (正員)

昭和 18 年 6 月 2 日生。48 年 3 月名古屋工業大学大学院修士課程修了。34 年 4 月～平成 2 年 3 月三菱電機勤務。2 年 4 月福井大学助教授、現在に至る。工学博士。元年電気学会論文賞受賞。

川崎 章司 (准員)

昭和 43 年 7 月 1 日生。平成 3 年 3 月福井大学工学部電気工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科修士課程在学中。電動機制御の研究に従事。