

MRAS를 이용한 유도전동기의 새로운 실시간 회전자 저항 추정 기법

이승명, 강신원, 김래영*
한양대학교

A Novel On-line MRAS Rotor Resistance Identification of Induction Motor Using Magnitude of Rotor Flux

Seung Myung Lee, Shin Won Kang, Rae Young Kim*
Hanyang University

ABSTRACT

본 논문에서는 MRAS(Model Reference Adaptive System)을 이용한 유도 전동기의 회전자 저항을 추정하는 방법을 제안하였다. 슬립 계산은 회전자 저항 값과 연관되어 있기 때문에, 잘못된 회전자 저항 값 정보는 벡터제어의 동특성을 저하시킬 수 있다. 따라서 회전자 저항 값을 정확히 측정 또는 추정이 매우 중요하다. 본 논문에서는 회전자 자속의 크기 기반의 MRAS를 바탕으로 회전자 자속 전압 모델을 기준 모델로 구성하고 회전자 자속 전류 모델을 적응 모델로 구성하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 두 모델 사이의 오차 신호를 영으로 수렴하도록 적응 메커니즘을 구성하여 회전자 저항 값을 추정한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

벡터제어를 활용한 유도 전동기의 제어가 고성능 응용분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 벡터제어를 위해서는 직교하는 자속 성분과 토크 성분을 계산하기 위해 회전자 자속의 위치가 필요하다. 간접벡터제어의 경우는 회전자 자속의 위치를 슬립을 통하여 구하기 때문에 전동기 파라미터에 민감하다는 단점을 가지고 있다. 특히 온도에 따라 민감하게 바뀌는 회전자 저항의 경우, 슬립계산에 악영향을 주는 주요 인자이다. 회전자 저항 값의 변화에 의해 슬립 계산이 잘못된다면, 직교 성분들 사이에 상호 간섭이 발생하여 전체 제어 시스템 성능이 저하된다. 이를 극복하기 위해서는 회전자 저항을 정확히 추정하거나 측정하는 것이 중요하며, 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

다양한 회전자 저항 실시간 추정 방법들 중 MRAS(Model Reference Adaptive System)는 구현이 간단하고 계산 량이 적다는 장점을 가지고 있다. MRAS 기반의 회전자 저항 추정 기술은 회전자 저항 값에 영향을 받지 않는 기준 모델과 회전자 저항 값에 영향을 받는 적응 모델을 이용해서 회전자 저항 값을 추정한다. 모델 선정에 따라 전기기전력, 회전자 자속, 무효 전력 등을 기반으로 한 여러 가지 방법들이 제안되었다.^{[1]~[3]} 본 논문에서는 자속의 크기를 이용한 MRAS 기반의 회전자 저항 추정 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

2. 본론

2.1 제안한 MRAS 기반의 회전자 저항 추정

2.2.1 제안한 MRAS 방법의 구조

MRAS는 기준 모델과 적응 모델로 구성되며, 두 모델 사이의 오차 신호가 영으로 수렴하도록 적응 메커니즘을 구성하여 회전자 저항 값을 추정한다. 본 논문에서 제안한 방법은 식 (1)로 표현된 정지 좌표계에서의 회전자 자속 전압 모델을 기반으로 기준 모델을 구성하고, 식 (2)로 표현된 동기 좌표계에서의 회전자 자속 전류 모델을 적응 모델로 구성한다.

$$p \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^s \\ \lambda_{qr}^s \end{bmatrix} = \frac{L_r}{L_m} \left(\begin{bmatrix} v_{dr}^s \\ v_{qr}^s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s + \sigma L_s p & 0 \\ 0 & R_s + \sigma L_s p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dr}^s \\ i_{qr}^s \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

$$p \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^e \\ \lambda_{qr}^e \end{bmatrix} = -\frac{R_r}{L_r} \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^e \\ \lambda_{qr}^e \end{bmatrix} + \frac{R_r L_m}{L_r} \begin{bmatrix} i_{dr}^e \\ i_{qr}^e \end{bmatrix} + (\omega_e - \omega_r) \begin{bmatrix} \lambda_{qr}^e \\ -\lambda_{dr}^e \end{bmatrix} \quad (2)$$

회전자 자속의 크기는 식 (1)에서 얻은 자속 값을 이용하여 식 (3)과 같이 계산 할 수 있다. 식 (4)는 적응 메커니즘으로 인가되는 오차 신호를 나타내며, 이 값이 영으로 수렴하면 올바른 회전자 저항 추정 값을 얻게 된다. 그림 1에 제안한 MRAS의 회전자 저항 추정 블록도를 나타내었다.

$$\lambda_{dr}^e = \sqrt{\lambda_{dr}^{s2} + \lambda_{qr}^{s2}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \sqrt{\lambda_{dr}^{s2} + \lambda_{qr}^{s2}} - \hat{\lambda}_{dr}^e \quad (4)$$

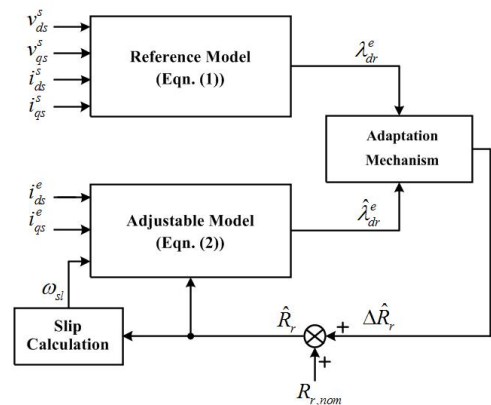


그림 1 제안한 MRAS의 회전자 저항 추정 블록도

2.2.2 제안한 MRAS 방법의 간략화 된 구조

자속 기준 제어를 통해 λ_{qr}^e 을 영이라 가정하면, 식 (2)는 식 (5)와 같이 간단하게 표현될 수 있다. 식 (5)의 상태 오차 방정식이 식 (6)으로 나타나 있다. 적응 메커니즘에 의한 추정된 회전자 저항은 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 그림 2에는 제안한 MRAS 방법의 간략화 된 비선형 시스템의 등가 구조를 나타내었다. 이 비선형 시스템은 Popov's Criterion을 만족시키므로, Hyper stability를 보장한다.

$$p\lambda_{dr}^e = -\frac{R_r}{L_r}\lambda_{dr}^e + \frac{R_r L_m}{L_r}i_{ds}^e \quad (5)$$

$$p\epsilon_d = -\epsilon_d \frac{R_r}{L_r} + \epsilon_r \frac{1}{L_r} \quad (6)$$

$$\hat{R}_r = \Phi_1(\epsilon) + \int \Phi_2(\epsilon) dt = K_p \epsilon_d + \int K_i \epsilon_d dt \quad (7)$$

$$\epsilon_d = \lambda_{dr}^e - \hat{\lambda}_{dr}^e, \quad \epsilon_q = \lambda_{qr}^e - \hat{\lambda}_{qr}^e, \quad \epsilon_r = R_r - \hat{R}_r$$

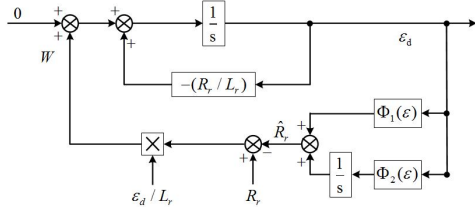


그림 2 회전자 저항 추정 등가 구조

3. 시뮬레이션

표 1. 유도 전동기의 제정수

정격 출력 전력	P_{rated}	2.2[kW]
정격 토크	T_{rated}	14[Nm]
정격 자속	$\lambda_{dr-rated}$	0.4678[Wb]
고정자 저항	R_s	1.193[Ohm]
회전자 저항	R_r	0.6333[Ohm]
고정자 누설 인덕턴스	L_{ls}	0.0073[mH]
자화 인덕턴스	L_m	0.0651[mH]

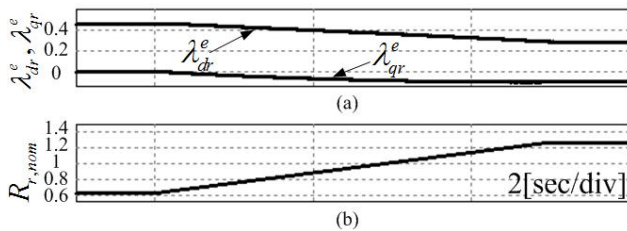


그림 3 회전자 저항 추정을 하지 않을 시의 결과 ($\omega_r=1000$ [rpm], $T_L=7$ [Nm](50%)) (a) d와 q축 회전자 자속 (b) 회전자 저항의 공칭 값

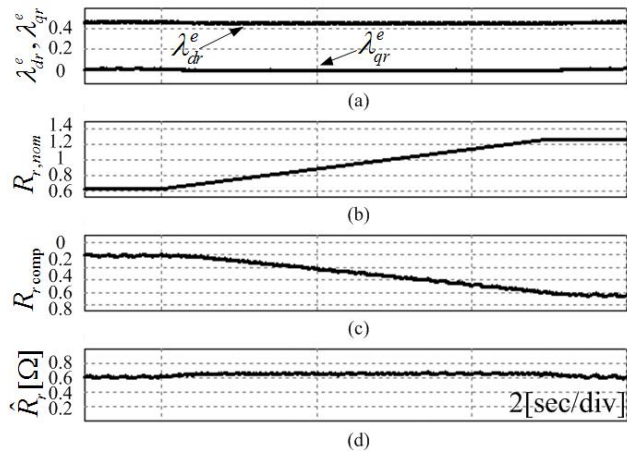


그림 4 회전자 저항 추정시의 결과 ($\omega_r=100$ [rpm], $T_L=7$ [Nm](50%)) (a) d와 q축 회전자 자속 값 (b) 회전자 저항의 공칭 값 (c) 추정된 회전자 저항의 보상 값 (d) 추정된 회전자 저항 값

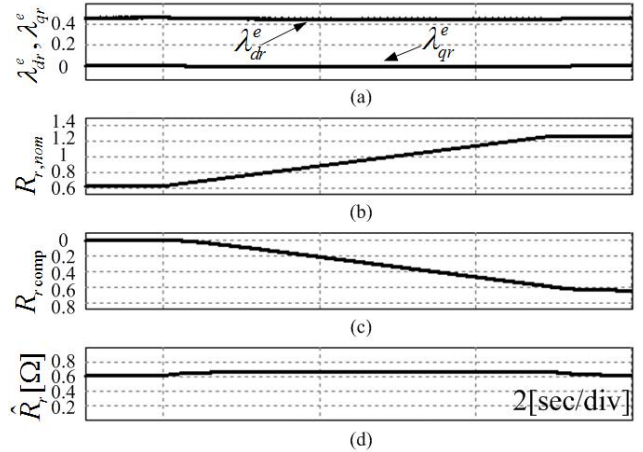


그림 5 회전자 저항 추정시의 결과 ($\omega_r=1000$ [rpm], $T_L=7$ [Nm](50%)) (a) d와 q축 회전자 자속 값 (b) 회전자 저항의 공칭 값 (c) 추정된 회전자 저항의 보상 값 (d) 추정된 회전자 저항 값

시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 유효성을 검증하였으며, 표 1에 시뮬레이션에 사용된 유도 전동기의 제정수를 나타내었다. 시뮬레이션은 회전자 저항의 공칭 값의 변동에 대하여 회전자 저항 추정 여부를 회전자 자속을 통하여 확인하였다. 1000[rpm]에서 회전자 저항 추정을 하지 않는 경우는 자속 기준 제어가 정확하지 않아 λ_{dr}^e 는 정격 자속 값이 아니고, λ_{qr}^e 는 영의 값이 아님을 그림 3을 통해 확인할 수 있다. 그림 4, 5에서는 제안한 MRAS 방법을 적용하여 100[rpm], 1000[rpm]에서 회전자 저항이 제대로 추정 되어 λ_{dr}^e 는 정격 자속 값이고, λ_{qr}^e 는 영의 값을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 새로운 실시간 회전자 저항 추정을 제안하였다. 제안된 방법은 간단하고 구현하기 용이하며, 회전자 저항이 온도에 따라 변하더라도 회전자 저항을 추정하여 높은 성능의 벡터제어를 할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안한 방법의 타당성을 보여 주었다.

참고 문헌

- [1] Lorenz, R. D. (1990). "A simplified approach to continuous on line tuning of field oriented induction machine drives." Industry Applications, IEEE Transactions on 26(3): 420-424.
- [2] Marčetić, D. P. and S. N. Vukosavić (2007). "Speed Sensorless AC Drives With the Rotor Time Constant Parameter Update." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 54(5): 2618-2625.
- [3] Nait Said, M. S. and M. E. H. Benbouzid (1999). "Induction motors direct field oriented control with robust on line tuning of rotor resistance." Energy Conversion, IEEE Transactions on 14(4): 1038-1042.