

MRAC를 이용한 유도전동기의 센서리스 속도제어의 상호비교

진 대원, 김 상균, 박 형준, 권 영안
부산대학교 전기공학과

Comparison of MRAC Schemes of Sensorless Induction Motor

D. W. Jin, S. K. Kim, H. J. Park and Y. A. Kwon
Pusan National University, email: yakwon@hyowon.cc.pusan.ac.kr

Abstract - Speed and position sensors require the additional mounting space, reduce the reliability, and increase the cost of motor. Various control algorithms have been proposed for the elimination of speed sensor. This paper compares several schemes of MRAC for field-oriented control of induction motor without speed and flux sensors. These schemes are based on observing the fluxes, the counter EMF, and the instantaneous reactive power of motor. A review of these schemes of MRAC is presented. Then sensorless drives using each estimation method are compared through simulation and experiment.

1. 서론

최근, 유도전동기에 의한 가변속 제어에서 속도 및 위치센서를 배제하는 알고리즘이 많이 제시되고 있다. [1-2] 본 연구에서는 여러 가지 센서리스 속도제어 방식 중 모델기준 적응제어(MRAC) 기법을 이용한 방식들에 관하여 상호 비교를 수행한다.

유도전동기의 MRAC를 이용하는 센서리스 속도제어 방식으로서 기준모델과 조정모델의 출력에 해당되는 물리량을 회전자자속으로 하는 방식, 역기전력으로 하는 방식 및 순시무효전력으로 하는 방식이 있다. 본 연구에서는 이들 방식을 검토하고 각 방식에서 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 성능을 비교한다.

2. MRAC에 의한 센서리스 속도제어

MRAC에 의한 센서리스 속도제어는 두 추정기의 출력을 비교함으로써 회전자자속을 얻는 방식이

다. 회전자자속이 포함되지 않는 추정기는 유도전동기 기준모델(reference model), 회전자자속이 포함되는 추정기는 조정모델(adjustable model)로 간주할 수 있다. 두 모델에 의해 구한 추정치의 차이를 적응메커니즘에 적용시킴으로써 조정모델 및 제어를 위한 추정속도를 구할 수 있다. 아래에서 두 모델의 출력을 회전자자속, 역기전력 및 순시무효전력으로 하는 방식에 관하여 기술한다.

2.1 회전자자속을 이용하는 MRAC

그림 1은 회전자자속을 이용하는 MRAC에 의한 속도추정 블럭도를 나타낸다.

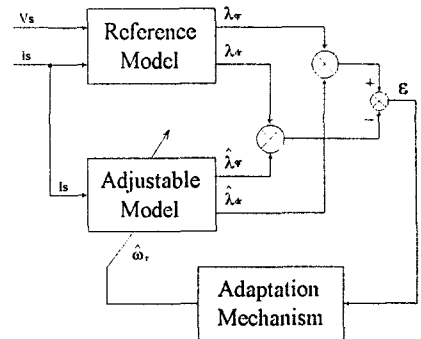


그림 1. 회전자자속에 의한 MRAC의 속도추정

기준모델은 고정자 전압방정식을 이용하고 조정모델은 회전자 전압방정식을 이용한다. 이 두 방정식은 다음과 같다.

$$v_s = R_s i_s + \frac{d\lambda_s}{dt} \quad (1)$$

$$0 = R_r i_r + \frac{d\lambda_r}{dt} + j\omega_r \lambda_r \quad (2)$$

여기에서 각 모델의 회전자자속을 구하고 그 오차를 이용하여 회전자자속을 추정하게 된다. 기준모델과 조정모델에 의한 회전자자속은 다음 식과 같이 구한다.

$$\lambda_r = \int_0^t \frac{L_r}{L_m} (v_s - R_s i_s) dt + \frac{(L_m^2 - L_r L_s)}{L_m} i_s \quad (3)$$

$$\hat{\lambda}_r = \frac{1}{T_r} \int_0^t (j\omega_r T_r - 1) \hat{\lambda}_r dt + L_m i_s \quad (4)$$

그리고 회전자속도는 아래와 같이 추정한다.

$$\hat{\omega}_r = \left(K_p + \frac{K_I}{p} \right) (\hat{\lambda}_r \otimes \lambda_r) \quad (5)$$

2. 2 역기전력을 이용하는 MRAC

그림 2는 역기전력을 이용하는 MRAC에 의한 속도추정 블록도를 나타낸다.

유도전동기의 기본 방정식은 정지기준좌표에서 다음과 같이 된다.

$$V_s = R_s i_s + \sigma L_s \frac{di_s}{dt} + e_m \quad (6)$$

$$\frac{di_m}{dt} = \omega_r \otimes i_m - \frac{1}{T_r} i_m + \frac{1}{T_r} i_s \quad (7)$$

$$\text{단. } i_m = i_s + (L_r/L_m) i_r$$

$$\sigma = 1 - (L_m^2/L_s L_r)$$

$$T_r = L_r/R_r$$

\otimes 와 \odot 은 각각 벡터 외적과 내적을 나타낸다.

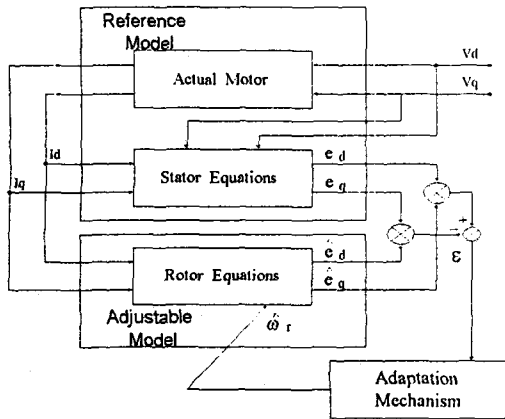


그림 2. 역기전력에 의한 MRAC의 속도추정

식(6)과 (7)로부터 역기전력은 각 모델에서 다음과 같이 된다.

$$e_m = V_s - \left(R_s i_s + \sigma L_s \frac{di_s}{dt} \right) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \hat{e}_m &= \frac{L_m^2}{L_r} \frac{di_m}{dt} \\ &= \frac{L_m^2}{L_r} \left(\omega_r \otimes i_m - \frac{1}{T_r} i_m + \frac{1}{T_r} i_s \right) \quad (9) \end{aligned}$$

그림 2와 같이 식(8)과 (9)를 각각 기준모델과 조정모델의 방정식으로 사용한다.

그리고 회전자속도는 아래와 같이 추정한다.

$$\hat{\omega}_r = \left(K_p + \frac{K_I}{p} \right) (\hat{e}_m \otimes e_m) \quad (10)$$

이상에서, 이 방식은 2.1의 방식에서 포함되는 전압방정식의 적분요소를 배제하는 방식이 된다.

2. 3 순시무효전력을 이용하는 MRAC

순시무효전력을 이용하는 MRAC는 그림 2와 같은 구조이고 모델의 출력을 식(8)에서 나타나는 고정자저항의 영향을 배제하기 위하여 새로운 물리량으로 정의하는 방식이다.

역기전력 벡터와 고정자 전류벡터의 외적으로써 순시무효전력을 나타내는 q_m 을 다음과 같이 정의한다.

$$q_m \equiv i_s \otimes e_m \quad (11)$$

식(8)과 (9)에서 역기전력 대신에 식(11)을 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$q_m = i_s \otimes \left(V_s - \sigma L_s \frac{di_s}{dt} \right) \quad (12)$$

$$\hat{q}_m = \frac{L_m^2}{L_r} \left((i_m \odot i_s) \omega_r + \frac{1}{T_r} i_m \otimes i_s \right) \quad (13)$$

그리고 회전자속도는 아래와 같이 추정한다.

$$\hat{\omega}_r = \left(K_p + \frac{K_I}{p} \right) (\hat{q}_m \otimes q_m) \quad (14)$$

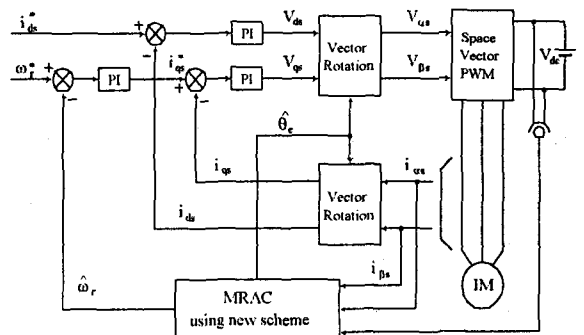


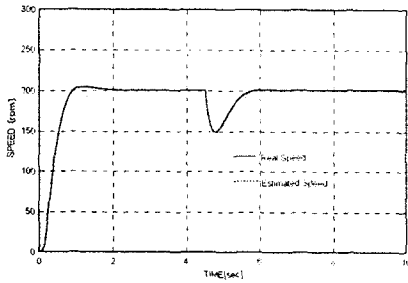
그림 3. 전체 시스템 구성도

3. 시뮬레이션

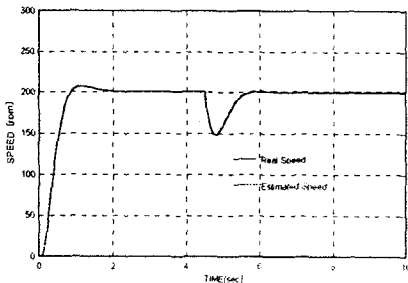
그림 3은 이상에서 기술한 MRAC에 의한 센서리스 속도제어방식의 전체 시스템 구성을 나타낸다.

상기한 방식의 상호 비교를 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 및 실험에 사용된 유도전동기는 3상, 4극, 3hp 전동기이다. 그림 4는 모델 출력을 각각 회전자자속, 역기전력 및 순시무효전력으로 하는 경우에 시뮬레이션한 결과이다.

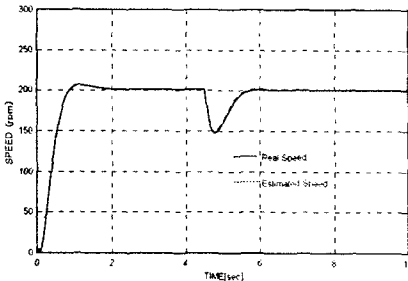
그림 5는 고정자저항의 오차를 20%로 설정하는 경우의 속도응답으로서 모델 출력을 순시무효전력으로 하는 MRAC에서 양호한 속도응답 특성을 보여주고 있다.



(a) 회전자자속인 경우



(b) 역기전력인 경우



(c) 순시무효전력인 경우

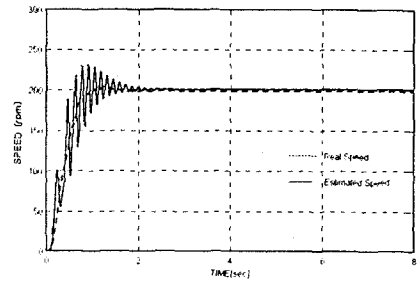
그림 4. 속도응답 (200rpm, 0→10Nm)

4. 실험결과 및 검토

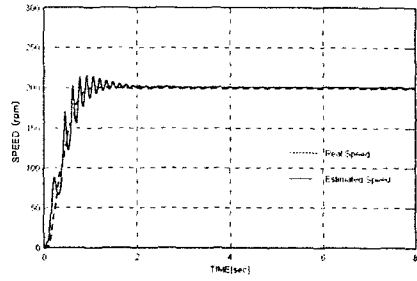
상기한 방식의 검증은 위하여 실험장치를 제작하고 센서리스 속도제어 실험을 수행하였다.

그림 6은 모델 출력을 역기전력으로 하는 경우에 속도지령치 200rpm의 실험결과로서 양호한 속도응답 특성을 보여주고 있다.

5. 결론



(a) 역기전력인 경우



(b) 순시무효전력인 경우

그림 5. 고정자저항 오차 20%에서 속도응답 (200rpm)

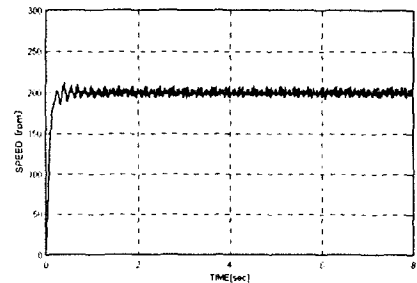


그림 6. 속도응답 실험결과 (200rpm)

본 연구에서는 여러 가지 센서리스 속도제어 방식중 MRAC를 이용하는 방식들에 관하여 상호 비교를 수행하였다. 본 연구에서는 모델의 추정치를 회전자자속으로 하는 경우, 역기전력으로 하는 경우 및 순시무효전력으로 하는 경우에 관하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 결과에서 제시한 바와 같이 순시무효전력으로 하는 경우가 고정자저항 변동에서 우수한 성능을 나타내고 있다.

[참고문헌]

- [1] K.Rajashekara, A.Kawamura and K.Matsuse, *Sensorless Control of AC Motor Drives*, IEEE Press, 1996.
- [2] Colin Schauder, "Adaptive Speed Identification for Vector Control of Induction Motors without Rotational Transducers", IEEE, IA-28, no. 5, pp.1054-1061, 1992