

유도전동기의 순시토크제어를 위한 회전자저항 변동의 적응보상 기법

김 수 곤, 차 정 화, 손 진 균, 전 회 종

숭실대학교 전기 공학과

Adaptative compensation against Rotor Resistance Variation of Induction Machine for Instantaneous Torque Control

Kim Soo-Gon, Cha Jung-Hwa, Son Jin-Geun, Jeon Hee-Jong

Dept. of Electrical Engineering, Soong Sil University

Abstract - The rotor resistance variation has a large effect on the field oriented control system of induction machine. In this paper, the adaptation technique based on MRAC is used to identify the rotor resistance variation. The criterion function used in the adaptation algorithm is the error function of the two reactive powers of the induction motor. The one is obtained from the voltages and the currents of the stator of the induction motor. And the other is estimated from the rotor flux and stator current.

We simulated this control system operated by field oriented control and assured the robustness of the induction motor control system against the rotor resistance variation.

1. 서 론

유도전동기를 서보용으로 사용하려면 고성능 순시토크 제어가 가능해야 한다. 현재 이것이 가능한 제어방법으로는 벡터제어가 널리 알려져 있다. 벡터제어에서는 유도전동기의 회전력을 발생하는 전류를 직류전동기의 계자전류와 전기자 전류에 해당하는 성분으로 분리시켜 제어할 수 있다. 이러한 제어가 가능하려면 공간벡터 평면상에서 유도전동기의 회전자 쇄교자속과 같은 속도로 회전하는 좌표계를 도입하여야 한다. 이러한 좌표계에 대해서는 회전자 쇄교자속이 정지 상태이므로 직류전동기의 계자가 고정되어 있는 것과 동일하게 취급할 수 있다.

그리고 회전자자속과 쇄교상태를 이루는 전류성분벡터만을 분리하여 제어하면 직류전동기와 성능이 동등한 고성능 순시토크제어가 가능하다. 이러한 벡터제어가 가능하려면 공간벡터 평면상에서 회전자 쇄교자속 벡터의 크기와 각도를 정확히 알아내야 한다. 대부분의 경우 전동기 내부의 자속 벡터를 직접 검출하기 힘들기 때문에 유도전동기의 파라미터와 측정된 고정자 전류값을 이용하여 회전자 쇄교자속을 추정하게 된다. 이 때 정확한 자속 추정을 위하여 가장 중요한 것은 회전자 저항값이다. 회전자 저항값은 온도와 표피효과에 의해 변하는데, 회전자 저항값 변동은 직접 측정할 수가 없기 때문에 적절히 보상을 해주지 않으면 실제 저항값과 다른 저항값을 사용하여 자속을 추정하게 되고 정확한 추정연산이 이루어지지 않게 되어 원하는 제어성능을 얻을 수 없다.[1]

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 회전자 쇄교자속 추정연산에 필요한 회전자 저항값이 변동하면 적용제어기법(MRAC)을 사용하여 거의 실제값에 가깝거나 실제값과 같은 회전자 저항값을 얻어낼 수 있는 회전자 저항값 동정 알고리즘을 도입하였다.[2][3] 이 방법은 회전자 저항값의 변동에 강인할 뿐 아니라 회전자 쇄교자속 추정연산에 고정자 저항값을 사용하지 않으므로 고정자 저항값이 변하는 경우에 대해서는 본질적으로 강인한 시스템을 구성할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 제어이론을 전개하고 회전자 저항값 변동과 고정자 저항값 변동에도 강인한 성능을 보이는 토크제어 시스템을 컴퓨터로 시뮬레이션하여 제안한 방법의 타당성을 확인하였다.

2. 시스템 모델링과 제어알고리즘

2.1. 시스템 모델링

유도전동기의 전압, 전류, 토크 방정식을 임의의 각속도 ω 로 회전하는 d-q 좌표계에서 회전자 자속쇄교수에 관하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} v_{dqs} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s + (p+j\omega)L_i & (p+j\omega)\frac{L_m}{L_r} \\ -\frac{R_r}{L_r}L_m & \frac{R_r}{L_r} + (p+j(\omega-\omega_m)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{dqs} \\ \lambda_{dqr} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$T = \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dri} i_{qs} - \lambda_{qri} i_{ds}) \quad (2)$$

단, p 는 미분연산자, T 는 토크, R_s 는 고정자저항, R_r 은 회전자 저항, L_i 은 회전자 자기 인덕턴스, L_m 은 상호 인덕턴스, ω_m 은 회전자 각속도를 나타낸다.

회전자의 자속쇄교수를 알아내기 위하여 자속추정 연산을 하게 되는데 고정자 전압모델을 사용하여 전동기의 단자전압을 보정하여 적분하는 방법은 전동기의 파라미터에는 거의 의존하지 않으므로 고속운전시 정확한 자속추정이 가능하지만 전동기의 기동 및 저속시에는 단자전압의 적분에 오차를 수반하여 정확한 자속 연산을 할 수 없다.[4]

따라서 전동기가 정지해 있을 때에도 자속 관측이 가능하도록 전동기의 전류와 인덕턴스의 꼽으로부터 자속을

추정한다. 그러나 이 경우에는 유도전동기의 회전자 저항값을 포함하여 계산을 해야하므로 온도에 따른 회전자 저항값의 변화에 대한 고려가 필요하다.

식(1)의 두 번째 식의 회전자 전류 모델을 회전자 자속 쇄교수에 대하여 자속추정식을 만들면 다음식과 같이 된다.

$$\hat{\lambda}_{dqs} = \frac{L_m}{1 + (p + j(\omega - \omega_m)) \frac{L_r}{R_r}} i_{dqs} \quad (3)$$

단, ‘^’ 기호는 추정치임을 나타낸다. (3)식에서는 고정자 저항값은 필요치 않고, 회전자저항의 추정치 \hat{R}_r 과 i_{dqs} 와 ω_m 만으로 자속추정 연산이 가능하다. 또한 적분연산이 포함되어있지 않으므로 전술한 바와 같이 정지시에도 이용할 수 있다.

2.2. 제어 알고리즘

전원으로부터 유도전동기에 입력되는 순시 무효전력은 (4)식으로 정의할 수 있으며 전압, 전류 값을 고정자 좌표계에 관하여 변환하여 사용하였다. (1)식의 첫 번째 식을 고정자 좌표계에 관한 식으로 변환하여 회전자 자속 쇄교수를 대입하면 다음과 같다.

$$Q = Im(v_{dqs} i_{dqs}) = \frac{L_m}{L_r} Im(p\lambda_{dqs} i_{dqs}) + L_I Im(pi_{dqs} i_{dqs}) \quad (4)$$

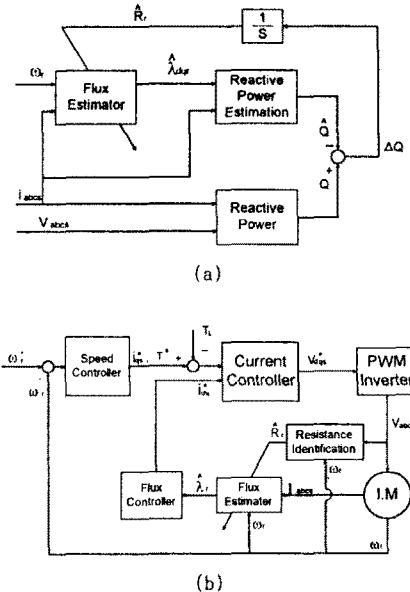
이것은 고정자의 전압과 전류로부터 구할 수 있고, 전동기 파라미터를 사용하지 않는 실제 값이다. 순시 무효전력의 추정치를 고정자 전류와 추정된 자속으로부터 구하기 위하여 식(4)에 회전자쇄교자속 추정치를 대입하여 전개하면 식(5)와 같다.

$$\hat{Q} = \frac{L_m}{L_r} (p\hat{\lambda}_{dqs} i_{dqs} - p\hat{\lambda}_{dri} i_{qs}) + L_I (pi_{qs} i_{dqs} - pi_{ds} i_{qs}) \quad (5)$$

이렇게 구한 두 무효전력의 차이 $\Delta Q = Q - \hat{Q}$ 가 zero가 되면 정확한 자속 추정이 이루어졌다는 뜻이 되고 자속 추정에 사용된 회전자 저항값의 추정치가 실제값과 같다고 할 수 있다. 그러므로 MRAC에 바탕을 둔 적용제어법을 응용하여 ΔQ 를 적분함으로써 회전자 저항값을 동정하게 된다.

그림1 과 같이 적용제어기법(MRAC)을 응용한 동정알고리즘을 사용하기 위하여 본 연구에서는 유도전동기의 순시 무효전력을 기준 모델로 삼았다. 순시 무효전력의 계산을 위해서 필요한 것은 식(4)에서와 같이 고정자의 전압과 전류값이다. 고정자축의 전압과 전류는 전동기 외부에서 직접측정이 가능하므로 실제의 순시무효전력을 구하기가 쉽다. 따라서 MRAC 기법의 적용을 위한 기준 모델로서 적합하다. 기준모델에 대응되는 순시 무효전력의 추정치는 식(3)의 자속추정식을 이용하여 구한다. 식(3)의 자속 추정식에는 실제의 고정자 전류값, 전동기의 회전속도, 인터턴스, 회전자저항 추정값이 필요하다. 저항 추정값 이외의 값들은 모두 실제의 값들이고 인터턴스는 변하지 않는다고 가정하면 결국 회전자 저항값의 추정치를 이용하여 순시 무효전력의 추정치를 구하는 것이 된다. 따라서 기준 모델이 되는 실제의 순시 무효 전력과 회전자 저항값의 추정치를 이용하여 구한 무효 전력의 차이가 zero라면 순시 무효 전력의 추정을 위해 사용한 회전자

저항값의 추정치가 실제의 회전자 저항값과 같다고 볼 수 있다. 실제의 순시 무효 전력과 순시 무효전력의 추정치의 차이를 적분하여 회전자 저항값의 추정치를 실제값에 수렴하도록 한다.



3. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 제안하고 있는 제어기법의 타당성을 검증하기 위하여 디지털 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션에 이용한 전동기의 파라미터와 정격은 표1과 같고 전압형 PWM 인버터를 사용하는 것으로 한다.

R_s	1.45 [Ω]
R_r	0.925 [Ω]
L_s	0.1008 [H]
L_r	0.1002 [H]
L_m	0.0967 [H]
정격전압	250 [V]
정격속도	1500 [rpm]
정기모멘트	14 [Nm]

표. 1 시뮬레이션에 사용된 전동기 파라미터와 정격

먼저 전동기의 운전속도를 1500[rpm]까지 올려 정속도를 유지시킨 후에 0.4[sec] 간격으로 계단형태의 정격 부하토크를 인가하여 시스템의 응답을 관찰하였다.

그림2는 전동기의 회전자 저항값이 운전도중 갑자기 200[*] 변동한 경우이다. 이 파형에서는 실제 자속의 자속지령에 대한 진동이 매우 심하다. 또한 부하토크가 절림에 따라 전동기에서 토크를 발생하는 동안 전동기의 회전속도가 감소하여 속도 변동이 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

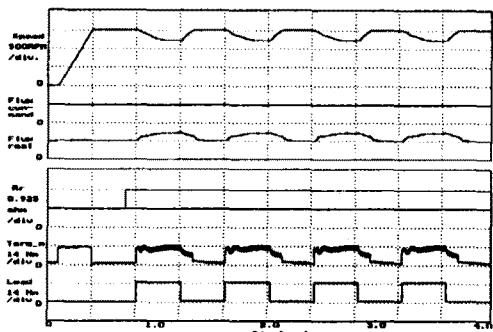


그림.2 회전자저항 200% 변동, 동정하지 않은경우

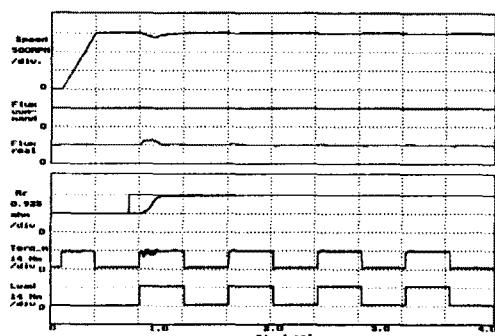


그림. 3 회전자저항 200% 변동, 동정하는 경우

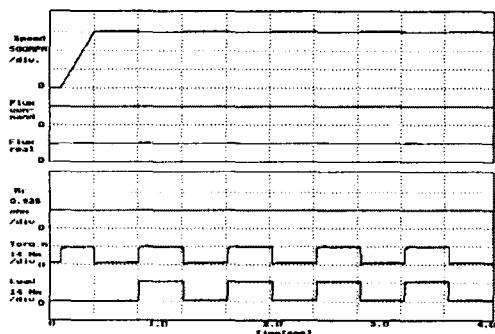


그림.4 고정자저항 200% 변동, 동정하지 않는 경우

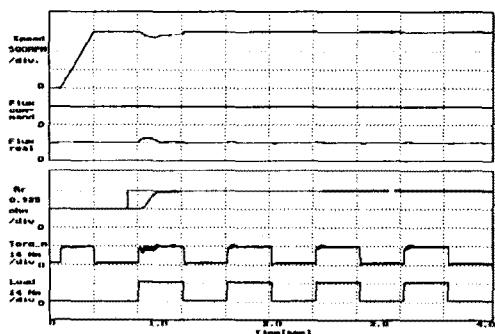


그림. 5 고정자저항 200%, 회전자저항 200% 변동, 동정함

그림3은 그림2의 경우와 마찬가지로 회전자저항값이 감자기 200[%] 변동한 경우이다. 그러나 이 경우는 저항 동정 알고리즘이 동작하고 있다. 자속관측기에 쓰이는 회전자 저항값과 실제 저항값이 차이가 생긴채로 동작을 하지만 0.4[sec] 정도의 시간이 지나면 자속 관측기에 쓰이고 있는 회전자저항값이 실제의 값에 수렴하게 되어 제어성능을 회복한다.

그림4는 고정자저항 값만 200[%] 변하고 저항 동정을 하지 않은 경우이다. 이 과정을 보면 고정자 저항의 변동은 본 연구에서 사용한 자속 관측기에 영향을 주지 못하여 제어성능에 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

그림5는 회전자자속 관측기에 쓰이는 회전자 저항값뿐만 아니라 전동기의 고정자 저항도 200[%]로 변동하였고 동정알고리즘이 동작하는 경우이다. 이 그림5와 그림3을 비교해보면 전동기의 고정자저항값의 변동에 대한 영향은 거의 찾기 힘들다. 또한 회전자저항 변동의 영향에 강인한 시스템임을 알 수 있다.

시뮬레이션을 통하여 회전자 쇄교자속 관측기에 필요한 회전자 저항값을 동정하였고, 그 과정에서 전동기의 고정자 저항값을 필요로하지 않으므로 전동기의 고정자 저항값의 변화에 대해서는 기본적으로 강인한 제어 시스템이 되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 회전자 저항값 변동에 대하여 강인한 유도전동기의 순시토크 제어법을 논하였다. 회전자 전류 모델에 따른 자속 관측기는 적분연산을 필요로하지 않기 때문에 영속도를 포함한 속도제어의 전범위에서 유효한 자속 연산을 행할 수 있고 자속 관측기에 고정자 저항값이 필요하지 않으므로 고정자 저항에 대해서는 본질적으로 강인하다.

고정자 저항값에 의존하지 않는 순시 무효전력을 이용하여 이차저항 동정기구를 구성하였고, 자속관측연산에 필요한 제어변수인 회전자 저항값을 정확히 동정하였다.

참고문헌

- [1] R. Krishnan and F. C. Doran, "Study of parameter sensitivity in high performance inverter-fed induction motor drive systems," IEEE Trans. Industry Applications vol. IA-23, pp. 625--635, July/Aug. 1987
- [2] K. Ohnishi, Y. Ueda, and K. Miyachi, "Model reference adaptive system against rotor resistance variation in induction motor drives", IEEE Trans. Ind. Electron. vol. IE-33, pp. 217--223, Aug. 1986
- [3] T. Towari, R. Kerkman, and D. Leggate, "A simple on-line adaption for indirect field orientation of an induction machine," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 37, pp. 720--727, July/Aug. 1991.
- [4] Slobodan N. Vujosavic et. al, "On-Line Tuning of the Rotor Time Constant for Vector-Controlled Induction Motor in Position Control Applications", IEEE Trans. Industrial Electronics Vol. 40, NO.1, pp. 130--138, Feb. 1993