

유도전동기 회전자 저항 보상을 위한 벡터제어

Vector Control for the Rotor Resistance Compensation of Induction Motor

박현철*, 이수원, 김영민, 황종선

(HyunChul Park*, SuWoon Lee, YeongMin Kim, JongSun Hwang)

Abstract

In the vector control methods of induction motor, the stator current is divided into the flux and torque component current. By controlling these components respectively, the methods control independently flux and torque as in the DC motor and improve the control effects. To apply the vector control methods, the position of the rotor current is identified. The indirect vector control use the parameters of the machine to identify the position of rotor flux. But due to the temperature rise during machine operation, the variation of rotor resistance degrades the vector control.

To solve the problem, the q-axis is aligned to reference frame without phase difference by comparing the real flux component with the reference flux component. Then to compensate the slip, PI controller is used.

The proposed method keeps a constant slip by compensating the gain of direct slip frequency when the rotor resistance of induction motor varies. To prove the validations of the proposed algorithm in the paper, computer simulations is executed.

Key Words: vector control, induction motor

1. 서 론

유도전동기는 무정류자 구조로 간단하고 견고하기 때문에 유지 보수 및 경제성 측면에서 유리하며, 제어방법으로 벡터제어기법이 도입되고 전력변환기의 기술진보 및 프로세서의 괄목할만한 발전에 따라 종래에는 어려웠던 정밀제어가 가능하게 되어 각종 산업분야에 널리 적용되고 있는 추세이다.^[1,2]

이러한 유도전동기 벡터제어 시스템은 필수적

으로 자속위상에 대한 정보가 요구되며, 간접벡터 제어(indirect vector control)방식은 회전자 자속의 위치를 얻기위해 전동기 회전자 시정수가 사용된다. 회전자 시정수는 회전자 저항과 회전자 인덕턴스의 비로 주어지며 이 중 회전자 인덕턴스는 일정 자속제어에서는 거의 변하지 않는 반면에 회전자 저항은 유도전동기의 운전으로 인한 자체발열 및 주위온도 상승에 따라 변화하여 제어 성능을 저하시킨다.^[3,4,5]

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 회전자 저항변화에 따른 제어성능 저하의 개선을 위한 보상방법으로, q 축의 자속성분을 항상 0으로 유지함으로써 축이 위상차없이 일치되어 비간섭제어가 가능하도록, 실제자속과 목표치자속을 비

* : 정인대학 정보통신계열
(정읍시 시기동 산9-28번지)
Fax : 063-532-3768
E-mail : uvh2200@hanmail.net

교하여 목표치 슬립각속도를 PI 제어기로 보상하는 방법을 제시하였다. 제한한 알고리즘으로 구현된 시스템을 통해 간접벡터제어시 회전자 저항이 변동되는 경우에도 유도전동기의 고성능제어 검증을 위하여 시뮬레이션을 통하여 타당성을 입증하고자 한다.

2. 유도전동기 벡터제어 시스템

3상 유도전동기의 전압방정식을 동기속도 ω_e 로 회전하는 $d-q$ 축으로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ v_{dr} \\ v_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \cdot sL_s & \omega_e L_s & sL_m & \omega_e L_m \\ -\omega_e L_s & R_s \cdot sL_s & -\omega_e L_m & sL_m \\ sL_m & (\omega_e - \omega_r)L_m & R_r \cdot sL_r & (\omega_e - \omega_r)L_r \\ -(\omega_e - \omega_r)L_m & sL_m & -(\omega_e - \omega_r)L_r & R_r \cdot sL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, s 는 미분연산자이다.

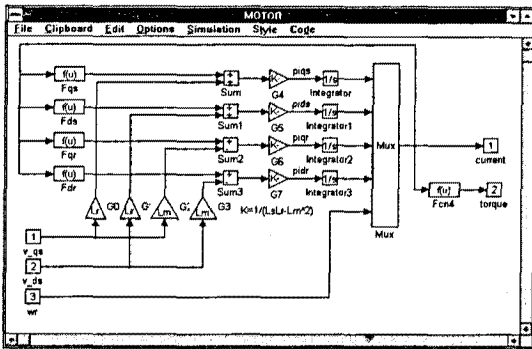


그림 1. 유도전동기의 simulink 모델

Fig. 1. Induction motor simulink model

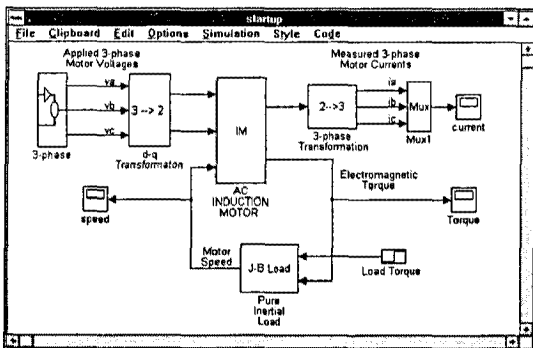


그림 2. 유도전동기 운전 simulink 블럭도

Fig. 2. Simulink block diagram for observing induction motor startup behavior

그림 1은 식 (1)의 유도전동기의 전압방정식을 Matlab with simulink를 이용하여 표현한 것을 나타낸 것이다. 그림 2는 위에서 설계한 유도전동기의 기동 및 운전을 위한 블록선도를 나타낸 것이며, 그림 3의 속도, 토크, 전류파형은 실행결과를 나타낸 것이다.^[6,7,8]

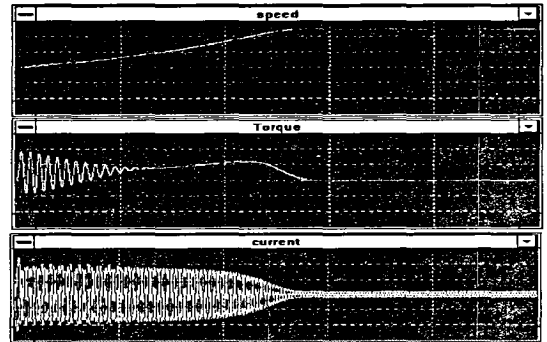


그림 3. 유도전동기 기동시의 simulation 결과

Fig. 3. Simulation results of induction motor starting

3. 회전자 저항변화의 보상

만약 벡터제어 유도전동기가 운전중 온도상승으로 회전자저항 값이 변화한다면 제어기의 슬립각속도와 실제 슬립각속도 간의 위상오차가 발생하므로 그림 4와 같이 자속축과 동기회전축은 일치하지 않고 δ 만큼의 위상차를 갖게 된다.

이와같은 현상은 자속을 동기 회전축에 일치시켰을 때의 비간섭제어를 불가능하게 하며, 실제 전류와 목표치 전류가 일치하지 않으므로 완전한 벡터제어가 이루어지지 않는다. 회전자저항의 변화 때문에 그림 4와 같이 회전자 자속축과 동기회전축에 위상차 δ 가 생겼다면 $d-q$ 축에서의 회전자 자속성분은 d 축 성분뿐만아니라 q 축 성분도 존재하게 된다.

그림 4. 자속축과 d-q축간의 위상 차이

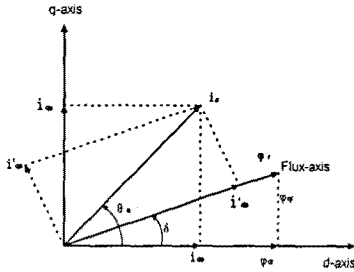
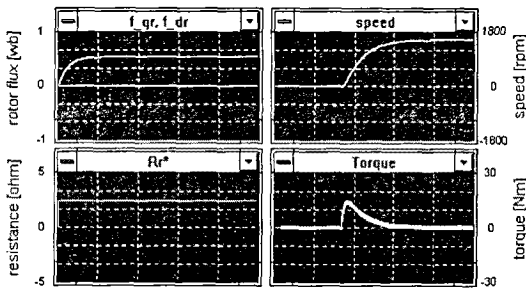


Fig. 4. Phase difference between flux axis and d-q axis

4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안한 알고리즘의 타당성을 고찰하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션 기법으로 Matlab with simulink를 이용하였다.^[6,7,8]

우선 회전자저항 변동에 따른 자속, 속도 및 토크의 영향을 고찰하기 위하여 초기에 제어기의 회전자저항(R_r^*)과 전동기의 회전자저항(R_r)이 동일한 경우와 50%인 경우에 대해서 목표치속도를 0 - 0.5초, 0.5초 이상에서 각각 0 rpm, 1500 rpm로 가변하였다. 이들에 대한 결과를 그림 7, 그림 8에 각각 나타내었다.



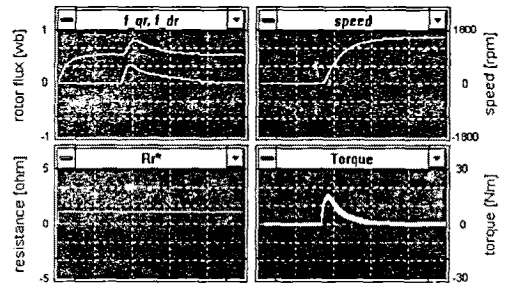
Time Div. : 0.3sec

그림 7 보상이 없는 경우의 시뮬레이션 결과

$$(R_r^*/R_r = 1)$$

Fig. 7 Simulation results without compensation($R_r^*/R_r = 1$)

그림 7은 $R_r^*/R_r = 1$ 인 경우로 자속, 속도, 토크 응답이 바람직한 특성을 보인다. 그림 8은 $R_r^*/R_r = 0.5$ 로 설정된 경우로 과도한 자속의 발생으로 정격치보다 큰 토크가 발생된다. 이로 인해 회전자 전류가 증가되어 전동기의 과열을 야기한다. 따라서 제어기의 회전자 저항을 잘못 설정하면 토크분 전류와 자속분 전류의 상호간섭작용으로 속도 및 발생 토크가 비선형적으로 된다.



Time Div. : 0.3sec

그림 8 보상이 없는 경우의 시뮬레이션 결과

$$(R_r^*/R_r = 0.5)$$

Fig. 8 Simulation results without compensation

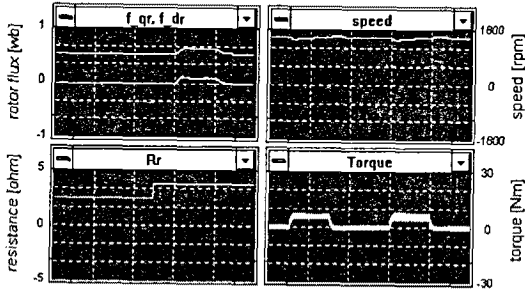
$$(R_r^*/R_r = 0.5)$$

그림 9는 정확한 시정수에 의해 전동기를 기동시킨 후에 $R_r/R_r^* = 1$ 일때 0.5초 동안 부하토크를 인가하고, $R_r/R_r^* = 1.5$ 으로 전동기 회전자 저항이 변경된 후에 0.5초 동안 부하 토크를 인가한 경우의 파형을 나타낸 것이다. 그림 8과 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 자속, 속도 및 토크 파형은 초기에 제어기의 시정수를 잘못 설정한 경우와 전동기 운전 중에 전동기의 회전자 저항의 변동에 따라 바람직하지 못한 특성을 보이고 있다.

이상의 시뮬레이션에서 알 수 있듯이 회전자 저항의 변동은 명령치에 대해 비선형적인 특성을 보이므로 정확한 벡터제어를 행할 수 없다.

Time Div. : 0.5sec

그림 9 보상이 없는 경우 전동기 회전자 저항 및 부하토크



변동에 대한 시뮬레이션결과 ($R_r/R_r^* = 1.5$)

Fig. 9 Simulation results for IM rotor resistance and load torque variation without compensation

($R_r/R_r^* = 1.5$)

따라서 벡터제어를 행하기 위해서 회전자 저항 변동에 따른 보상방법이 필요하며, 본 논문에서는 q축 자속이 항상 零이 되도록 PI제어기를 이용하여 목표치 슬립각속도와 실제 각속도와의 사이에 오차를 보상하여 회전자 저항 변동에 대한 보상이 가능함을 시뮬레이션의 결과로 나타냈다.

5. 결 론

유도전동기의 간접 벡터제어시 유도전동기의 회전자 저항의 변동으로 발생하는 회전자 자속의 위치에 대한 부정확한 정보에 의해 원활하지 못한 벡터제어 수행의 문제를 해결하기 위한 방법으로 q축 자속성분을 항상 零으로 유지함으로써, 축이 위상차없이 일치되어 비간접제어가 가능하도록 실제자속과 목표치자속을 비교하여 적정슬립에 일치하도록 PI제어기로 보상하는 방법을 제시하였다.

제안한 보상방법은 유도전동기의 회전자 저항 변화시 적정 슬립 각속도의 이득을 보상함으로써 적정 슬립이 유지되었으며 또한, 초기에 회전자 저항이 잘못 설정된 경우에도 제안된 알고리즘에 의하여 보정되었다. 즉, PI 제어기를 이용하여 q축 자속성분이 항상 영이 되도록 보상하면 저항의 변화시에도 항상 적정슬립이 유지되어 정확한 벡터제어가 실현된다.

[1] Kaushik Rajashekara, Atsuo Kawamura, and Kouki Matsuse, "Sensorless Control of Motor Drives", IEEE PRESS, pp.1-19, 1996.

[2] Satoshi Ogasawara, "The generalized Theory of Indirect Vector control for AC Machines", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 24, No. 3, pp. 470-478, May/June 1988.

[3] B. K. Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drives", IEEE PRESS, 1996.

[4] 강현수, 조순봉, 현동석, "유도전동기 회전자 시정수 변동에 강인한 간접 벡터제어", 대한전기학회 논문지 제 45권, 제 3호, pp. 365-373, 1996.

[5] Masato Koyama, Masao Yano, Isao Kamiyama, and Sadamari Yano, "Microprocessor-Based Vector Control System for Induction Motor Drives with Rotor Time Constant Identification Function", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. Ia-22, No. 3, pp. 453-459, May/June 1986.

[6] P. Marino, V. Mungiguerra, M. Porzio, R. Setola, and F. Vasca, "A Simulation Tool for Induction Motor Control", Proc. EPE95, pp. 3610-3612, 1995.

[7] Michael Sidman, "AC Induction Motor Vector Control Simulation and Design Tool", Proc. Intelligent Motions Systems, pp. 259-269, September 1996.

[8] R. Teodorescu, E. Rosu, H. Zelaya dela Parra, and K. Bresnahan, "A Simulink Approach to Power Electronics Simulations", Proc. EPE95, pp. 3.954- 3.958, 1995.