
정상상태에서 속도관측기를 이용한 유도전동기 센서리스 벡터제어

이수원* · 전칠환* · 이성룡*

Sensorless Vector Control of Induction Motor using Speed Observer in Steady State

Su-won Lee* · Chil-hwan Jeon* · Seong-ryong Lee*

본 연구는 2004년도 군산대학교 두뇌한국21의 일부 지원에 의해 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

요 약

본 논문에서는 정상상태에서의 속도관측기를 이용한 유도전동기의 센서리스 벡터제어에 대해 연구하였다. 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어를 위한 속도 관측기는 제어기의 전압값과 실측 전류값으로 구성되었다. 제안한 속도 관측기를 이용하여 정상상태에서 속도지령치의 변화에 대해 속도 제어가 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 제안한 방법을 시뮬레이션과 실험의 결과로 입증하였다.

ABSTRACT

This paper describes sensorless vector control of induction motor using speed observer in steady state. In sensorless vector control of induction motor, the proposed speed observer is consists of q-axis voltage of controller and real current. This paper investigates the speed characteristics when a step change of speed reference. This is verified by simulations and experimental results.

키워드

유도전동기, 센서리스 벡터제어, 속도관측기

1. 서 론

유도전동기는 무정류자로 구조가 간단하고 견고하기 때문에 유지 보수측면에서 유리하여 경제성을 가짐으로써 일찍부터 산업계에 널리 응용되어 왔다.[1] 그러나 유도전동기는 다변수 비선형 결합 시스템이기 때문에 고도의 제어기술을 요구하고 있다. 이러한 비선형 특성을 지닌 유도전동기의 제어방법으로 벡터제어가 각종 산업분야에 적용, 확대되어지고 있다. 이러한 벡터제어를 구현하기 위해서는 전동기에 부착된 엔코더로부터 속도를 검

출 받아 제어기법에 적용해야 한다. 이는 전기적인 노이즈, 센서와 제어기 사이의 거리, 엔코더 설치에 따른 비용 증가 등의 단점을 포함하게 된다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위해 센서리스 제어방식에 대한 연구가 진행되어 여러 속도 추정법이 제시되어 왔다.[2,3,4] 이에 본 논문에서는 제어기의 q축 전압과 전동기 전류의 q축 성분 그리고 전동기 정수에 의한 속도관측기를 구성하여 속도추정을 행하는 방법을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘에 의해 구현된 시스템의 타당성을 입증하기 위해 Matlab/Simulink로 시뮬레이션을 수행하고, DSP 33 보드를 이용한 실험시스템을 구성하여 정상상

태에서 유도전동기의 속도 센서리스 벡터제어 실험을 수행하였다.

II. 센서리스 벡터제어

3상 유도전동기의 동적 상태방정식을 동기좌표계로 표현하면 식(1)과 같다.[3]

$$v_{ds} = P_d^{-1} i_{ds} - L_\sigma \omega_e i_{qs} + p \frac{L_m}{L_r} \phi_{dr} - \frac{L_m}{L_r} \omega_e \phi_{qr} \quad (1.a)$$

$$v_{qs} = L_\sigma \omega_e i_{ds} + P_d^{-1} i_{qs} + \frac{L_m}{L_r} \omega_e \phi_{dr} + p \frac{L_m}{L_r} \phi_{qr} \quad (1.b)$$

또한, 발생 토크와 회전자 각속도 방정식은 각각 다음과 같다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} (i_{qs} \phi_{dr} - i_{ds} \phi_{qr}) \quad (2)$$

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{2}{P} J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (3)$$

여기에서,

$$P_d = P_d \cong \frac{1}{pL_\sigma + R_s}, L_\sigma = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_r}$$

이며, 기타 모든 변수는 일반적인 관행에 따른다. 식(1.b)의 네 번째 항과 식(2)의 두 번째 항은 벡터제어가 수행되어질 경우 0이 되며, 따라서 동기 속도 ω_e 는 식(4) 그리고 발생 토크는 식(5)와 같다.

$$\omega_e = \frac{1}{L_s} \left\{ \frac{v_{qs} - (pL_\sigma + R_s) i_{qs}}{i_{ds}^*} \right\} \quad (4)$$

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} i_{ds}^* i_{qs} \quad (5)$$

슬립각속도는 동기회전좌표계에서 식(6)과 같으며, 회전자 각속도는 식(7)과 같다.

$$\omega_{sl} = \frac{R_r}{L_r} \frac{i_{qs}}{i_{ds}^*} \quad (6)$$

$$\omega_r = \omega_e - \omega_{sl} \quad (7)$$

그림 1은 제안된 센서리스 벡터제어 시스템의 구성도이다.

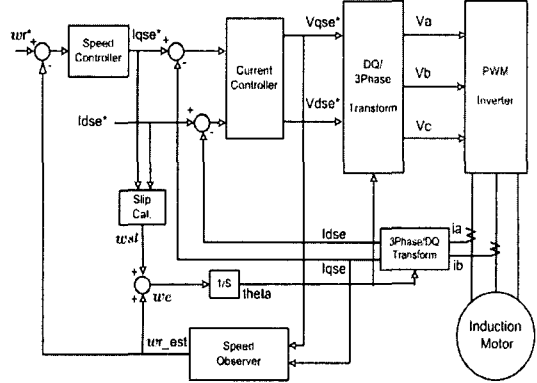


그림 1. 센서리스 벡터제어의 구성도
Fig. 1. System configuration of sensorless vector control

속도추정을 위해 기계방정식으로부터 상태방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

여기서, $x = \begin{bmatrix} \omega_m \\ T_L \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} -\frac{B_m}{J_m} & -\frac{1}{J_m} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} \frac{1}{J_m} \\ 0 \end{bmatrix}$,

$C = [1 \ 0]$, $y = \omega_m$, $u = T_e$ 이다.

동적모델로 주어지는 \hat{x} 이 상태변수 x 를 근사하게 표시한다고 가정하면 관측기는 식(8)과 같이 표현할 수 있으며 관측기를 구성하면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}} &= A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}) \quad (8) \\ &= \begin{bmatrix} -\frac{B_m}{J_m} & -\frac{1}{J_m} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\omega}_m \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_m} \\ 0 \end{bmatrix} T_e + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} \left[\omega_m - [1 \ 0] \begin{bmatrix} \hat{\omega}_m \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\omega}_m \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B_m}{J_m} \hat{\omega}_m - \frac{1}{J_m} \hat{T}_L + \frac{1}{J_m} T_e + l_1 (\omega_m - \hat{\omega}_m) \\ l_2 (\omega_m - \hat{\omega}_m) \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(9)로부터 속도관측기를 표현하면 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

식(9)에서 T_e 는 식(5), ω_m 은 식(7)과 식(3)에서 얻을 수 있으며, 또한 식(7)의 w_e 와 w_{sl} 은 각각 식(4)와 식(6)의 값이다.

그림 2는 위의 식들에 의해 설계된 속도관측기

의 블록선도이다.

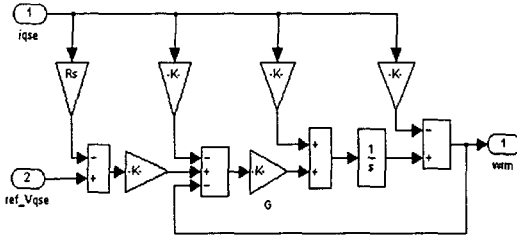


그림 2. 속도관측기의 블록선도
Fig. 2. Block diagram of speed observer

III. 시뮬레이션 및 검토

본 논문에서 제시한 속도관측기의 성능을 평가하기 위해 Matlab/Simulink를 이용하여 정상상태에서 유도전동기 센서리스 시뮬레이션을 행하였다. 여기에서 사용된 3상 유도전동기의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 유도전동기의 파라미터
Table 1. Induction motor parameter

정격출력	3[kW]	R_s	0.66705 Ω	L_r	0.06731H
정격전압	220[V]	R_r	0.62505 Ω	L_m	0.06373H
극 수	4극	L_s	0.06731H	J	0.049

그림 3은 센서리스 벡터제어 시스템에 속도관측기가 적용되었을 경우 정상상태에서 속도의 명령치를 700[rpm]에서 1100[rpm]으로 변화하였을 때의 결과를 보여주고 있다.

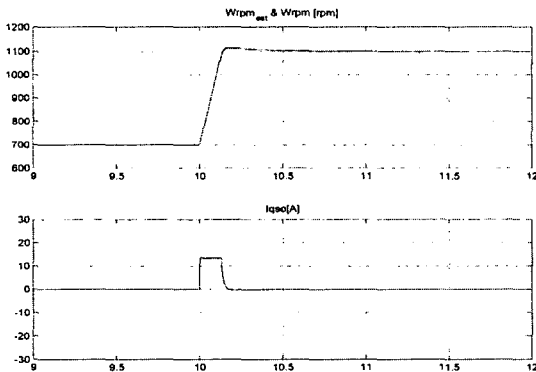


그림 3. 속도변화에 대한 응답(700→1100rpm)
Fig 3. Simulation result for speed variation

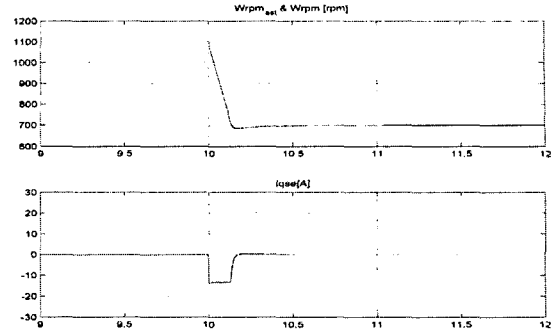


그림 4. 속도변화에 대한 응답(1100→700rpm)
Fig 4. Simulation result for speed variation

위 그림은 속도관측기와 전동기의 속도 파형이며, 아래 그림은 이때의 q축 성분의 전류 파형이다. 그림 4는 속도의 명령치를 1100[rpm]에서 700[rpm]으로 변화하였을 때의 결과를 보여주고 있다. 위 그림은 속도관측기와 전동기의 속도 파형이며, 아래 그림은 이때의 q축 성분의 전류 파형이다.

그림 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 센서리스 벡터제어 시스템에 본 논문에서 제시한 속도관측기를 적용하였을 경우, 정상상태에서 속도의 스텝 변화에 대해 속도관측기의 속도가 이상적으로 잘 추종함을 보여주고 있다.

V. 실험 및 검토

제시한 속도관측기의 타당성을 입증하기 위해 표 1 사양의 3상 유도전동기로 실험을 하였다. 전압형 인버터에 공간벡터 변조기법(SVPWM)을 적용하였다. 고정자 전류는 CT를 이용하여 측정하여 12bit 해상도를 갖는 A/D를 통하여 이산화 하였으며, 회전자 속도는 1024[ppr] 엔코더를 사용하여 MT방식으로 측정하였다. 알고리즘은 TMS320C33 보드를 이용하여 구현하였다.

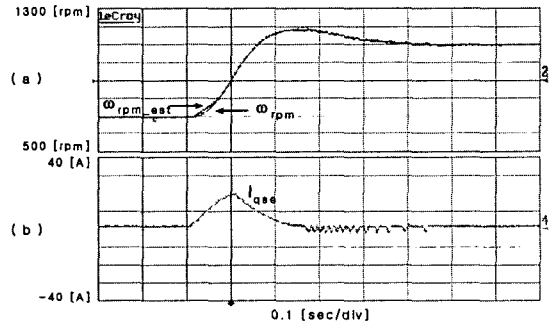


그림 5. 속도변화에 대한 응답(700→1100rpm)
Fig 5. Experimental result for speed variation

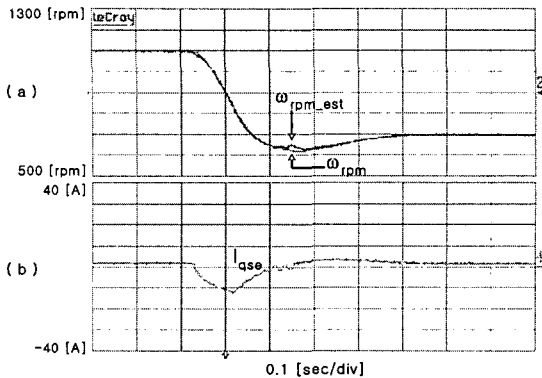


그림 6. 속도변화에 대한 응답(1100→700[rpm])
Fig 6. Experimental result for speed variation

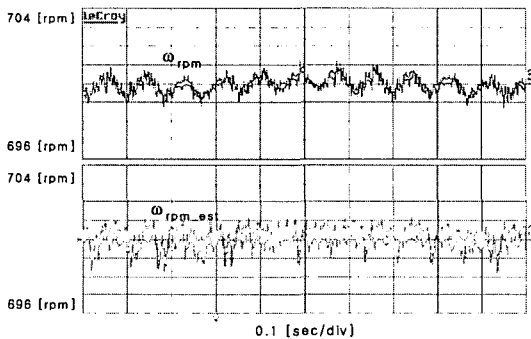


그림 7. 속도관측기와 전동기의 속도(700[rpm])
Fig 7. Speed of Speed Observer and Motor(700[rpm])

그림 5와 그림 6은 본 논문에서 제시한 속도관측기를 적용하여 정상상태에서 속도 스텝 변화에 대한 실험 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보여주듯이 속도관측기의 속도가 전동기의 속도를 잘 추종함을 보여주고 있다.

그림 7은 700[rpm]에서 속도관측기와 전동기의 속도를 비교한 것으로 엔코더로 측정되는 전동기의 속도는 약 1.5[rpm]정도 그리고 속도관측기의 속도는 약 2.5[rpm]정도로 떨림을 보이고 있다. 이는 제안한 알고리즘이 정상상태의 속도변화에 대해 양호함을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 제어기의 q축 성분 전압과 전동

기의 q축 성분 전류로 속도관측기를 설계하여, 센서리스 벡터제어 시스템을 구축하고 정상상태에서 유도전동기의 속도제어에 적용하였다.

시뮬레이션과 실험에서 속도관측기의 속도는 속도 지령치의 스텝 변화(700→1100rpm 또는 1100→700rpm)에 대해 전동기의 실제 속도를 잘 추종하였으며, 엔코더로 측정된 속도(700[rpm])에 비교하여 떨림이 양호함을 알 수 있었다. 이상과 같은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안한 속도관측기를 적용하면 정상상태에서 센서리스 벡터제어가 양호한 응답을 얻을 수 있음을 입증하였다.

참고문헌

- [1] 이수원, 전철환 "유도전동기 회전자 시정수 변동에 대한 슬립 보상", 한국해양정보통신학회 제4권 제2호, pp 487-492, 2000.
- [2] Hirokazu Tajima and Yoichi Hori, "Speed Sensorless Field-Oriented control of Induction Machine" IEEE Trans. Indus. Appli., Vol 29, pp. 175-180, 1993.
- [3] Makato Iwata, Shigeru Ito and Tetsuhiko Ohno, "Speed Sensorless Field-Oriented Induction Motor Drive System with a Load Adaptive Mechanism", IPEC-Yokohama'95, pp. 993-998, 1995.
- [4] 이수원, 전철환, 이성룡, "속도 Observer를 이용한 유도전동기 센서리스 벡터제어의 과도특성", 한국해양정보통신학회 2002 추계종합학술대회 제6권 제2호, pp. 808-811, 2002.

저자소개

이수원(Su-Won Lee)



1991년 전북대학교 공학사
1993년 전북대학교 공학석사
1998년 전북대학교 공학박사
2001년~현재 군산대학교 BK21 계약교수

※관심분야 : 전력전자, 전기기계, 에너지변환



전철환(Chil-Hwan Jeon)

1980년 서울대학교 공학사
1986년 미국 Vanderbilt Univ.
공학석사
1990년 미국 Vanderbilt Univ.
공학박사

1990년 9월 ~ 현재 군산대학교
전자정보공학부 정교수

※관심분야 : 전력전자, 제어공학, 전기기계



이성룡(Seong-Ryong Lee)

1980년 명지대학교 공학사
1982년 명지대학교 공학석사
1988년 전북대학교 공학박사
1988년~1990년 충남전문대 전
기과 조교수

1990년 4월~현재 군산대학교 전자정보공학부 정
교수

※관심분야 : 전력전자, 대체에너지