

속도 Observer를 이용한 유도전동기 센서리스 벡터제어의 과도특성

이수원* · 전철환* · 이성룡*

*군산대학교

Transient Characteristics of Sensorless Vector Control of Induction Motor using Speed Observer

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

*Kunsan National University

E-mail : lsw91@kunsan.ac.kr, chjeon@kunsan.ac.kr, srlee@kunsan.ac.kr

요 약

유도전동기 센서리스 벡터제어의 안정성에 대하여 많은 연구가 되어지고 있다. 그 결과 유도전동기의 고정자 저항, 회전자 저항, 시스템 파라미터의 변화에 대하여 센서리스 방법이 속도 센서가 있는 경우와 비교하여 불안정하게 되기 쉽다는 것이 분명하다.

본 논문에서 속도 지령 ω_r 의 스텝 변화에 대하여 관성 모멘트 J 를 변화하는 경우, 유도전동기 회전자 저항 R_r 을 변화하는 경우에 대해 살펴보고, 전동기의 파라미터, 시스템 파라미터의 변화에 영향을 받지 않는 제어 방법으로 전동기 전압, 전류, 전동기 정수에 의한 속도 Observer를 구성하여 속도 추정을 행하는 방법에 대하여 제안하고 타당성을 입증하고자 한다.

ABSTRACT

The stability for a speed sensorless vector control of an induction machine has been studied. These studies show that the sensorless control is apt to be more unstable than the control with sensor on the variation for stator resistance, rotor resistance and system parameters of the machine.

First, this paper investigates the speed characteristics when the inertia, J , changes and the rotor resistance, R_r , changes respectively for a step change of a speed reference, ω_r . Then, the new speed estimation algorithms with no effects on the parameters variation of the machine and the system is proposed. The proposed method is to implement the observer using voltage, current and constant of the machine. The results are verified by simulation.

키워드

Induction motor, sensorless vector control, speed observer

1. 서 론

최근 산업계에서는 구조가 간단하고 유지 및 보수가 간편한 유도전동기의 고성능 운전을 위한 벡터제어의 응용이 광범위해지고 있다[1]. 이러한 효율적인 벡터제어 방식을 구현하기 위해서는 전동기에 부착된 엔코더로부터 속도를 검출 받아 제어기법에 적용해야 한

다. 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]. 이에 본 논문에서는 전동기의 파라미터, 시스템 파라미터의 영향을 받지 않는 제어 방법으로 전동기 전압, 전류, 전동기 정수에 의한 속도

Observer를 구성하여 속도 추정을 행하는 방법에 대하여 제안한다. 또한 본 방법에 의해 구현된 시스템의 타당성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하고, 과도 상태시의 동작특성 결과를 검토함으로써 확인할 수 있었다.

II. 센서리스 벡터제어

그림 1은 제안된 센서리스 벡터 제어시스템의 구성도이다. 좌표축이 동기속도 ω_e 로 회전한다면 d-q축으로 표현된 유도전동기의 고정자 전압방정식은 식(1)과 같다[3].

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

$$v_{qs} = L_\sigma \omega_e i_{qs} + P_q^{-1} i_{qs} + \frac{L_m}{L_r} \omega_e \phi_{dr} + p \frac{L_m}{L_r} \psi_{qr,b}$$

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,

$P_d = P_q \cong \frac{1}{pL_\sigma + R_s'} L_\sigma = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_r}$ 이며, 기타 모든 변수는 일반적인 관행에 따른다.

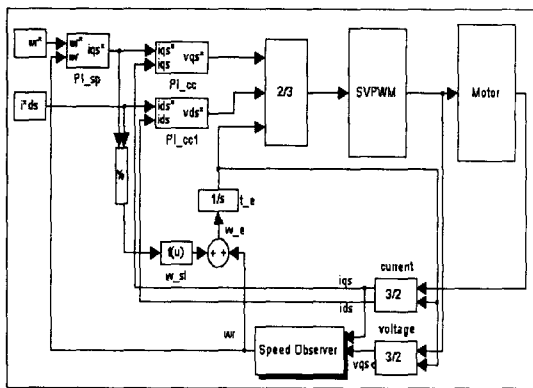


그림 1. 센서리스 벡터제어의 구성도
Fig. 1. System configuration of sensorless vector control

식(1.b)의 오른쪽 4번째 항과 식(2)의 두 번째 항은 벡

터제어가 수행되어질 때 0이 되며, 따라서 동기속도 ω_e 는 식(4) 그리고 발생 토크는 식(5)와 같이 얻을 수 있다.

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

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

슬립각속도는 회전 2상 d-q 좌표계에서 식(6)과 같으며, 회전자 각속도는 식(7)과 같다.

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

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

속도 추정을 위해 식(3)으로부터 상태방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (8)$$

$$y = Cx \quad (9)$$

여기서, $A = 0$ $B = \frac{P}{2} \frac{1}{J}$, $C = P$ 이다.

동적 모델로 주어지는 \hat{x} 이 상태변수 x 를 근사하게 표시한다고 가정하면 관측기는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\dot{\hat{x}} = Bu + G(y - C\hat{x}) \quad (10)$$

식(10)의 형식으로 속도 Observer 방정식을 표현하면 식(11)을 얻을 수 있으며 그림 2는 속도 Observer의 블록선도이다.

$$p\hat{\omega}_r = \frac{P}{2} \frac{1}{J} T_e - \frac{P}{2} \frac{1}{J} T_L + G \{\omega_r - \hat{\omega}_r\} \quad (11)$$

위식에서 T_e 는 식(5), ω_r 은 식(7)의 값이며, 또한 식(7)의 ω_e 와 ω_{sl} 은 각각 식(4)와 식(6)의 값이다.

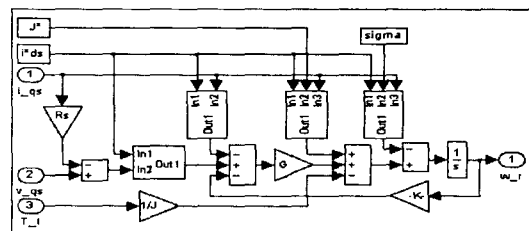


그림 2. 속도 Observer의 블록선도
Fig. 2. Block diagram of speed observer

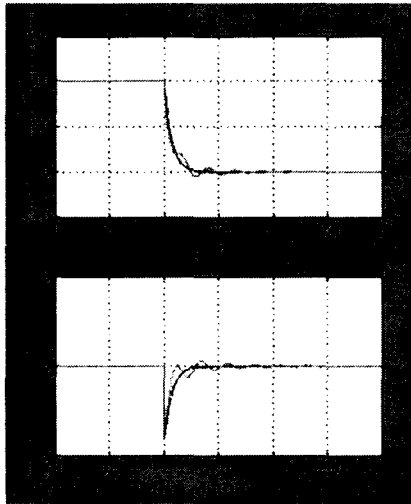
III. 시뮬레이션 및 검토

시뮬레이션에 사용된 유도전동기의 정격과 파라미터의 값은 다음과 같다.

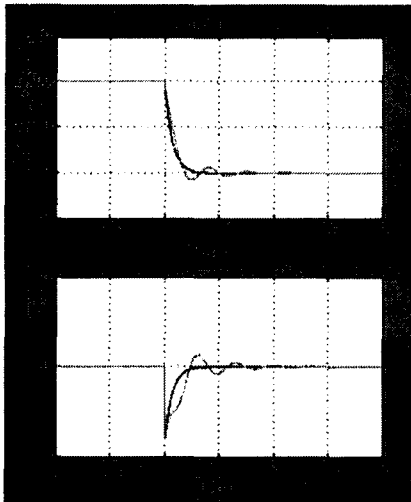
- 3상4극 농형 유도전동기
2.2[kW], 3 Phase 220[V], 60[Hz]

표 1. 유도전동기 파라미터
Table 1. Parameters of induction motor

R_s	2.083[Ω]	L_r	0.169[H]
R_r	2.535[Ω]	L_m	0.160[H]
L_s	0.169[H]	J	0.0157[$Kg \cdot m^2$]



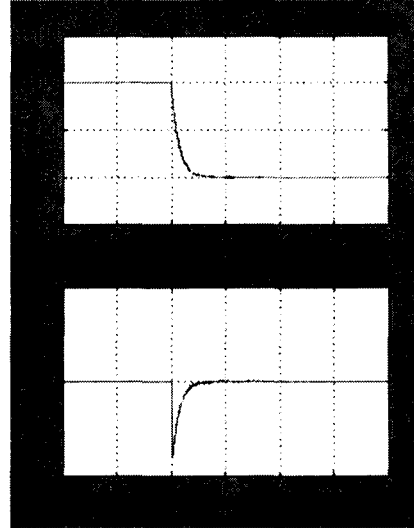
(a)



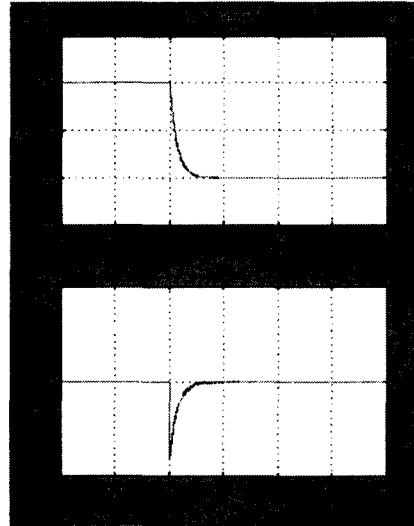
(b)

그림 3. 관성모멘트 J 의 변동에 대한 경우
Fig. 3. Simulation result for J variation

그림 3은 센서리스 벡터제어 시스템에 속도 Observer가 적용되었을 경우 각속도 지령 ω^* 의 스텝 변화에 대한 관성 모멘트 J 가 변화할 때의 각속도 ω , 과 토크 성분전류 i_{qs} 의 시뮬레이션 결과이다. (a)는 0.75로 변동되었을 경우, (b)는 1.5로 변동되었을 경우에 대한 J 와 변동된 J 와의 비교 파형이다.



(a)



(b)

그림 4. 회전자 저항 R_r 의 변동에 대한 경우

Fig. 4. Simulation result for R_r variation

그림 4는 센서리스 벡터제어 시스템에 속도 Observer가 적용되었을 경우 각속도 지령 ω^* 의 스텝 변화에 대한 유도전동기 회전자 저항 R_r 이 변화할 때

각속도 ω 와 토오크 성분전류 i_{qs} 의 시뮬레이션 결과이다. (a)는 $0.85R$ 로 변화했을 경우, (b)는 $1.2R$ 로 변화했을 경우에 대한 R_r 과 변동된 R_r 과의 비교 파형이다.

일반적인 경우 관성모멘트 J 또는 유도전동기 회전자 저항 R_r 이 변화할 때 속도와 토오크가 불안정해지지만 센서리스 벡터제어 시스템에 속도 Observer를 적용하면 관성모멘트 J 가 변동할 경우 그림 3과 같이 약간의 진동이 존재하는 응답을 그리고 유도전동기 회전자 저항 R_r 이 변동될 경우 그림 4에서와 같이 양호한 응답이 얻어지는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 유도전동기에 대한 센서리스 벡터제어 시스템에 전동기의 파라미터, 시스템 파라미터의 변화에 영향을 받지 않는 제어 방법으로 전동기 전압, 전류, 전동기 정수에 의한 속도 Observer를 구성하여 속도 추정을 행하는 방법에 대하여 제안하고, 관성 모멘트 J , 유도전동기 회전자 저항 R_r 등의 변화에 대한 시스템의 과도특성을 시뮬레이션을 통하여 분석함으로써, 제안된 속도 Observer를 적용하면 센서리스 벡터제어가 양호한 응답을 얻을 수 있음을 입증하였다.

참고문헌

- [1] 이수원, 전철환, "유도전동기 회전자 시정수 변동에 대한 슬립 보상", 한국해양정보통신학회 제4권 제2호, pp487~492, 2000
- [2] Hirokazu Tajima and Yoichi Hori, "Speed Sensorless Field-Orientation control of Induction Machine", IEEE Trans. Indus. Appli., vol29, pp 175~180, 1993
- [3] Makoto Iwata, Shigeru Ito and Tetsuhiko Ohno, "Speed Sensorless Field-Oriented Induction Motor Drive Systems with a Load Adaptive Mechanism", IPEC-Yokohama'95, pp993~998, 1995