

외란 상쇄 관측기를 이용한 유도전동기의 부하 토크 제어에 관한 연구

황락훈^{1*}, 나승권²

A study on Control Load Torque of Induction Motor using a Disturbance Cancellation Observer

Lark-Hoon Hwang^{1*} and Seung-Kwon Na²

요약 본 논문은 전동기에서 기계적인 파라미터의 변화와 함께 외란의 변화에 대하여 외란상쇄 피드포워드 루프 제어를 적용한 유도전동기의 벡터제어를 고려하였다. 제안한 시스템에서 부하토크는 유도전동기의 토크를 최소차원 상태관측기를 근거로 하여 추정한다. 최소차원 상태관측기를 통해 추정된 부하토크에 의해 토크 전류를 얻어내고 토크 전류분을 피드포워드 보상해 줌으로서 외란에 의한 영향을 상쇄시켜 외란이 유입되거나 부하가 가변되는 등의 조건에서도 안정되게 동작하는 강인한 속도제어 시스템을 실현할 수 있다. 본 연구에서는 속도 센서가 없이 검출된 전압과 전류에 의해 속도를 추정하여 사용 하므로써 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다. 제시한 제어기의 타당성을 입증하기 위하여 Matlab Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 타당성과 안정성을 검토하였고, 이를 실제 시스템을 구성하여 ADMC300를 이용하여 실험을 수행한 결과 기존의 시스템에 비하여 강인한 시스템으로 구동됨을 증명할 수 있었다.

Abstract In this paper, vector control to applied disturbance offset feedforward loop control for changing disturbances with various mechanical parameter is suggested. The proposed system estimate load torque based on induction motor torque using minimum dimension state observer. Because speed controller using state observer is used on condition of feedforward loop for a torque, the robust speed control system realized. In this study, the proposed paper does to heighten reliability of system by presuming and use the speed by voltage and current that is detected without speed sensor. To prove the propriety of this paper, the various simulation carried out adequacy using a Matlab Simulink, and at the same time real system is made, using a ADMC300 digital signal processor, so it is proved. As the experimental result of embodying the system, the robust system is realized.

Key Words : disturbance, feedforward loop control, observer, ADMC300 digital signal processor, robust control

1. 서론

최근 벡터제어 이론을 적용한 유도전동기의 제어 시스템이 산업현장에 널리 보급되어 있으며 유도전동기 구동 기술의 발전으로 그 적용 분야가 다양화 되고 있다. 부하 토크가 크게 변동하는 압착기나 컴프레셔와 같은 운전에서 정속도를 유지하는 것은 중요한 요건중의 하나로 이러한 요구에 대한 제어기의 특성은 외란의 변화와

시스템 파라미터의 변화에 대하여 안정된 제어기가 필요하게 된다. 벡터제어 이론을 적용하기 위해서는 엔코더나 레졸버 등의 속도센서를 이용하여 유도전동기의 회전속도를 정확하게 검출해야 한다. 속도 검출 센서의 가격 상승과 속도 정보의 오차에 의한 시스템 안정성 저해 요인이 발생됨에 따라서 근래에는 속도센서를 사용하지 않고 출력 측의 전압, 전류를 검출하여 회전속도를 계산하여 얻어내는 속도센서리스 벡터제어에 관한 연구가 활발히

¹세명대학교 전기공학과 교수

*교신저자 : 황락훈(lhhwang@semyung.ac.kr)

접수일 08년 11월 05일

수정일 09년 01월 05일

²한국 폴리텍 III 대학 원주캠퍼스 의용공학과 부교수

게재확정일 09년 01월 16일

진행되고 있다. PI제어기의 경우 구현이 쉽고 간단하며 제어기 이득을 적절히 조절함으로써 최적의 운전 상태를 얻을 수 있다. 그러나 PI제어는 부하외란이나 파라미터 변동에 매우 민감하기 때문에 운전범위에 제한을 받는다. 또한, PI제어는 출력 측에 외란의 영향이 나타나고, 이 외란을 보상하는 시간이 많이 걸리게 된다.[1] 따라서 일반적으로 외란이 있는 경우에 내부 모델을 기초로 하여 출력에서 외란의 영향이 나타나지 않는 외란 상쇄를 고려할 필요가 있다고 생각되며,서보 제어에서는 제어 대상의 출력에 스텝상태 또는 램프상태로 하는 목표 값이 주어지며 스텝상태의 왜란이 제어 대상의 입력 측에 가해지는 경우가 있다.

전동기에서 기계적인 파라미터의 변화와 외란 변화에 대하여 feedforward 외란 상쇄 루프제어를 적용한 유도전동기의 벡터제어를 제안하고, 시스템에서 부하토크를 최소차원 상태관측기를 근거로 하여 추정하게 된다. 상태관측기를 사용한 속도제어기는 토크에 대한feedforward루프를 이용하여 구현할 수 있는 강인한 시스템을 실현할 수 있다. 외란이 유입되거나 부하토크가 가변 될 경우에는 PI제어기만으로는 안정된 동작 특성을 얻는 것이 힘들게 되어 부가적인 제어기가 필요하게 된다. 이에 본 논문에서는 부하토크를 외란 요소로 간주하여 부하토크 가변 시에도 양호한 동작 특성을 얻고자 한다.[2][3] 최소차원 관측기를 이용하여 부하토크를 추정하고, 추정된 부하토크를 feedforward 루프를 통해 상쇄시켜주는 외란상쇄 제어기를 구성하여 외란변동 등의 상황에서도 보다 안정적인 동작을 할 수 있도록 하였다.[4][5] 이같은 이론을 입증하기 위하여 기존의 PI제어기에 의한 방법과 외란상쇄 관측기를 부가한 시스템의 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 비교, 분석하여 제안된 시스템을 연구하고자 한다. 시뮬레이션은 Matlab을 이용하여 수행하였다. 시스템의 응답특성을 알아보기 위하여 시스템 전달함수를 이용하여 Matlab으로 구현하였고, 부하토크의 가변에 대해서 PI제어기 시스템과 외란상쇄 관측기 시스템을 비교 시뮬레이션 하였으며, 관측기 상수 L 의 변화에 대한 응답 특성을 시뮬레이션 하여 전체 시스템 모델링과 실험에 사용할 수 있도록 하였다.[6] 또한, 시뮬레이션에서 얻어진 데이터를 바탕으로 동일한 조건에서 실험을 수행하여 제안한 제어기의 적용 가능성을 알아보았다.

2. 본 론

2.1 최소차원 관측기

관측기는 제어 대상에 대한 입력과 출력으로부터 내부

상태의 특정한 값을 간접적으로 추정하는 방법을 말한다. 관측기는 크게 전차원 관측기와 최소차원 관측기로 나눌 수 있다. 식 (1)과 같은 2개의 상태를 갖는 상태식을 이용하여 설명할 수 있다.[1]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} u$$

$$y = Cx = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = x_1 \quad (1)$$

식 (1)에서 전차원 관측기란 상태 x_1, x_2 모두를 추정하는 관측기를 말한다. 최소차원 관측기는 상태 x_1 과 x_2 중에서 하나의 상태를 가관측으로 하고 하나의 상태만을 추정하는 관측기를 의미한다. 최소차원 관측기를 이용하면 전차원 관측기에 비해 관측 상태가 감소함으로써 보다 간단한 관측기를 구성할 수 있다.

식 (1)에서 \dot{x}_2 의 추정치를 “ $\hat{}$ ” 기호를 사용하고, 제어기 모델출력 \hat{y} 와 실제 값 y 에 대한 오차를 고려하여 나타내면 다음과 같다.

$$\dot{\hat{x}}_2 = A_{21} \hat{x}_1 + A_{22} \hat{x}_2 + B_2 u + G(\hat{y} - y) \quad (2)$$

식 (1)의 두 번째 항과 식 (2)의 차를 나타내는 오차 방정식은

$$\begin{aligned} \dot{e} &= \dot{\hat{x}}_2 - \dot{x}_2 \\ &= [A_{21} \hat{x}_1 + A_{22} \hat{x}_2 + B_2 u + G(\hat{y} - y)] - [A_{21} x_1 + A_{22} x_2 + B_2 u] \\ &= A_{22} (\hat{x}_2 - x_2) + G(\hat{x}_1 - x_1) \\ &= A_{22} (\hat{x}_2 - x_2) + GA_{12} (\hat{x}_2 - x_2) \\ &= (A_{22} + GA_{12}) e \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 e 는 $\hat{x}_2 - x_2$ 를 의미한다.

따라서 A_{22} 와 A_{12} 가 가관측 조건을 만족하면 이득 값 G 를 선정함에 따라 관측기의 극을 임의로 배치하는 것이 가능하다. 즉, $(A_{22} + GA_{12})$ 가 안정되도록 G 값을 선정하면 초기에 관측기의 오차가 존재하더라도 $t \rightarrow \infty$ 이면 $e \rightarrow 0$ 으로 되어 결국에는 $\hat{x}_2 \rightarrow x_2$ 와 같은 성질을 가지게 된다. 그러나, 식 (3)에서 보는바와 같이 출력 y 의 미분이 필요

하게 된다. 출력측의 미분 항을 제거하고, 계산을 간편하게 하기 위하여 매개변수 ζ 를 도입하면 \hat{x}_2 는 다음과 같이 쓸 수 있다.[3]

$$\hat{x}_2 = \zeta - Gy \quad (4)$$

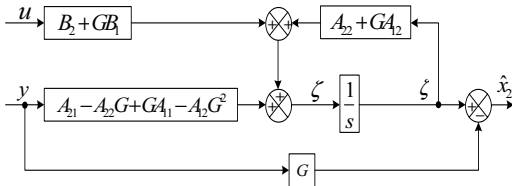
식 (4)를 식 (3)에 대입하여 쓰면

$$\begin{aligned} \dot{\zeta} - G\dot{y} = & A_{21}y + A_{22}(\zeta - Gy) + B_2u \\ & + G[A_{11}y + A_{12}(\zeta - Gy) + B_1u - \dot{y}] \end{aligned} \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있고, $\dot{\zeta}$ 에 대해 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\zeta} = & (A_{22} + GA_{12})\zeta + (B_2 + GB_1)u \\ & + (A_{21} - A_{22}G + GA_{11} - A_{12}G^2)y \end{aligned} \quad (6)$$

이 식에 의해 관측기를 구성할 수 있고, x_2 의 추정치는 식 (4)에 의해 얻을 수 있다. 식 (4)와 식 (6)을 이용하여 최소차원 관측기를 블록도로 나타내면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 1] 최소차원 관측기 블록도

2.2 외란상쇄 관측기

본 논문에서는 최소차원 관측기를 이용하여 유도전동기의 외부에서 인가되는 미지의 부하토크를 추정하고, 이 추정 값을 이용하여 외란상쇄 관측기를 구성하고자 한다. 즉, 외란 r 은 측정이 불가능하므로 최소차원 관측기를 이용하여 추정하고자 한다. 식 (1)에서 나타낸 상태방정식과 출력방정식에서 x_1 을 측정 가능한 상태변수 x_0 , x_2 를 측정 불가능한 상태변수인 외란 r 로 나누어 정리하면 상태방정식과 출력방정식은 식 (7)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} i_T \quad (7)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ r \end{bmatrix} = x$$

여기서, r 은 외란이다.

이것을 최소차원 관측기를 사용하여 외란모델의 상태량을 추정한다. 즉, 측정할 수 있는 변수와 측정할 수 없는 변수를 구분하여 재구성하여, 외란상쇄를 위한 설계파라미터 행렬을 L 이라 두면 식 (4)와 식 (6)에 나타낸 최소차원 관측기 식으로부터 외란상쇄 관측기 방정식은 다음과 같이 된다.

$$z = r - Lx = r - LY \quad (8)$$

$$\dot{z} = \hat{A}z + \hat{H}Y + \hat{B}u \quad (9)$$

여기서,

$$z = \begin{bmatrix} z \\ \cdot \\ z \end{bmatrix}, \quad \hat{A} = A_{22} - LA_{12}, \quad \hat{H} = \hat{A}L + A_{21} - LA_{11}$$

$\hat{B} = B_2 - LB_1$, r : 외란, L : 외란상쇄 파라미터 행렬이다. 라서, 외란상쇄 관측기에 대한 수식은 식 (9)로부터 식 (10)과 같이 정의된다.

$$\dot{z} = \hat{A}z + \hat{H}Y + \hat{B}u \quad (10)$$

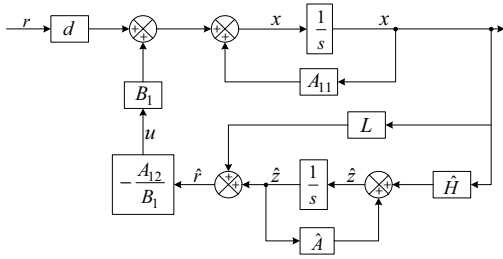
그리고, 추정된 외란의 양은 식 (8)을 r 에 대해 정리하여 나타낼 수 있으며 추정식은 다음과 같다.

$$\hat{r} = \hat{z} + LY \quad (11)$$

따라서, 외란 r 에 대한 상태방정식인 식 (7)에 외란상쇄 관측기 식 (10)을 결합한 상태방정식은 정상상태에서는 식 (12)와 같다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ \hat{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} + A_{12}L & A_{12} \\ \hat{H} & \hat{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (12)$$

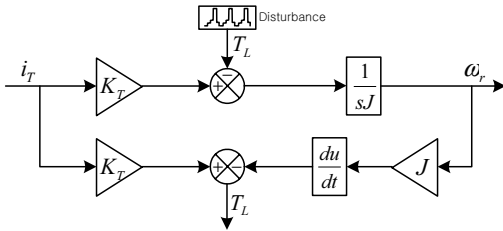
위의 식 (12)를 블록도로 나타내면 그림2와 같다.



[그림 2] 외란상쇄 관측기 블록도

2.3 Feedforward 외란상쇄 관측기 설계

압연기 등의 속도 및 위치제어를 발생하는 모션의 분야에서는 대부분의 경우에 지배적인 외란요소는 토크외란이다. 이 외란을 추정할 때는 그것을 forward-back하여 상쇄가 가능하게 되며 외란상쇄제어를 행할 수 있다. 따라서, 그림 3에 나타난 시스템 블록도에서 부하의 외란토크 T_L 을 입력전류 i_T 와 각속도 ω_r 에서 추정하는 것을 고려한다.



[그림 3] 외란토크 추정

그리고 K_T 는 토크상수, J 는 전동기의 관성 모멘트, ω_r 은 축의 각속도를 나타내고, 이때 시스템에 대한 운동방정식을 T_L 에 대하여 나타내면 식 (13)과 같이 된다.[1]

$$T_L = K_T i_T - J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (13)$$

식에서 보는 바와 같이 입력전류와 각속도의 미분 값을 이용하면 T_L 을 계산하여 구할 수 있다.

그러나, 이 방법도 각속도의 미분이 필요하기 때문에 그 실현은 어렵고, 만약 가정이 가능하다고 하여도 고주파에서 고 이득으로 되기 때문에 추정치에 관측 노이즈의 영향이 크게 나타난다. 왜냐하면, 약간의 오차만 생겨도 출력에는 그 값의 미분이 발생하므로 엄청난 변동치가 발생하게 된다.

따라서, 앞 절에서 설명한 외란 관측기 수식을 사용하여 정리하면

$$\dot{z} = \frac{L}{J} z + \frac{L^2}{J} \omega_m - \frac{L}{J} K_i i_T \quad (14)$$

$$\hat{T}_L = \hat{z} + L\omega_r \quad (15)$$

위 식 (14)를 \hat{z} 에 대하여 정리하여 식 (15)에 대입하여 풀면 다음과 같다.

$$\hat{T}_L = \frac{1}{Js-1} (L^2 \omega_r - LK_i i_T) + L\omega_r \quad (16)$$

$$= \frac{L}{Js-L} (Js\omega_r - K_i i_T)$$

$$= \frac{1}{1+\tau_o s} T_L$$

여기서, $\tau_o = -\frac{J}{L}$ 이다.

이것은 관측기 수식이 식 (17)과 같이 Low-pass Filter를 통한 형태로 해석이 된다.

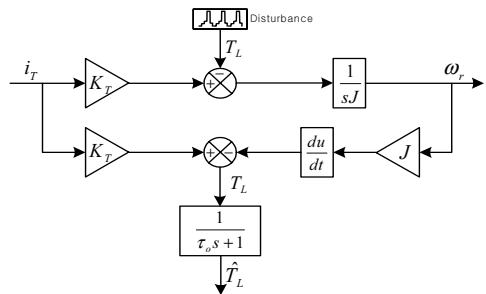
$$\hat{T}_L = \frac{1}{\tau_o s + 1} T_L \quad (17)$$

따라서, 식 (17)로 나타낸 것과 같이 Low-pass Filter를 통하여 얻은 출력 \hat{T}_L 를 부하토크에 대한 추종 값으로 보면 된다.[5]

그림 2에 식 (17)을 결합하여 Low-pass Filter를 통한 외란토크 추정기의 블록도를 나타내면 그림 4와 같다.

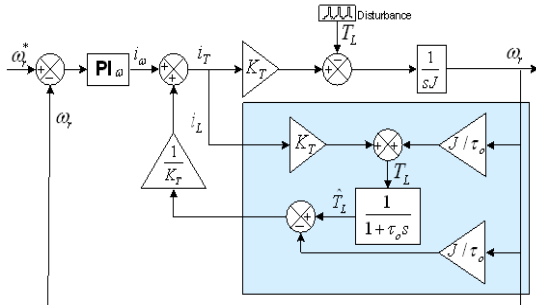
그러나, ω_r 에서 \hat{T}_L 까지의 전달함수가 식 (18)과 같이 미분인자를 사용하지 않은 형태로 될 수 있다.

$$-\frac{Js}{\tau_o s + 1} = -\frac{J}{\tau_o} \left(1 - \frac{1}{\tau_o s + 1}\right) \quad (18)$$



[그림 4] Low-pass Filter를 통한 외란토크 추정

위 식(18)에 대한 블록도는 그림 5와 같이 외란 관측기를 이용한 외란상쇄제어로 나타나게 된다.



[그림 5] 외란 관측기와 외란상쇄제어 블록도

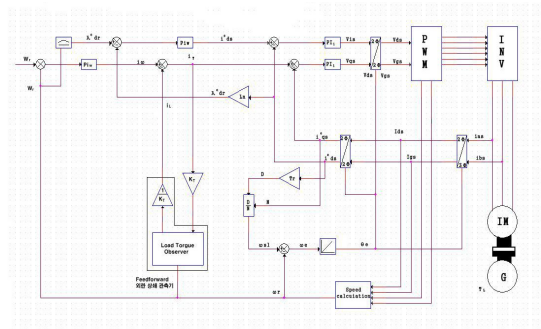
여기서, 외란 관측기의 극은 식 (17)의 Low-pass Filter의 극에 상당하기 때문에 Filter의 시정수를 가능한 작게 잡아서 지연이 작은 추정치를 얻을 수 있다.

3. 시뮬레이션

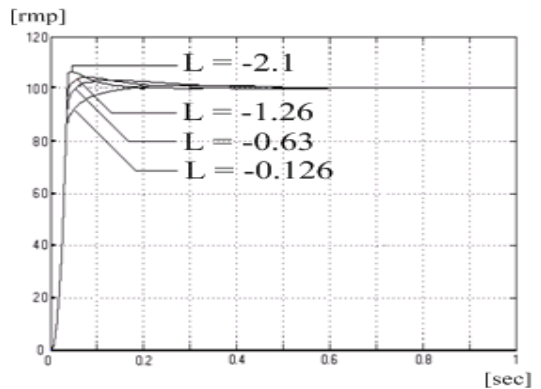
본 논문에서는 제안된 이론을 검증하기 위하여 실험에 앞서 시뮬레이션을 수행하여 이론의 타당성을 입증하였다. 시뮬레이션은 Matlab 6.5의 Simulink를 이용하여 수행하였다. 유도전동기의 파라미터는 표 1에 나타내었으며, 그림 6은 본 논문에 적용한 전체 시스템의 블록도를 나타내고 있다. 제안한 외란상쇄 관측기의 동작 성능을 알아보기 위하여 PI제어기 시스템과 비교하여 응답 특성을 알아보았다. 또한, 그림 2의 외란상쇄 관측기 시스템에서 외란상쇄 파라미터 L 의 값을 변화 시켰을 때 나타나는 응답특성을 시뮬레이션 하면 그림 7과 같다. 관측기 이득 L 값을 가능한 작게 설정함으로써 보다 빠른 응답 특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서 수행한 시뮬레이션은 센서리스 벡터제어에 의해 회전 속도를 검출 받고, 기존의 PI제어기만을 부가한 시스템과 여기에 외란상쇄 관측기를 부가하였을 경우에 대해 비교하여 수행하였다. 시뮬레이션은 PI제어기, 부하토크 관측기, feedforward 외란상쇄 관측기 시스템에 대해서 각각 저속 및 고속의 모든 속도영역과 부하의 가변시의 동작에 대해 알아보기 위하여 스텝적으로 부하를 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.

[표 1] 유도전동기 파라미터

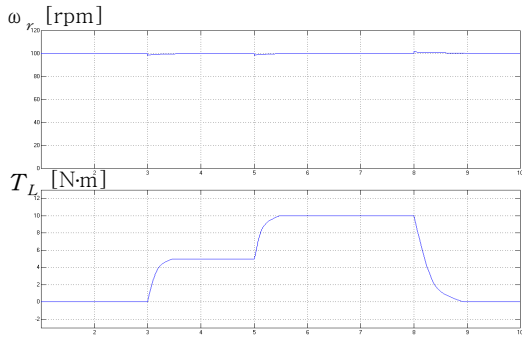
항 목	기 호	값
정 격 출 력	kW	3.7[kW]
정 격 전 압	V	220[V]
정 격 전 류	I	12.9[A]
정 격 속 도	ω_r	1720[rpm]
극 수	P	4극
고 정 자 저항	R_s	0.9210[Ω]
회 전 자 저항	R_r	0.5830[Ω]
고정자인덕턴스	L_s	0.0671[H]
회전자인덕턴스	L_r	0.0671[H]
상 호 인덕턴스	L_m	0.0650[H]
관 성 모멘트	J	0.0418[kg·m ²]
마 찰 계 수	B	0.0045[kg·m ² /s]



[그림 6] 제어 시스템 블록도

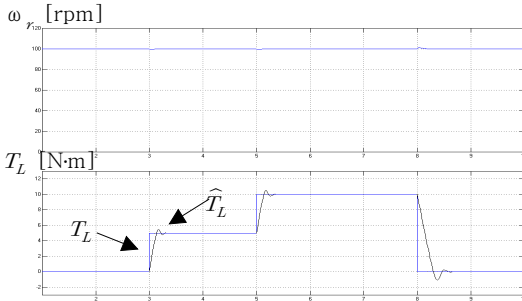


[그림 7] 외란상쇄 파라미터 변화에 따른 속도응답 특성

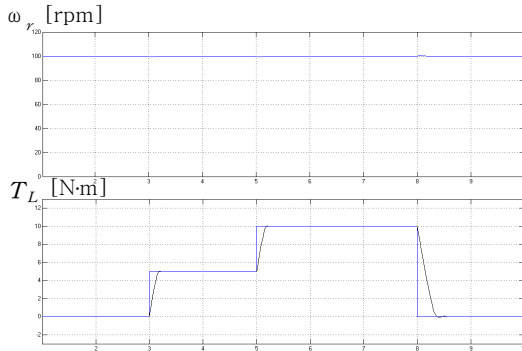


[그림 8] PI제어기의 속도-토크 파형

그림 8은 PI제어기 시스템에 속도명령을 100[rpm]으로 인가하고 부하를 스텝적으로 가변 하였을 경우의 출력속도 파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 일정 부하일 경우는 원활한 속도를 유지하지만 부하가 스텝적으로 가변되는 경우에는 속도 변동이 발생하고 정격속도에 도달하는 시간도 오래 걸리는 것을 볼 수 있다.



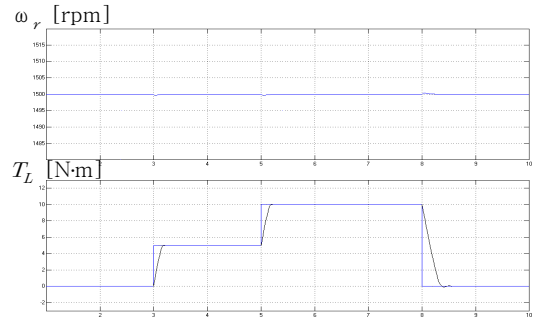
[그림 9] 부하토크 관측기의 속도-토크 파형



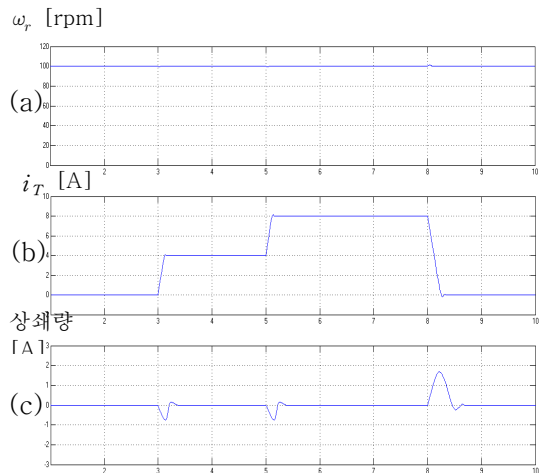
[그림 10] Feedforward 외란상쇄 관측기의 속도-토크 파형

그림 9는 앞의 PI제어기 시스템에 부하토크 관측기를

부가하여 구성한 시스템에 속도명령을 100[rpm]으로 인가하고, 부하를 스텝적으로 가변 하였을 경우의 출력 속도 ω_r 과 부하토크 T_L , 그리고 관측기에 의한 부하토크 추정치 \hat{T}_L 의 파형을 나타내고 있다. 위와같은 조건으로 비교 했을 경우 그림 10은 feedforward 외란상쇄 관측기를 부가하였을 경우의 시스템에 속도 명령을 100[rpm]으로 인가하고 부하를 스텝적으로 가변 하였을 경우의 출력 속도와 토크의 파형이다. 그림에서 보는바와 같이 feedforward 외란상쇄 관측기를 부가함으로써 외란의 변동에 대해 속도의 변동을 양호하게 억제하는 것을 볼 수 있다. 그림 11은 그림 10에서와 동일한 조건에서 속도명령 ω_r^* 을 고속영역인 1500[rpm]으로 인가하였을 경우의 시뮬레이션 파형이다. 그림에서 보는바와 같이 고속 영역에서도 feedforward 외란상쇄 관측기에 의한 부하토크 추정으로 부하 가변 시에도 미분의 영향 없이, 양호한 속도 추정 성능을 보여주고 있다.



[그림 11] Feedforward 외란상쇄 관측기의 속도-토크 파형

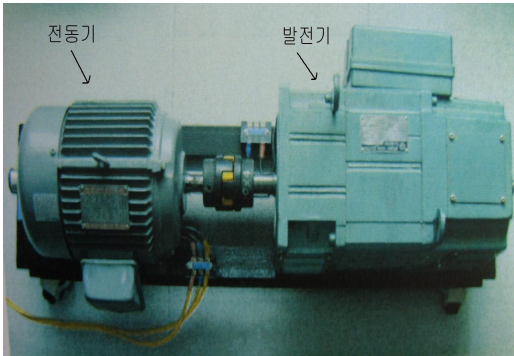


[그림 12] Feedforward 외란상쇄 관측기의 상쇄량

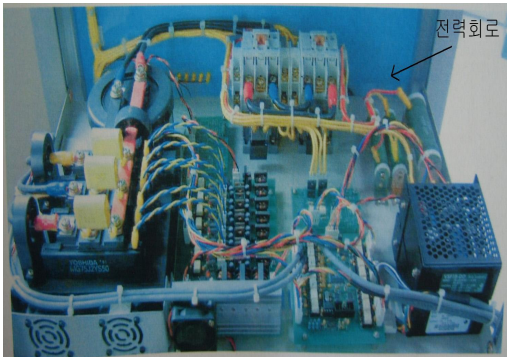
그림 12는 속도명령을 100[rpm]으로 인가하고, 부하를 스텝적으로 가변하였을 경우의 외란상쇄 관측기에 의한 상쇄량으로서 (b)에 나타난 토크전류 i_T 의 진동을 (c)의 상쇄량만큼 상쇄시켜 줌으로서 (a)에서 보는 바와 같이 부하변동에 따른 속도의 변동을 억제하게 된다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안한 feedforward 외란상쇄 관측기 시스템을 구현하기 위하여 시뮬레이션을 토대로 실제 시스템을 구현하여 실험을 수행하였다. 시스템은 서론에서 기술한 제어시스템을 이용하기 위해서 그림 13과 같이 유도전동기와 직류 발전기 3.7[kW]의 MG 세트로 구성하였다. 그림 14는 전력회로를 나타내고 있다. 이와 같은 시스템을 이용하여 저속부터 고속까지의 전 속도 영역에서 동작 성능을 알아보기 위하여 저속 영역은 100[rpm]에서, 그리고 고속 영역은 1500[rpm]에 대해 실험을 수행하여 결과를 확인하였다.

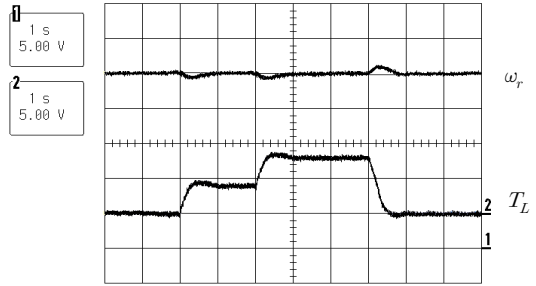


[그림 13] MG 세트 시스템



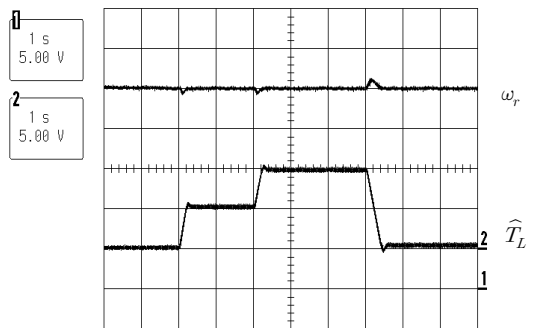
[그림 14] 전력회로

그림 15는 PI제어기만을 부가한 제어기의 실험 파형으로서 (a)는 속도 명령을 100[rpm]으로 인가한 경우의 출력 속도와 토크 파형이다. 부하는 0→반부하→전부하→0 부하로 각각 스텝적으로 가변 하였으며, 그림에서 보는바와 같이 부하 가변 시 출력 속도에 많은 변동이 나타남을 알 수 있다.



[그림 15] PI 제어기의 속도와 토크파형

그림 16은 부하토크 관측기를 부가한 시스템에 가변된 부하를 인가하였을 경우의 속도와 토크 파형으로서 속도 명령을 100[rpm]으로 인가하였다. 각각에 부하는 무 부하에서 반 부하로, 다시 반 부하에서 전 부하로, 다시 전 부하에서 무 부하로 스텝적으로 가변 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 PI제어기만의 시스템에 비해 관측기에 의해 부하토크의 변화를 추정하여 제어함으로써 부하의 변동에 따른 속도 변동을 억제하는 것을 보여주고 있다.



[그림 16] PI 제어기의 속도와 토크파형

그림 17은 PI제어기에 feedforward 외란상쇄 관측기를 부가하여 운전하였을 경우의 속도와 부하전류 i_T 그리고 외란상쇄 제어기에 의해 상쇄되는 양을 나타내고 있다. 그림 18에서 보는바와 같이 외란상쇄 제어기에 의해 부하전류 i_T 의 진동을 상쇄된 양만큼 상쇄해 줌으로서

속도의 변동을 억제해 주는 것을 알 수 있다.

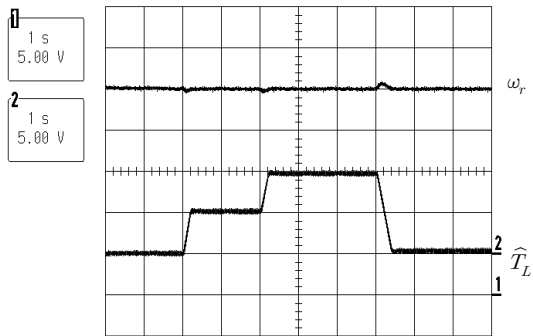
5. 결론

본 논문에서는 부하외란 변동에 강한 속도제어기를 구현하기 위하여 부하토크 외란 관측기를 적용한 feedforward 외란상쇄 관측기를 제안하였고, 제안한 방법을 5[Hp] 유도전동기 시스템에 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 부하외란에 의한 영향을 검토한 결과 기존의 PI제어기에 비해 feedforward 외란상쇄 관측기를 사용하였을 때 부하외란을 상쇄시켜 더욱 더 속도 변동이 억제되었다.
- (2) 부하토크 관측기에 있는 미분항이 없는 형태로 구성하여 feedforward 함으로서 토크 변동과 속도의 변동을 억제할 수 있었다.
- (3) 전통적인 제어기와 종래의 최소차원 관측기보다 제어기 설계가 간단하게 이루어짐을 확인하였다.
- (4) 앞으로의 과제는 다른 파라미터의 변동에도 강인하게 동작하는 간단한 제어기 등에 관한 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

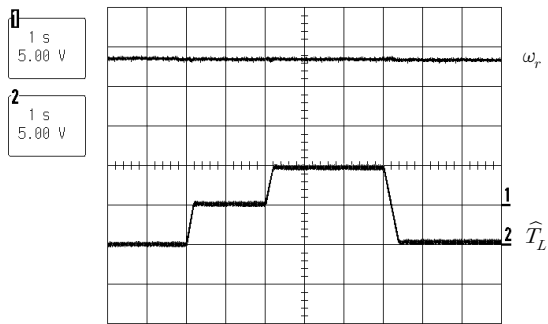
참고 문헌

- [1] M. Iwasaki and N. Matsui, "Robust speed control of IM with torque feedforward control", IEEE Trans. Ind. Electronic, Vol 40. No 6, pp 553~554, 1993
- [2] Satoshi Kadowaki and Kiyoshi Ohishi, "Re-adhesion Control of Electric Motor Coach Based on Disturbance Observer and Sensor-less Vector Control", PCC-Osaka 2002, pp 1020~1025, 2002
- [3] Yen Shine Lai, " Machine Modeling and Universal Controller for Vector-Controlled Induction Motor Drives", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol 18, No. 1, pp 23~32, 2003. 4
- [4] 서영수, "전동력 제어", 도서출판 대경 pp 291~394, 1999.3
- [5] 서영수, 임영배, 김영춘, 성대용, 김종균, "부하토크 피드포워드 제어를 이용한 유도전동기 속도제어", 전력전자학회지. 제3권. 제2호, pp 99~106, 1998.6
- [6] N. Kenzo and N. Hidekazu and H. Mitsuo, "Matlab을 이용한 制御系設計", 東京電氣大學出版社, pp 87~102, 1981.



(a) Speed : 100[rpm]

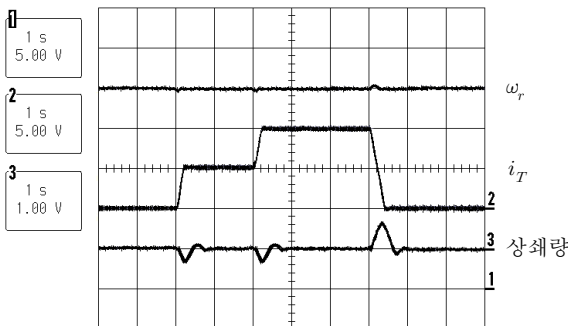
1Ch:20[rpm]/div., 2Ch:5[kg·m²]/div., Time:1[sec]/div.



(b) Speed : 1500[rpm]

1Ch:20[rpm]/div., 2Ch: 5[kg·m²]/div., Time:1[sec]/div.

[그림 17] Feedforward 외란상쇄 관측기의 속도와 토크 파형



1Ch : 400[rpm]/div., 2Ch : 5[A]/div., 3Ch : 1[A]/div.,
Time : 1[sec]/div.

[그림 18] Feedforward 외란상쇄 관측기의 상쇄량

황 락 훈(Lark-Hoon Hwang)

[정회원]



- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남 전문대학 (현 대덕대학) 전기과 조교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

에너지 변환, 전동기 제어, 전력전자 응용분야, 반도체 시뮬레이션 등

나 승 권(Seung-Kwon Na)

[정회원]



- 1996년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
- 1981년 7월 ~ 1988년5월 : 부산위생(한방)병원
- 1988년5월 ~ 1994년8월 : 한국수자원공사
- 1994년 8월 ~ 현재 : 한국 폴리텍 III 대학 원주캠퍼스 의용공학과 부교수

<관심분야>

의용공학 및 전력전자 응용분야 등