

회전기계 계통을 가동시키는 직류전동기를 위한 데드비트제어기 설계

이훈재*, 송자윤**

*광운대 전기공학과, **인천전문대 제어계측과

Design of Deadbeat Controller for DC Motor Driving a Rotational Mechanical System

Heung-Jae Lee*, Ja-Youn Song**

*Kwangwoon Univ., **Incheon Junior College

Abstract - This paper presents a design method of deadbeat controller for DC motor driving a rotational system with gear. The results of sampling a continuous-data process does not guarantee that no ripples occur between the sampling instants in the continuous-data output, but the proposed deadbeat control system that consists of the integral controller and the full state observer, and zero order hold using in continuous systems, has many advantages of such as an output response without the ripple and reaching the steady state without error after a given sampling period and faster settling time than the optimal control system in the short sampling period.

The results of case study through matlab simulation shown that the efficiency of the proposed controller for DC motor driving a rotational system with gear, is verified by comparing with optimal controller etc..

1. 서 론

제어계에서 샘플링개념을 이용한 초기의 적용은 1897년 Gouy.G[1,4]에 의해 고안된 항온 보온제어에서부터 시작되었다. 오늘날 단순한 단일축 자동비행 조종장치 들은 전형적인 아날로그 혹은 연속계로서 이것들은 이산시간계(디지털계)로 바뀌어 가고 있으며 터빈과 발전기, 그리고 압연조절계 등도 디지털화 되고 있다. 최근 제어계의 응용을 위한 특별한 목적의 마이크로 프로세서와 DSP(Digital Signal Processors)[4]는 아주 일반화되고 있는데, 이와 같은 이산시간계의 급속한 발전은 연속시간계보다 설계비가 경제적이고, 소형이며, DSP 등은 설계를 바꾸더라도 하드웨어를 바꿀 필요가 없고, 컴퓨터상에서 프로그램이나 설계를 바꿔주면 되므로 수정이 편리한 때문이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 기어(gear)가 포함된 회전기계[5,6,7,9]에 적분제어기와 상태관측기를 적용한 데드비트제어기를 제시하였다. 이러한 제어기를 이산시간계에서 설계하여 플랜트와 연속시간계인 경우는 영차홀드(ZOH)를 포함, Matlab 프로그램을 사용해서 시뮬레이션[2]을 실행하였고, 그결과 최적제어방식 등과 비교할 때 정정시간이 더 빠르고 정상상태에서 리플(ripple)이 발생하지 않는다는 것[3, 4,8]을 입증하였다.

2. 데드비트제어기 설계

2.1 플랜트시스템의 구성

직류전동기에 의해서 기어를 포함한 회전기계를 가동시키는 플랜트시스템(9)은 다음 그림 1에 표시한 바와

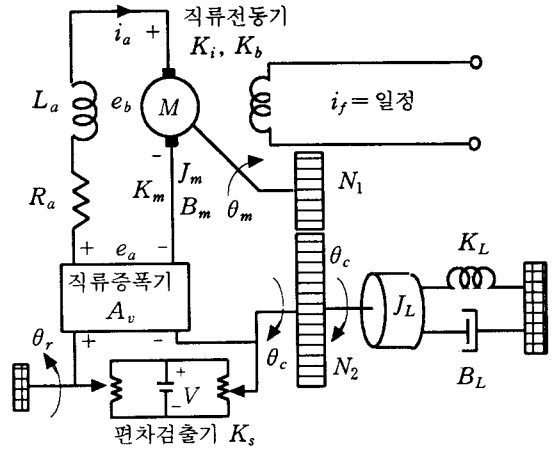


그림 1 기어를 포함한 회전기계 플랜트

같으며, 평형상태에서 이 시스템을 선형화한 방정식 들은 다음과 같이 주어진다.

$$\dot{i}_a = -\frac{R_a}{L_a} i_a - \frac{K_b}{L_a} \omega_m + \frac{A_v K_s}{L_a} (\theta_r - n \theta_m) \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_m = \frac{K_i}{J_m} i_a - \frac{B_m}{J_m} \omega_m - \frac{K_{me}}{J_m} \theta_m \quad (2)$$

$$\dot{\theta}_m = \omega_m \quad (3)$$

$$\theta_m = \frac{1}{n} \theta_c \quad (4)$$

여기서

$$n = N_1/N_2, \quad J_{me} = J_m + n^2 J_L$$

$$B_{me} = B_m + n^2 B_L, \quad K_{me} = K_m + n^2 K_L$$

i_a ; 전기자전류 [A]

e_b ; 전동기의역기전력 [V]

θ_m ; 전동기의 회전각 [rad]

ω_m ; 전동기의 회전각속도 [rad/s]

θ_c ; 부하의 회전각 [rad]

이다. 따라서 플랜트의 연속시간계 상태방정식은

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (5)$$

$$y = Cx \quad (6)$$

와 같고, 상태변수와 시스템행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$x_o(k) = \begin{bmatrix} x(k) \\ v(k) \\ e(k) \end{bmatrix}, \quad H_o = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C_o = [C \ 0 \ 0 \ 0 \ 0], \quad u_o(k) = r(k+1)$$

3. 사례연구

본 논문에서 제안한 데드비트제어기의 성능검증을 위하여 연속시간계인 기어를 포함한 회전계통 플랜트 모형에 대하여 동일조건하에서 기존의 선형 최적제어기의 시간응답과 비교하였다. 이산시간계가 아닌 연속시간계 플랜트를 제어할 경우에는 두가지 모두 영차홀드를 플랜트 제어입력측에 사용하였다.

표 1은 사례연구에 사용한 회전계통 플랜트모델의 제정수를 나타내며, 이것은 문헌[5] 등을 참조하여 임의로 설정한 값 들이며, 이 정수를 사용한 프랜트는 가제어성 및 가관측성을 가지게 됨을 알 수 있다.

표 1 기어를 포함한 회전계통의 제정수

검출기의 감도 [V/rad]	$K_s = 1$
직류증폭기의 증폭도 (가변)	$A_v = 5$ 또는 10
전동기의 전기자저항 [Ω]	$R_a = 2$
전동기의 전기자 인덕턴스[H]	$L_a = 0.01$
전동기의 회전자 관성모멘트 [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	$J_m = 0.01$
전동기축의 점성 마찰계수 [$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$]	$B_m = 0.01$
전동기축의 스프링상수 [$\text{N} \cdot \text{m}/\text{rad}$]	$K_m = 0.01$
부하의 관성모멘트 [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	$J_L = 0.1$
부하축의 점성마찰계수 [$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$]	$B_L = 0.01$
부하축의 스프링상수 [$\text{N} \cdot \text{m}/\text{rad}$]	$K_L = 0.01$
전동기회전력이 전기자전류에 비례하는 토크상수 [$\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$]	$K_i = 0.7$
전동기역기전력이 전동기속도에 비례하는 역기전력상수 [$\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}$]	$K_b = 1$
기어비(gear ratio)	$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{10}$

사례 1: 샘플링주기에 따른 변화

이 경우에 있어서 증폭기의 증폭도 A_v 를 10으로 설정하고 플랜트부분의 적분기와 상태관측기의 단위지연기(unit delay)에 초기값 1을 부하각에만 [0 0 1]와 같이 주고, 샘플링주기를 0.1[s]에서 1[s]까지 변경시켜 가면서 여러번 실행하고 그 결과를 검토하여 비교하기 편리한 샘플링주기를 0.5 [s]와 0.7[s]로 임의설정하여

실행한 시뮬레이션결과를 부하각 변위, 각속도 변위, 그리고 제어입력에 대하여 그림 3, 4, 5에 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 샘플링주기의 증가에 따라 시스템의 초기응답을 살펴보면 각속도의 경우 2/3정도로 줄어들지만 정정시간은 약 1.5배로 증가하고 있음을 보이고 있다.

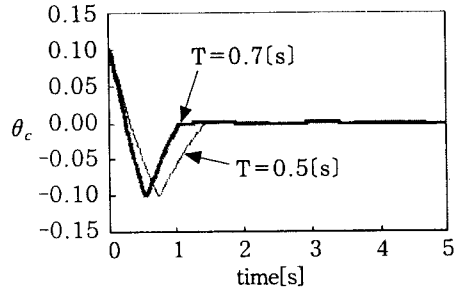


그림 3 초기값에 의한 부하각의 변화

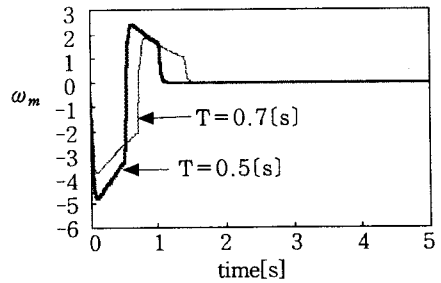


그림 4 초기값에 의한 각속도의 변화

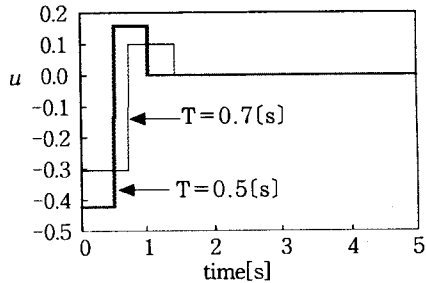


그림 5 초기값에 의한 제어입력의 변화

사례 2: 최적제어기와 비교

무제어 상태에서 증폭도를 1에서 2500정도까지 변화시킬 때 시스템의 초기응답은 증폭도가 1000정도에서 심하게 진동하고, 2300정도가 넘으면 이 시스템은 발산을 하게되는 데, 이 경우에 제안된 데드비트제어 또는 최적제어를 실행하면 곧 안정화되고 정상상태로 되는 것을 볼 수 있다. 제안된 데드비트제어기와 선형 최적제어기의 비교를 위해서 샘플링주기 0.7[s]에서 증폭도 A_v 를 5로 똑같이 설정하고, 그림2에서 보는 바와 같이 단위입력 $r=1$ 을 입력하고 적분기와 단위지연기 등에 초기조건을 0으로 놓은 상태에서 시뮬레이션을 실행하여 인디셜응답(indicial response)을 비교하였고, 그 결과는 그림 6~그림10에 보인 바와 같이 데드비트제어기의 경우에 정정시간은 선형 최적제어기의 경우보다 약 두 배가 더 빠르고, 또한 정정시간 후에도 리플이 없는 안정상태에 이른다. 그리고 제어입력은 최적제어기보다 응

답초기에는 두 배 정도 크게 나타나지만, 정정시간은 두 배 정도 빠르다. 그림에서 제어를 하지않은 무제어상태에서의 응답과 비교하면 매우 큰 효과를 보이고 있다.

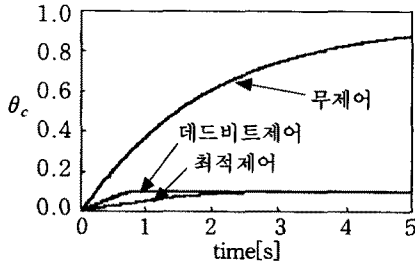


그림 6 부하각의 인디셜응답

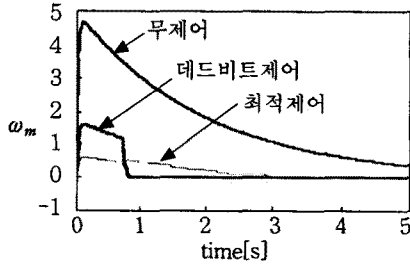


그림 7 각속도의 인디셜응답

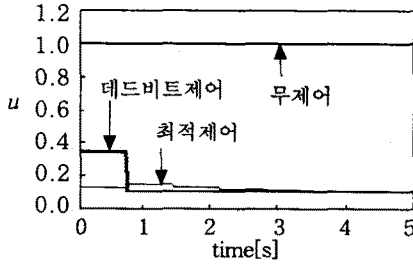


그림 8 제어입력의 변화

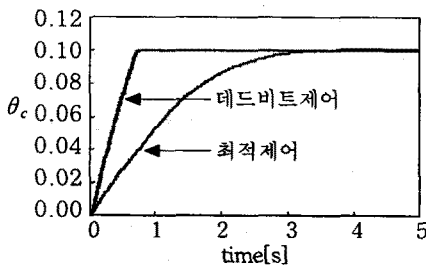


그림 9 부하각의 인디셜응답

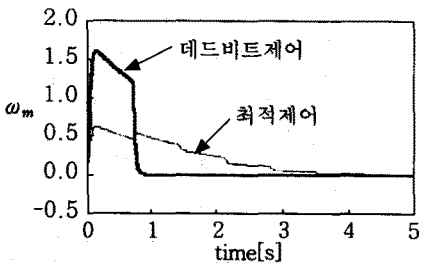


그림 10 각속도의 인디셜응답

3. 결 론

본 논문은 회전기어를 포함한 회전계통의 데드비트 제어를 설계하는 방법을 제안하였다. 제안된 데드비트 제어기는 적분제어기와 전차원 상태관측기로 구성된다. 몇 가지 사례연구를 통해서 제안된 데드비트 제어기는 주어진 샘플링주기 후에 리플없는 안정상태에 도달하고 다른 제어기보다 정정시간이 훨씬 빠름을 보인다. 또한 아주 작은 입력신호를 가지고 확대된 시스템의 저주파 진동을 제어할 수 있다. 그러나 앞으로 제안된 제어기가 실제 회전계통에 적용되기 위해서는 더 많은 연구가 실행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박진배 외 3인역, "디지털제어시스템", 지성출판사, pp. 664-698, 1997.
- [2] 황우현, 권육현, "CEMTool 제어공학", 멀티정보사, pp. 168-411, 1998.
- [3] 송자윤, 이홍재, "데드비트제어에 의한 전력계통 안정화장치에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 47권 11호, pp. 1824-1829, 1998.
- [4] Benjamin C. Kuo, "Digital Control Systems: 2nd Edition", Sanders College Publishing, pp.530-627, 1992.
- [5] Norman S. Nise, "ControlSystems Engineering: 2nd Edition", The Benjamin/Cummings Publishing Co.Inc., pp.64-151, 1995.
- [6] Osman Kukrer, Member, "Deadbeat Control of a Three-Phase Inverter with an Output LC Filter", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.11 No.1, January 1996.
- [7] Katsuhiko Ogata, "DISCRETE-TIME CONTROL SYSTEMS: 2nd Edition", Prentice-Hall International, Inc., pp.408-629, 1995.
- [8] J. Y. Song, et al., "Power System Stabilizer Using Deadbeat Control", KIEE, ICEE '98, Proceedings: Vol.2, pp.401-404, 1998.
- [9] Katsuhiko Ogata, "MODERN CONTROL ENGINEERING, 3rd Edition", Prentice-Hall International, Inc., pp.190-194, 1997.
- [10] Ken Dutton, et al., "The Art of Control Engineering", Addison-Wesley, pp.397-412, 1997.
- [11] B. Shahian, M. Hassul, "Control System Design Using Matlab", Prentice-Hall International, Inc., pp.262-306, 1993.