

주기적 확률외란을 갖는 DC 전동기의 적응형 상태궤환 제어시스템

論 文

57-6-20

Adaptive State Feedback Control System of DC Motors with Periodic Random Disturbance

鄭相鐵* · 金俊洙** · 曹賢哲† · 李炯基***

(Sang-Chul Jeong · Jun-Su Kim · Hyun-Cheol Cho · Hyung-Ki Lee)

Abstract - Periodic disturbance is practically occurred in several engineering applications, especially in data storage systems. However, recently addressed controls for such problem were mostly dealt with its deterministic nature, which is rarely practical in real-time implementation. We present an adaptive control approach for DC motor systems with periodic stochastic disturbance whose frequency and magnitude are both random variables. We establish adaptive state feedback control which is linearly composed of nominal and corrective control parameter matrices. The former is derived from a nominal system model voiding disturbance and the latter is constructed from a disturbed system model by using Lyapunov stability theory. We carry out computer simulation to evaluate the proposed control methodology and compare to the recently addressed control method to demonstrate its superiority.

Key Words : Periodic random disturbance, Adaptive control, DC motor, Corrective control, Lyapunov stability

1. 서 론

주기적 외란은 산업현장의 전동기 시스템에 주로 나타나는 바람직하지 못한 시스템 특성으로서 고급 제어시스템의 구성에 있어 중요하게 고려되어야 할 부분이다. 특히 컴퓨터 주변장치의 발달로 인하여 하드디스크와 같은 저장장치의 성능을 극대화하기 위해 이러한 주기적 외란을 보상하는 전동기 제어시스템이 활발히 연구되고 있다[1]-[4]. 이러한 연구는 주로 전동기를 포함하는 데이터 저장장치에서 주기적 외란으로 인한 현상을 억제하기 위한 적응제어기법을 다루고 있다. 또한, 냉각기의 회전기와 같은 기계시스템의 주기적 진동외란을 억제하기 위한 제어시스템에도 적용되고 있다[5][6]. 기존의 소규모 전동시스템과는 달리 대전력 및 대규모의 회전기에서 발생하는 주기적 외란을 억제하기 위한 고급제어알고리즘이 발표되었다. 최근엔 시변 및 불확실성 주기외란을 내포하는 복잡한 시스템에 대하여 다양한 제어이론이 발표가 되고 있다[7]-[11].

이제까지의 주기적 외란에 대한 전동기의 제어연구는 주로 결정론적(deterministic) 주기특성을 고려하였다. 이러한 특성에 대한 전동기 제어시스템의 설계 또한 결정론적 방법을 통해 제어기를 구현한다. 하지만 실시간 구현에 있어 전동기의 외란은 가우시안 분포와 같은 확률특성을 갖는 시변

파라미터로 간주된다. 이러한 경우 기존의 결정론적 제어 설계법을 이용할 경우 시스템의 확률특성으로 인하여 실시간 구현에 있어 제어성능의 저하를 야기시킨다. 하지만 확률기법을 이용한 제어기 설계는 다소 복잡한 수학적 과정을 거치는 어려움이 있다.

본 논문은 주기적 외란에서 주파수와 외란의 크기가 확률 특성을 갖는 DC 전동기의 적응제어기법을 제안한다. 제어기법은 상태궤환 제어규칙을 구성하였으며 제어 파라미터 행렬은 공칭 파라미터와 보조 파라미터로 선형 조합된다. 공칭 파라미터 값은 외란을 고려하지 않은 전동기의 공칭 모델로 부터 선형 시스템 이론을 적용하여 산출하며 보조 제어파라미터 값은 외란을 억제하기 위한 목적으로 구성된다. 보조 제어규칙은 Lyapunov 안정성 이론을 적용하여 해석적으로 산출되며 이 때 외란의 최대값에 대한 정보를 이용한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 제어시스템의 성능을 검증하며 최근에 발표된 [9]에서 제안한 제어기법과 비교 분석하여 제어성능의 우수성을 입증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 주기적 확률외란을 갖는 DC 전동기의 시스템 모델을 서술한다. 본 논문에서 제안하는 적응제어시스템 설계를 3장에서 그리고 컴퓨터 시뮬레이션 및 고찰을 4장에 서술한다. 마지막으로 5절에서 결론과 향후 연구를 각각 나열한다.

2. 시스템 모델

본 논문에서 다루는 주기적 외란특성을 갖는 시변 DC 전동기의 선형 시스템 모델은 다음과 같다.

* 正會員 : 釜慶大學校 電氣·制御計測工學科 博士課程

** 正會員 : 한국폴리텍VII대학 電子科 教授

*** 正會員 : 釜慶大學校 電氣·制御計測工學科 教授

† 교신저자, 正會員 : 東亞大學校 電氣工學科 Post-Doc

E-mail : hyunccho@gmail.com

接受日字 : 2008年 2月 2日

最終完了 : 2008年 3月 20日

$$\begin{aligned} \frac{d\omega(t)}{dt} &= -\frac{B}{J}\omega(t) + \frac{K_i}{J}i_a(t) + d(t) \\ \frac{di_a(t)}{dt} &= -\frac{K_b}{L}\omega(t) - \frac{R(t)}{L}i_a(t) + \frac{1}{L}u(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

- $i_a(t)$: 전기자 전류 [A]
- $u(t)$: 제어입력(전기자 전압) [V]
- $\omega(t)$: 전동기 속도 [rad/sec]
- $d(t)$: 주기적 확률외란
- B : 전동기의 점성계수
- J : 전동기의 관성모멘트 [Nm/rad/sec²]
- K_i : 전동기의 토크 상수 [Nm/A]
- K_b : 전동기의 역기전력상수 [V/rad/sec]
- T_L : 부하토크 [Nm]
- L : 전기자 인덕턴스 [H]
- R : 전기자 저항 [Ω]

식 (1)에서 시스템 외란은 주기적 확률동특성을 갖으며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d(t) &= \alpha \sin(\zeta t + \phi) \\ &= \alpha_1 \cos(\zeta t) + \alpha_2 \sin(\zeta t) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\alpha_1, \alpha_2, \zeta$ 는 시변 랜덤확률변수로 주어진다. 즉,

$$\alpha_1 = \alpha_1(t), \alpha_2 = \alpha_2(t), \zeta = \zeta(t) \quad (3)$$

이다. 일반적으로 확률특성의 외란 시스템에 대한 제어기 설계는 다소 복잡하며, 특히 외란에 대한 정확한 정보가 미비한 경우 바람직한 제어성능을 예상하기가 힘들다. 하지만 본 논문에서는 식 (3)의 변수의 범위는 주어진다고 가정한다. 즉,

$$\alpha_1 \in [\alpha_{1_{\min}}, \alpha_{1_{\max}}], \alpha_2 \in [\alpha_{2_{\min}}, \alpha_{2_{\max}}], \zeta \in [\zeta_{\min}, \zeta_{\max}] \quad (4)$$

이러한 외란에 대한 부분적인 정보만을 이용하여 시변 확률 특성을 갖는 외란시스템에 대한 적응제어기를 설계한다.

3. 적응 제어시스템 설계

식 (1)의 시스템 모델을 상태공간 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

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

여기서 $x = [i_a \ \omega]^T$ 는 상태변수를 나타내며, 상태, 제어 및 외란 행렬은 각각 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} -B/J & K_i/J \\ -K_b/L & -R/L \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

우선, 식 (5)의 선형모델에 대하여 다음의 상태궤환 제어규칙을 적용한다.

$$u = -Kx + r \quad (7)$$

여기서 r 은 기준값, $K \in R^{1 \times 2}$ 는 제어 파라미터 행렬을 나타낸다. 식 (7)을 식 (5)에 대입하면 시스템 상태방정식은

$$\dot{x}(t) = (A - BK)x(t) + Br + Wd(t) \quad (8)$$

와 같이 된다. 선형시스템 이론을 적용하여 식 (8)에 대하여 안정한 시스템을 위한 K 값을 해석적인 방법을 통해 결정할 수 있다. 하지만, 안정한 시스템 구축은 가능하나 외란으로 인한 제어성능의 저하가 예상된다. 외란에 대한 제어기의 설계를 위하여 식 (8)의 제어기 파라미터 K 를 공칭값 K^* 과 수정값 ΔK 으로 표현한다. 즉,

$$K = K^* + \Delta K \quad (9)$$

여기서 K^* 은 식 (5)에서 외란을 고려하지 않은 경우, 즉 $d=0$ 으로 간주하여 산출한다. 식 (9)를 식 (8)에 대입하면

$$\dot{x}(t) = \tilde{A}x(t) - B\Delta Kx(t) + Br + Wd(t) \quad (10)$$

이며 여기서

$$\tilde{A} = A - BK^* \quad (11)$$

이다. 식 (10)의 보조 제어파라미터 ΔK 는 모델기반 적응제어 기법을 이용하여 산출한다. 모델기반 적응제어는 식 (6)의 시스템 모델이 다음의 기준모델

$$\dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m r \quad (12)$$

을 추종하기 위한 제어입력을 산출하는 것이다. 식 (12)에서 x_m, A_m, B_m 의 크기는 식 (8)의 시스템 모델과 동일하며, (A_m, B_m) 은 가제어성으로 간주한다. 다시 말해, 안정한 제어 파라미터 ΔK 의 선정은 식 (8)과 식 (12)의 두 방정식의 해(solution)의 오차

$$e = x_m - x \quad (13)$$

를 0으로 하기 위하여 결정되어 진다. 식 (13)의 모델오차를 이용하여 Lyapunov 함수를 정의하면

$$V = e^T P e \quad (14)$$

이며 여기서 행렬 $P \in R^{2 \times 2}$ 는 positive definite로 주어진다. 식 (14)의 미분식은

$$\dot{V} = \dot{e}^T P e + e^T P \dot{e} \quad (15)$$

이며 여기서 오차의 미분 $\dot{e} = \dot{x}_m - \dot{x}$ 은 식 (8)과 식 (12)를 대입하여 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} \dot{e} &= A_m x_m + B_m r - (\tilde{A} - B \Delta K)x + Br - Wd \\ &= A_m x_m - A_m x + A_m x - (\tilde{A} - B \Delta K)x \\ &\quad + (B_m + B)r - Wd \\ &= A_m e + (A_m - \tilde{A} + B \Delta K)x + (B_m + B)r - Wd \end{aligned} \quad (16)$$

식 (16)의 세 번째 결과를 식 (15)에 대입하면 Lyapunov 함수의 미분식은 최종적으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V} &= [A_m e + (A_m - \tilde{A} + B \Delta K)x \\ &\quad + (B_m + B)r - Wd]^T P e \\ &\quad + e^T P [A_m e + (A_m - \tilde{A} + B \Delta K)x \\ &\quad + (B_m + B)r - Wd] \\ &= e^T (A_m^T P + P A_m) e + 2\eta \end{aligned} \quad (17)$$

여기서

$$\eta = e^T P [(A_m - \tilde{A} + B \Delta K)x + (B + B_m)r - Wd] \quad (18)$$

로서 스칼라 값으로 된다. Lyapunov 안정성 조건을 만족하기 위하여, 즉 식 (13)의 오차가 안정하게 수렴하기 위한 첫 번째 조건은 기준 상태행렬 A_m 이 안정하여야 하며, 즉 A_m 의 고유치의 실수부 모두가 음수이어야 한다. 다음으로, 식 (17)의 두 번째 항목이 음수가 되어야 한다. 즉, $\eta < 0$ 이어야 하며 또한 다음과 같다.

$$e^T P [(A_m - \tilde{A} + B \Delta K)x + (B + B_m)r - Wd] < 0 \quad (19)$$

첫 번째 수렴조건은 식 (12)의 기준 모델의 선정시 안정한 A_m 을 결정함으로써 해결할 수 있다. 두 번째 조건은 식 (19)의 제어파라미터 ΔK 의 규칙을 적절하게 설정하여 $\eta < 0$ 를 만족시킬 수 있다. 우선, 식 (19)에서 $A_m = \tilde{A}$ 가 되기 위하여 식 (11)의 공칭 제어파라미터 행렬 K^* 를 다음과 같이 정의한다.

$$K^* = (B^T B)^{-1} B^T (A - A_m) \quad (20)$$

따라서 식 (19)는 다음과 같이 간략화 된다.

$$e^T P [B \Delta K x + (B + B_m)r - Wd] < 0 \quad (21)$$

여기서

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}, B_m = \begin{bmatrix} b_{m_1} \\ b_{m_2} \end{bmatrix}, \Delta K = \begin{bmatrix} \Delta K_1 \\ \Delta K_2 \end{bmatrix}^T \quad (22)$$

으로 두고 또한 식 (6)의 행렬을 식 (21)에 대입한 후 행렬 연산을 통해 식 (21)은 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} &(e_1 p_{11} + e_2 p_{21})(b_{m_1} r - d) + (e_1 p_{12} + e_2 p_{22}) \\ &\cdot (\Delta K_1 x_1 / L + \Delta K_2 x_2 / L + r / L + b_{m_2} r) < 0 \end{aligned} \quad (23)$$

또한

$$\begin{aligned} \Delta K_1 x_1 + \Delta K_2 x_2 < - \frac{L(e_1 p_{11} + e_2 p_{21})(b_{m_1} r - d)}{e_1 p_{12} + e_2 p_{22}} \\ - r(1 - b_{m_2} L) \end{aligned} \quad (24)$$

간단한 전개를 위하여 그리고 일반적으로 $b_{m_1} = 0$ 이므로 식 (24)은

$$\Delta K_1 x_1 + \Delta K_2 x_2 < \frac{Ld(e_1 p_{11} + e_2 p_{21})}{e_1 p_{12} + e_2 p_{22}} - r(1 - b_{m_2} L) \quad (25)$$

와 같다. 따라서 식 (25)의 부등식을 만족하기 위한 ΔK_1 과 ΔK_2 의 필요충분조건은 다음과 같다.

$$\Delta K_1 < \frac{Ld(e_1 p_{11} + e_2 p_{21})}{x_1(e_1 p_{12} + e_2 p_{22})} \quad (26)$$

$$\Delta K_2 < - \frac{r(1 - b_{m_2} L)}{x_2} \quad (27)$$

식 (2)에 의해 외란 d 의 최소값은 $-\max(|\alpha|)$ 이므로 식 (26)의 조건은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta K_1 < - \frac{L \max|\alpha| (e_1 p_{11} + e_2 p_{21})}{x_1 (e_1 p_{12} + e_2 p_{22})} \\ < \frac{Ld(e_1 p_{11} + e_2 p_{21})}{x_1 (e_1 p_{12} + e_2 p_{22})} \end{aligned} \quad (28)$$

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 제어시스템의 성능을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였으며, 최근에 발표된 제어 기법과 비교분석하여 성능의 우수성을 입증하였다. 시뮬레이션에 사용된 식 (1)의 DC 전동기의 시스템 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1 DC 전동기 파라미터 값

Table 1 Parameter values of the DC motor

B	J	K_i	K_b	L	R
0.01	0.02	1	1	0.005	1

따라서 식 (6)에서 행렬은 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 50 \\ -200 & -200 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 200 \end{bmatrix} \quad (29)$$

식 (12)의 시스템 기준모델에서 상태행렬 및 제어행렬은 보다 더 빠른 속응성을 위하여 다음과 같이 정의하였으며

$$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 100 \\ -500 & -500 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \end{bmatrix} \quad (30)$$

또한 식 (14)에서 Lyapunov 행렬 P 는 다음과 같은 항등행렬로 정의하였다.

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

식 (30)과 식 (31)에 의해 식 (20)의 공칭 제어파라미터 행렬은 다음과 같다.

$$K^* = [1.5 \ 1.5] \quad (32)$$

식 (2)의 시스템 외란에서 α 는 $[-10, 10]$ 의 범위를 갖는 항등분포(uniform distribution) 확률변수로 정의하였으며, 즉 $\alpha \sim U(-10,10)$ 이며, 주파수 ζ 는 분산값이 $[0,1]$ 의 항등분포를 갖는 정규분포함수로 정의하였다. 즉, $\zeta \sim N(0,\sigma)$ 여기서 $\sigma \sim U(0,1)$ 이다.

그림 1은 시뮬레이션에 적용된 주기적 확률외란을 보여주며, 전체적으로 정현파의 형태이나 노이즈가 첨가된 리플특성을 지닌 것을 알 수 있다. 그림 2는 [9]에서 발표한 제어기법과 본 논문에서 제안한 제어기법에 대한 시스템 응답파형을 보여준다. [9]에서 제안한 제어기법은 결정론적 기법의 설계방법으로서 [9]에서 구성한 제어기를 그대로 적용하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 최근에 발표한 제어기의 응답은 주어진 제어시간 동안 안정한 제어성능에 도달하지 못함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 제어기법의 경우 정상상태 시간이 약 0.5초로서 매우 만족스러운 성능을 보여준다. 정상상태에서의 작은 크기의 리플현상은 외란의 확률특성으로 인해 발생하는 것이다. 그림 3은 식 (27)과 식 (28)의 ΔK_1 과 ΔK_2 의 값을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 시스템의 응답에 대하여 적응적으로 그 값들이 변화됨을 알 수 있다.

그림 4는 시스템 설정치의 변화에 대한 제어기의 성능을 비교하였다. 이 경우에도 최근에 발표된 제어기의 경우 전혀 안정한 제어성능을 발휘하지 못하며 반대로 본 논문에서 제안한 제어기법의 경우 매우 바람직한 제어성능을 보여주며 설정치의 변화에도 만족스러운 추종성능을 보여준다. 이

러한 성능은 그림 5의 보조 제어파라미터 값의 적응적 수정으로 인한 것으로 간주된다. 한편, [9]에서 제안한 제어기법의 경우도 적응형 제어시스템이지만, 결정론적 기법으로 제어기를 설계하였으며, 따라서 본 시뮬레이션과 같은 확률외란 시스템에 대하여 바람직하지 못한 제어성능을 보여주고 있다. 본 시뮬레이션 실시를 통해 제안한 제어시스템의 성능의 우수성과 타당성을 검증하였다.

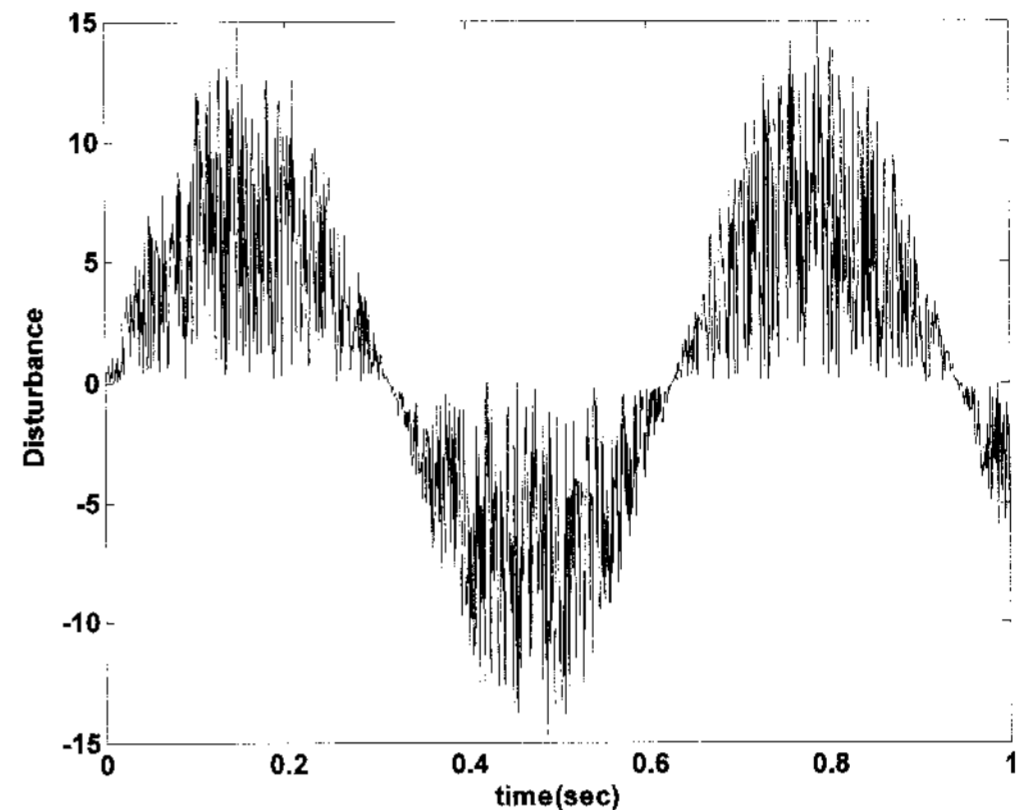


그림 1 주기적 확률특성을 갖는 외란파형

Fig. 1 Periodic random Disturbance

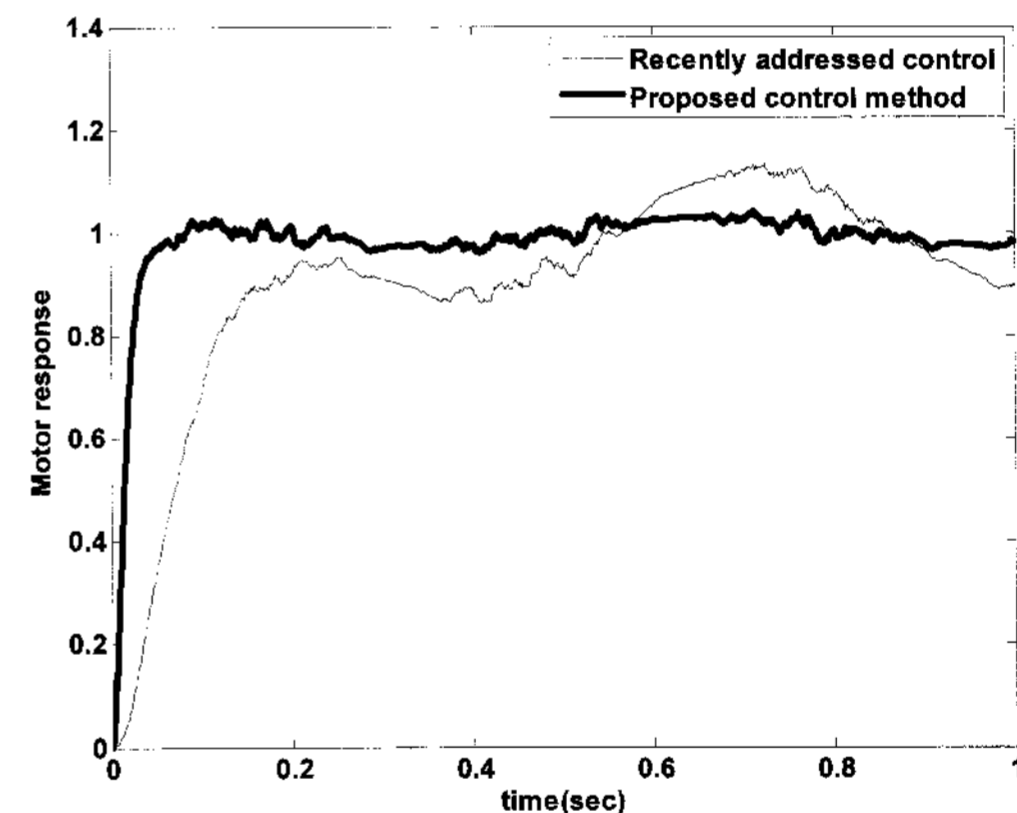


그림 2 DC 전동기 응답파형(단위계단)

Fig. 2 Step response of the DC motor

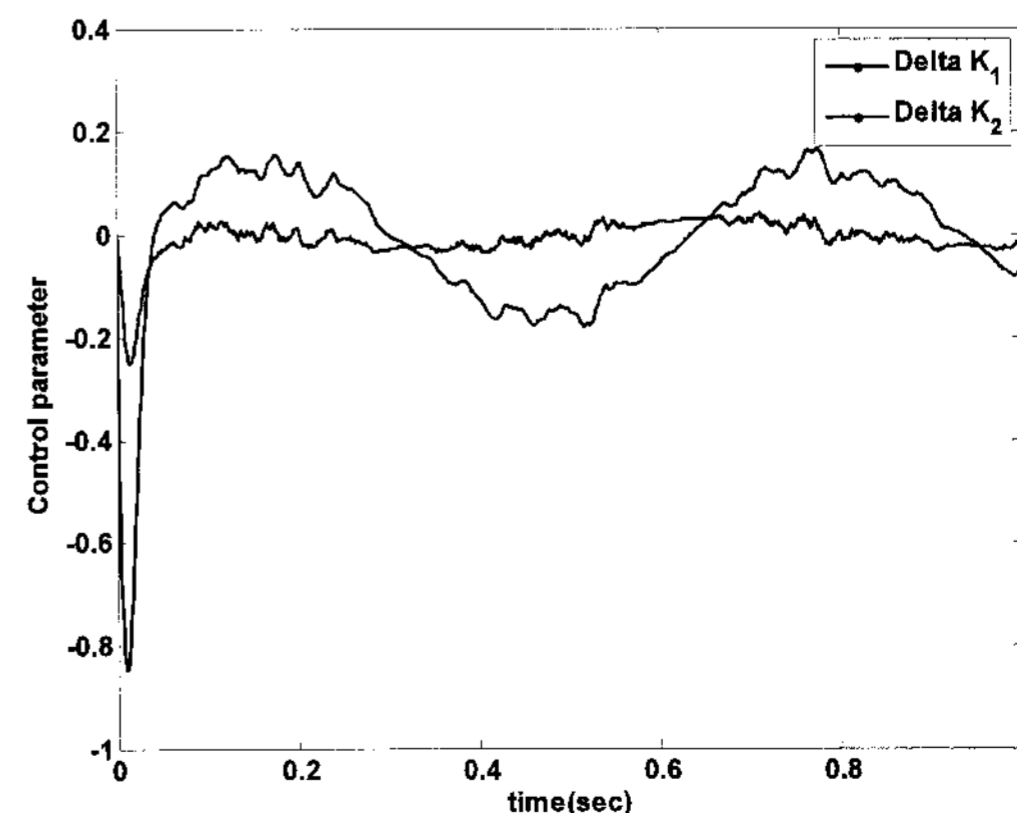


그림 3 ΔK_1 과 ΔK_2 변화(단위계단)

Fig. 3 Time histories of ΔK_1 and ΔK_2 for step response

참 고 문 헌

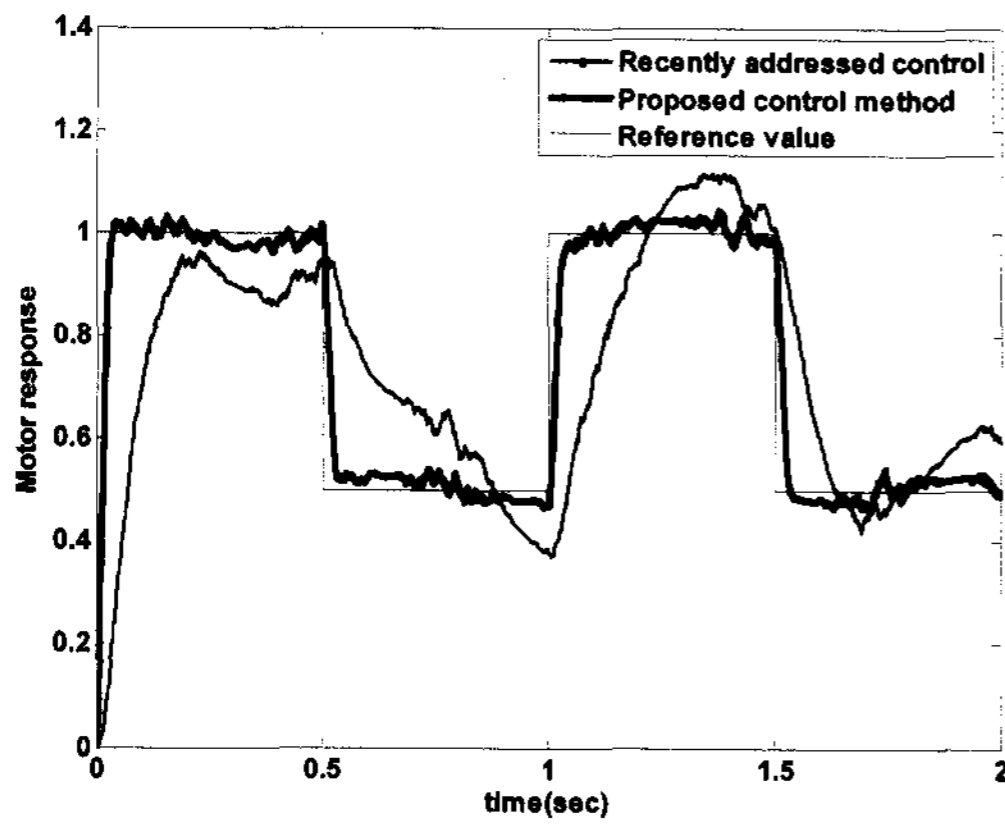


그림 4 DC 전동기 응답파형(설정치변화)
 Fig. 4 System response of the DC motor for dynamic reference value

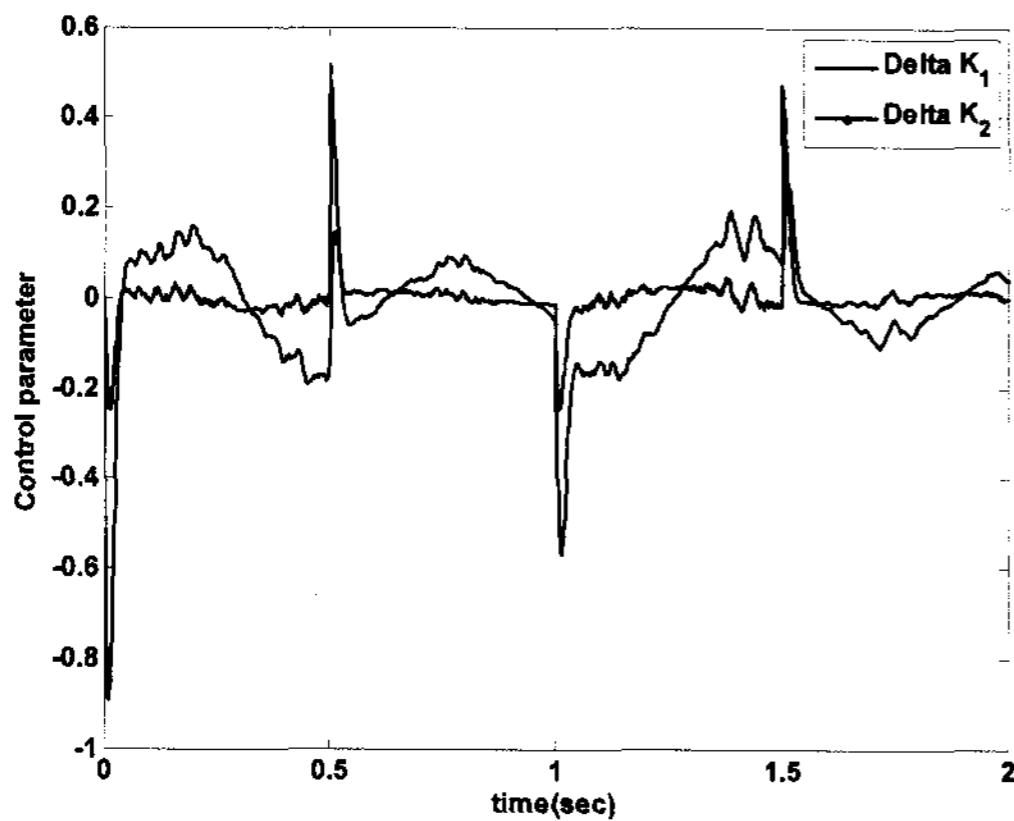


그림 5 ΔK_1 과 ΔK_2 변화(설정치변화)
 Fig. 5 Time histories of ΔK_1 and ΔK_2 for dynamics reference value

5. 결 론

본 논문은 주기적 확률특성을 갖는 외란에 대한 DC 전동기의 적응제어시스템을 제안하였다. 제어기는 상태제환 형태로 구성하였으며 공칭 파라미터 행렬과 보조 파라미터 행렬로 선형 조합된다. 공칭 제어 파라미터는 외란을 고려하지 않은 공칭 모델로부터 선형시스템 이론을 적용하여 산출하며, 보조 제어 파라미터 값은 외란을 억제하기 위하여 Lyapunov 안정성 이론을 만족하는 조건하에 산출되어 진다. 성능의 우수성을 입증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였으며 최근에 발표된 제어기법과 비교 분석하였다. 일반적으로 결정론적 기법으로 제어기 설계법은 확률 시스템 제어에 바람직하지 못한 제어성능을 보이고 있는 반면, 본 논문에서 제안한 제어기법은 외란에 대하여 만족스러운 제어성능을 확인 할 수 있었다. 제안한 제어기법의 실제 적용 가능성을 검증하기 위하여 실시간 DC 전동기의 제어시스템 구현을 향후 연구과제로 두고 있다.

[1] A. Sacks, M. Bodson, and P. Khosla, "Experimental results of adaptive periodic disturbance cancellation in a high performance magnetic disk drive," *American Control Conference*, pp. 686-690, 1993.

[2] J.-J. Liu, and Y.-P. Yang, "Comparison of AFC and FACT method for periodic disturbance suppression in optical disk drives," *IECON*, pp. 1987-1992, 2004.

[3] M. R. Graham, and R. A. de Callafon, "An iterative learning design for repeatable runout cancellation in disk drives," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 474-482, 2006.

[4] M. Nagashima, K. Usui, and M. Kobayashi, "Rejection of unknown periodic disturbances in magnetic hard disk drives," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 43, no. 9, pp. 3774-3778, 2007.

[5] A. P. Rijpma, J. F. C. Verberne, E. H. R. Witbreuk, P. C. Bruins, and H. J. M. ter Brake, "Adaptive periodic disturbance cancellation in a set-up of two cryocoolers," *J. of Sound & Vibration*, vol. 217, no. 3, pp. 419-434, 1998.

[6] Y. L. Xu, "Adaptive algorithm for cancellation of quasi-periodic perturbation in web winding system," *Int. Conf. on Machine Learning & Cybernetics*, pp. 721-725, 2005.

[7] L. J. Brown and Q. Zhang, "Periodic disturbance cancellation with uncertain frequency," *Automatica*, vol. 40, no. 4, pp. 631-637, 2004.

[8] B. Wu and M. Bodson, "Direct adaptive cancellation of periodic disturbances for multivariable plants," *Proc. of the IEEE Conf. on Decision & Control*, vol. 3, pp. 3079-3084, 2002.

[9] M. Bodson, "Rejection of periodic disturbances of unknown and time-varying frequency," *Int. J. of Adaptive Control & Signal Processing*, vol. 19, no. 2-3, pp. 67-88, 2005.

[10] Z. Ding, "Asymptotic rejection of general periodic disturbances in output-feedback nonlinear systems," *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 51, no. 2, pp. 303-308, 2006.

[11] C. Duan, G. Gu, C. Du, and T. Chong, "Robust compensation of periodic disturbances by multirate control," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 44, no. 3, pp. 413-418, 2008.

저 자 소 개



정 상 철 (鄭 相 鐵)

1959년 7월 2일생. 부경대학교 전기공학과 졸업(학사). 1999년 동 대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 현재 동 대학교 전기제어공학부 박사과정

Tel : 051)810-5820

E-mail : jsc1924@hanafos.com



김 준 수 (金 俊 洙)

1964년 4월 10일생. 2001년 한국교육개발원 전자공학과 졸업(학사). 2004년 동의대학교 전기전자공학부 졸업(석사). 현재 부경대학교 전기제어공학부 박사과정 및 한국폴리텍VII대학 전자과 교수

Tel : 055)279-1753

Fax : 055)279-1756

E-mail : kjs250@hanmail.net



조 현 철 (曹 賢 哲)

1971년 9월 1일생. 1997년 부경대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1999년 동아대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006년 미국 네바다대학교 전기공학과 졸업(박사). 2006년~현재 동아대 전기공학과 제어 및 시스템 연구실 포닥연구원

Tel : 051)200-6950

Fax : 051)200-7743

E-mail : hyunccho@gmail.com



이 형 기 (李 炯 基)

1951년 11월 27일생. 1975년 동아대학교 졸업(학사). 1980년 동아대학교 전자공학과 졸업(석사). 1985년 동아대학교 전자공학과 졸업(박사). 현재 부경대학교 전기제어공학부 교수

Tel : 051)620-1632

Fax : 051)623-4227

E-mail : lhk@pknu.ac.kr