



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월28일
 (11) 등록번호 10-1858338
 (24) 등록일자 2018년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G05B 13/02 (2006.01) G05B 13/00 (2006.01)
 G05B 19/02 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G05B 13/02 (2013.01)
 G05B 13/00 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0046883
 (22) 출원일자 2016년04월18일
 심사청구일자 2016년04월18일
 (65) 공개번호 10-2017-0119123
 (43) 공개일자 2017년10월26일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2014229172 A*
 JP2004355632 A*
 JP2004038697 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
명지대학교 산학협력단
 경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)
 (72) 발명자
손영익
 경기도 용인시 수지구 죽전로 267, 704동 801호(죽전동, 내대지마을건영캐스빌아파트)
김인혁
 경기도 용인시 처인구 중부대로1281번길 6-25, 203호 (역북동)
 (74) 대리인
송인호, 최관락

전체 청구항 수 : 총 8 항

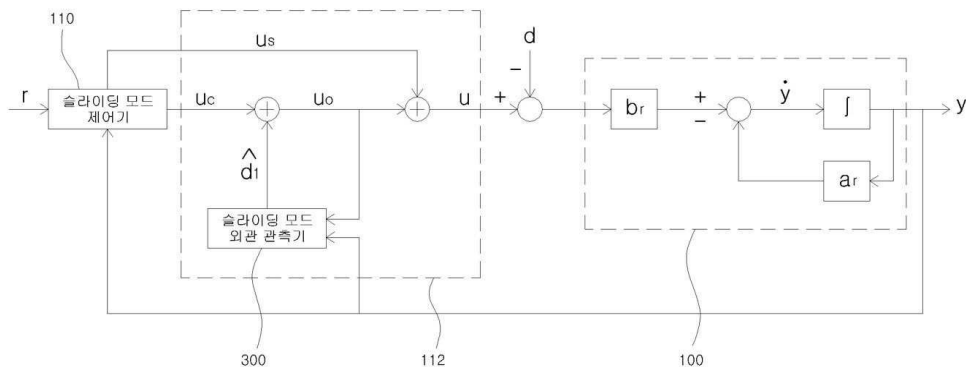
심사관 : 강석제

(54) 발명의 명칭 슬라이딩 모드 외란 관측기와 제어를 이용한 외란 분리 보상 제어 시스템 및 방법

(57) 요약

채터링 현상을 완화하면서 강한 성능을 확보하는 제어 시스템 및 방법이 개시된다. 상기 제어 시스템은 슬라이딩 모드 제어기 및 오프셋 외란을 보상하는 슬라이딩 모드 외란 관측기를 포함한다. 여기서, 상기 슬라이딩 모드 제어기는 외란 중 상기 오프셋 외란을 제외한 나머지 외란을 보상한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G05B 19/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013R1A1A2062370

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학 개인 기초연구지원사업

연구과제명 시지연 전기 기계 시스템의 외란 요소 추정을 통한 이중 외란 관측기 설계

기 여 율 1/1

주관기관 명지대학교 산학협력단

연구기간 2013.11.01 ~ 2016.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

슬라이딩 모드 제어기; 및

오프셋 외란을 보상하는 슬라이딩 모드 외란 관측기를 포함하되,

상기 슬라이딩 모드 제어기는 외란 중 상기 오프셋 외란을 제외한 나머지 외란을 보상하며, 상기 슬라이딩 모드 외란 관측기는 제어 입력 중 스위칭 입력을 제외한 입력을 이용하여 상기 오프셋 외란을 보상하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 슬라이딩 모드 외란 관측기는 오프셋 외란을 추정하기 위한 모델을 적용하고, 상기 오프셋 외란은 상기 외란 중 상대적으로 느린 외란을 의미하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 슬라이딩 모드 외란 관측기는 상기 오프셋 외란을 보상하여 제어 대상을 제어하기 위한 제어 범위의 오프셋을 0으로 조정하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 슬라이딩 모드 제어기는 상기 스위칭 입력과 기본 제어 입력을 분리하여 출력하되,

상기 스위칭 입력을 제외한 입력은 상기 기본 제어 입력과 상기 슬라이딩 모드 외란 관측기로부터 출력된 추정 외란의 합에 해당하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 6

슬라이딩 모드 제어기; 및

오프셋 보상부를 포함하되,

상기 오프셋 보상부는 제어 대상의 제어를 위한 제어 범위의 오프셋을 0으로 조정하며, 상기 오프셋 보상부는 제어 입력 중 스위칭 입력을 제외한 입력을 이용하여 오프셋 외란을 보상하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 오프셋 보상부는 오프셋 외란을 보상하고, 상기 슬라이딩 모드 제어기는 외란 중 상기 오프셋 외란을 제외한 나머지 외란을 보상하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 슬라이딩 모드 제어기가 상기 스위칭 입력과 기본 제어 입력을 분리하여 출력하되,

상기 스위칭 입력을 제외한 입력은 상기 기본 제어 입력과 상기 오프셋 보상부로부터 출력된 추정 외란의 합에 해당하는 것을 특징으로 하는 제어 시스템.

청구항 9

제어 대상을 제어하는 방법에 있어서,

오프셋 보상부가 제어 입력 중 스위칭 입력을 제외한 입력을 이용하여 상기 제어 대상의 불확실성으로 인하여

가변된 제어 범위의 오프셋을 0으로 조정하는 단계; 및

상기 오프셋 보상부가 상기 오프셋을 0으로 조정한 후 상기 제어 대상을 제어하기 위한 제어 범위를 다시 설정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 슬라이딩 모드 외란 관측기와 제어를 이용하여 외란을 분리하여 보상하는 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 제어 시스템은 모터 등의 제어 대상을 외란을 고려하여 제어한다. 이 때, 제어 대상의 불확실성이 존재하며, 기존의 슬라이딩 모드 제어 기술들은 불확실성의 크기에 따라 스위칭 게인을 적절히 설계하였다.

[0003] 이러한 종래의 기술은 스위칭 게인을 크게 하면 제어 대상의 불확실성에 대처할 수는 있었지만, 채터링으로 인하여 진동 및 소음이 심하게 발생하였다. 또한, 스위칭 게인을 작게 하면 제어 대상의 불확실성에 대처하기가 어려웠다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) KR 20120019019 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 채터링 현상을 완화하면서 강인한 성능을 확보하는 제어 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 시스템은 슬라이딩 모드 제어기; 및 오프셋 외란을 보상하는 슬라이딩 모드 외란 관측기를 포함한다. 여기서, 상기 슬라이딩 모드 제어기는 외란 중 상기 오프셋 외란을 제외한 나머지 외란을 보상한다.

[0007] 본 발명의 다른 실시예에 따른 제어 시스템은 슬라이딩 모드 제어기; 및 오프셋 보상부를 포함한다. 여기서, 상기 오프셋 보상부는 제어 대상의 제어를 위한 제어 범위의 오프셋을 0으로 조정한다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 대상을 제어하는 방법은 상기 제어 대상의 불확실성으로 인하여 가변된 제어 범위의 오프셋을 0으로 조정하는 단계; 및 상기 오프셋을 0으로 조정한 후 상기 제어 대상을 제어하기 위한 제어 범위를 다시 설정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따른 제어 시스템 및 방법은 외란 중 오프셋 외란을 슬라이딩 모드 외란 관측기를 이용하여 보상하고 나머지 외란을 슬라이딩 모드 제어기로 보상하며, 따라서 채터링 현상이 완화될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 시스템을 도시한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 방법을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 시스템의 상세 구조를 도시한 도면이다.

도 4 내지 도 9는 모의 실험 결과를 도시한 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0013] 본 발명은 DC 모터 등과 같은 제어 대상을 제어하는 제어 시스템에 관한 것으로서, 슬라이딩 모드 제어의 채터링(Chattering) 현상을 완화하면서 강인한 성능을 확보할 수 있는 제어 시스템에 관한 것이다.
- [0014] 일 실시예에 따르면, 본 발명의 제어 시스템은 슬라이딩 모드 제어기의 스위칭 계인을 줄여서 채터링 현상을 완화시킬 수 있다. 예를 들어, 상기 제어 시스템은 등가 외란 중 상대적으로 느린 외란은 슬라이딩 모드 외란 관측기를 통하여 보상하고, 나머지 외란의 영향은 슬라이딩 모드 제어기로 보상한다.
- [0015] 이 때, 슬라이딩 모드 외란 관측기는 측정된 제어 대상의 불확실성에 따라 오프셋을 보상하는 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 상기 슬라이딩 모드 외란 관측기는 상기 불확실성으로 인하여 제어 대상의 제어 범위의 오프셋이 0이 아니게 되었을 때 상기 오프셋을 0으로 조정할 수 있다.
- [0017] 이하, 본 발명의 다양한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상술하겠다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 시스템을 도시한 블록도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 방법을 도시한 도면이다.
- [0019] 도 1을 참조하면, 본 실시예의 제어 시스템(102)은 제어 대상(100)을 제어하는 시스템으로서, 예를 들어 슬라이딩 모드 제어로 제어 대상(100)을 제어한다.
- [0020] 일 실시예에 따르면, 제어 시스템(102)은 슬라이딩 모드 제어기(110) 및 오프셋 보상부(112)를 포함할 수 있다.
- [0021] 슬라이딩 모드 제어기(110)는 외란 중 오프셋 보상부(112)에 의해 보상되는 외란(오프셋 외란)을 제외한 나머지 외란을 보상한다. 예를 들어, 슬라이딩 모드 제어기(110)는 오차의 적분을 사용한 슬라이딩 함수를 이용하여 해당 외란을 보상한다.
- [0022] 오프셋 보상부(112)는 오프셋 외란을 보상하며, 예를 들어 제어 대상(100)의 불확실성으로 인한 제어 범위의 오프셋을 0으로 만들 수 있다.
- [0023] 도 2의 (A) 및 (B)를 참조하면, 제어 범위의 상한을 5, 하한을 -5, 오프셋을 0으로 초기 설계하였을지라도, 제어 대상(100)의 불확실성으로 인하여 제어 범위가 7 내지 -3으로 가변될 수 있다. 이 경우, 오프셋은 2가 된다.
- [0024] 오프셋 보상부가 없는 종래 기술에서는, 도 2의 (A)에 도시된 바와 같이 7 내지 -3의 제어 범위를 실현하기 위하여 제어 범위를 최종적으로 8 내지 -8로 설계하여야만 하였으며, 즉 스위칭 계인이 높아야만 하였다. 결과적으로, 채터링 현상으로 인하여 전체 시스템 성능이 저하되고 진동 및 소음이 증가될 수 있다.
- [0025] 반면에, 본 발명의 제어 시스템(102)은 도 2의 (B)에 도시된 바와 같이 제어 범위의 오프셋을 2에서 0으로 먼저 조정하며, 이 경우 제어 범위는 5 내지 -5로 변화된다. 따라서, 제어 시스템(102)은 제어 범위를 최종적으로 6 내지 -6으로 설계하면 되며, 즉 스위칭 계인이 상대적으로 작아진다. 결과적으로, 채터링 현상이 완화되어 진동 및 소음이 작아지고, 시스템 성능이 저하되지 않는다.
- [0026] 이러한 오프셋의 보상은 오프셋 보상부(112)에 의해 수행된다.
- [0027] 한편, 오프셋을 0으로 하지 않고 다른 수로 할 수도 있지만, 0으로 조정하는 것이 스위칭 계인이 가장 작게 되므로, 오프셋을 0으로 조정하는 것이 바람직하다.
- [0028] 정리하면, 본 실시예의 제어 시스템(102)은 외란 중 오프셋 외란은 오프셋 보상부(112)를 통하여 보상하고 나머지 외란은 슬라이딩 모드 제어기(110)를 통하여 보상한다. 따라서, 제어 시스템(102)은 기존의 슬라이딩 모드

제어 방법에서 발생하는 채터링 현상을 완하면서 강인한 성능을 확보할 수 있다.

[0029] 만일, 모든 외란을 슬라이딩 모드 제어기 또는 오프셋 보상부에서 일방적으로 보상하면, 슬라이딩 모드 제어기 또는 오프셋 보상부의 부담이 상당히 커지게 된다. 이런 현상을 방지하기 위하여, 본 발명의 제어 시스템은 오프셋 외란과 나머지 외란으로 분리하여 각기 보상하는 방법을 사용한다. 따라서, 슬라이딩 모드 제어기(110) 및 오프셋 보상부(112)의 부담이 적어지게 된다.

[0030] 이하, 제어 시스템(102)의 상세 구조를 살펴보겠다.

[0031] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 시스템의 상세 구조를 도시한 도면이다.

[0032] 도 3을 참조하면, 오프셋 보상부(112)는 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)를 포함한다.

[0033] 슬라이딩 모드 제어기(110)는 기준 입력(r)과 외란에 영향을 받은 제어 대상(100)의 출력을 수신하여 외란 중 오프셋 외란을 제외한 나머지 외란을 보상한다.

[0034] 슬라이딩 모드 제어기(110)는 기본 제어 입력(u_c)과 나머지 외란을 보상하는 스위칭 입력(u_s)을 각기 출력한다.

[0035] 기본 제어 입력(u_c)에 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)에 의해 추정된 추정 외란(\hat{d}_1)이 더해져서 관측기 입력(u_o)이 생성된다.

[0036] 관측기 입력(u_o)은 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)로 입력되고, 또한 스위칭 입력(u_s)과 합하여져 제어 입력(u)을 생성한다.

[0037] 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)는 관측기 입력(u_o) 및 제어 대상(100)의 출력을 수신하고, 오프셋 외란을 보상하는 추정 외란(\hat{d}_1)을 출력한다. 이러한 오프셋 외란의 보상에 따라 제어 범위의 오프셋이 0으로 만들어질 수 있다.

[0038] 제어 입력(u)은 제어 대상(100)을 제어하는 역할을 수행한다. 다만, 제어 대상(100) 제어시 외란(d)이 추가된다.

[0039] 이하, 외란을 보상하는 과정을 상세히 살펴보겠다.

[0040] 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)는 등가 외란(d_e)의 일부인 d_1 에 대하여 $\dot{d}_1 = 0$ 으로 가정하고, 아래의 수학적 1과 같은 확장된 시스템을 고려한다. 또한, 외란은 d_1 과 d_2 로 구분하고, 제어 입력(u)을 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 설계에 사용되는 관측기 입력(u_o)과 스위칭 입력(u_s)으로 구분하였다.

수학식 1

$$\begin{aligned} \dot{y} &= -a_n y + b_n (u_o + u_s) - b_n (d_1 + d_2), \\ \dot{d}_1 &= 0. \end{aligned}$$

[0041]

[0042] 여기서, 제어 대상(100)의 실제 파라미터 a_r , b_r 은 불확실한 값이며, 파라미터의 공칭값은 a_n 및 b_n 으로 나타낸다.

[0043] 이러한 수학적 1에 기반하여 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)는 하기 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

[0044]
$$\begin{aligned} \dot{\hat{y}} &= -a_n \hat{y} + b_n u_o - b_n \hat{d}_1 + \nu(\tilde{y}), \\ \dot{\hat{d}}_1 &= l_o \nu(\tilde{y}). \end{aligned}$$

[0045] 여기서, \hat{y} 및 \hat{d}_1 은 추정값이고, 추정 오차는 $\tilde{y} = y - \hat{y}$ 및 $\tilde{d}_1 = d_1 - \hat{d}_1$ 으로 정의한다. 또한, 이득 l_o 와 $\nu(\tilde{y})$ 는 추정 오차가 0이 되도록 설계한다.

[0046] 위 수학식 1 및 수학식 2로부터 추정 오차 시스템은 아래의 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

[0047]
$$\begin{aligned} \dot{\tilde{y}} &= -a_n \tilde{y} + b_n u_s - b_n \eta - \nu(\tilde{y}), \\ \dot{\tilde{d}}_1 &= \dot{d}_1 - \dot{\hat{d}}_1 = -l_o \nu(\tilde{y}). \end{aligned}$$

[0048] 여기서, $\eta = \dot{d}_e - \dot{\hat{d}}_1 = \dot{d}_1 + \dot{d}_2$ 이고 d_2 가 유계이므로, 추정 오차(\tilde{d}_1)이 유계이면 $|\eta| < N$ 인 양수 N 이 존재한다.

[0049] 우선, 추정 오차(\tilde{y})가 0으로 수렴하기 위한 함수 $\nu(\tilde{y})$ 를 설계하면, Lyapunov 함수를 $V_o = 0.5\tilde{y}^2$ 으로 정하고 미분하면 아래의 수학식 4와 같다.

수학식 4

[0050]
$$\dot{V}_o = \tilde{y}\dot{\tilde{y}} = -a_n \tilde{y}^2 - \nu(\tilde{y})\tilde{y} + b_n (u_s - \eta)\tilde{y}.$$

[0051] 위 수학식 4에서 스위칭 입력(u_s)이 유계이므로 η 가 유계이면, $|u_s - \eta| \leq \delta$ 를 만족하는 상수 δ 가 존재한다.

이 때, $M = b_n \delta$ 로 정의하면 수학식 4는 하기 수학식 5로 표현될 수 있다.

수학식 5

[0052]
$$\dot{V}_o \leq -a_n \tilde{y}^2 - \nu(\tilde{y})\tilde{y} + M|\tilde{y}|$$

[0053] 스위칭 계인(\bar{M})을 $\bar{M} - M > \epsilon_o > 0$ 이 되도록 결정하고 함수 $\nu(\tilde{y})$ 는 아래의 수학식 6과 같이 결정한다.

수학식 6

$$\nu(\tilde{y}) = \bar{M} \text{sgn}(\tilde{y})$$

[0054]

[0055] 수학식 6을 수학식 5에 대입하면, 하기 수학식 7에서 보여지는 바와 같이 오차(\tilde{y})가 0으로 수렴함을 알 수 있다.

수학식 7

$$\dot{V}_o < -a_n \tilde{y}^2 - \epsilon_o |\tilde{y}| \leq 0$$

[0056]

[0057] 다음으로, 오차(\tilde{d}_1)가 유계이도록 \tilde{d}_1 의 관측기 게인(l_o)을 결정한다. 수학식 3으로부터 추정 오차(\tilde{y})가 0에 수렴할 때($\tilde{y}=0, \dot{\tilde{y}}=0$), 함수 $\nu(\tilde{y})$ 는 등가적으로 $\nu_{eq}(\tilde{y}) = b_n(u_s - \eta)$ 가 된다. 등가 함수 $\nu_{eq}(\tilde{y})$ 를 외란 추정 오차식인 수학식 3에 대입하면, 하기 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$\dot{\tilde{d}}_1 = l_o b_n \tilde{d}_1 - l_o b_n (u_s - d_2)$$

[0058]

[0059] 따라서, $l_o < 0$ 이면 수학식 8의 시스템은 BIBO 안정성을 가지며, 유계인 입력에 대해 \tilde{d}_1 또한 유계이다.

[0060] 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 게인 \bar{M} 와 l_o 은 각기 추정 오차 \tilde{y} 와 \tilde{d}_1 의 수렴 속도를 결정한다.

[0061] 본 발명의 슬라이딩 모드 제어기(110)는 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)에 의해 추정된 \tilde{d}_1 을 함께 사용한다. 하기 수학식 9의 u_o 는 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)에 사용되는 입력이다. 입력 u_c 와 u_s 는 적분 슬라이딩 모드 방법으로 설계하고, u_s 의 스위칭 게인은 \bar{N} 를 사용한다.

수학식 9

$$\begin{aligned} u &= u_o + u_s = u_c + \hat{d}_1 + u_s, \\ u_c &= b_n^{-1}(-\phi s + a_n y + \dot{r} - k_f e), \\ u_s &= -\bar{N} \text{sgn}(s). \end{aligned}$$

[0062]

[0063] 스위칭 게인 \bar{N} 의 결정을 위해 Lyapunov 함수 $V_c = 0.5s^2$ 으로 정하고 미분하면 하기 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s\dot{s} = s(\dot{e} + k_f e) \\ &= s(-a_n y + b_n(u - d_c) - \dot{r} + k_f e) \end{aligned}$$

[0064]

[0065] 수학식 9를 수학식 10에 대입하면, 하기 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\phi s^2 + b_n u_s s - b_n \eta s \\ &\leq -\phi s^2 + b_n u_s s + b_n M |s| \end{aligned}$$

[0066]

[0067] $|\eta| < N$ 이므로, 입력 u_s 의 스위칭 게인 \bar{N} 를 $\bar{N} - N > \epsilon_c > 0$ 을 만족하도록 결정하면, 입력에 의해 하기 수학식 12와 같이 도달 조건이 만족되고 제어 목표가 달성됨을 알 수 있다.

수학식 12

$$\dot{V}_c < -\phi s^2 - b_n \epsilon_c |s| \leq 0.$$

[0068]

[0069] 한편, 시스템에 대한 제어 오차 방정식은 하기 수학식 13과 같다.

수학식 13

$$\dot{e} = -k_f e - \phi s + b_n (u_s - \eta)$$

[0070]

[0071] 수학식 13으로부터 슬라이딩 평면 $s=0$ 에서 입력 u_s 는 등가적으로 $u_{s,eq} = \eta (= \tilde{d}_1 + \tilde{d}_2)$ 임을 알 수 있다. 즉, 등

가 외란(d_c) 중에서 오프셋 외란의 추정치(\tilde{d}_1)을 제외한 나머지 외란은 슬라이딩 모드 제어기(110)에 의해 보

상됨을 의미한다. 이 때, 오프셋이 보상된 $|\eta|$ 의 크기는 $|d_c|$ 에 비해 작은 값으로 제한할 수 있으므로, 슬라이딩 모드 제어기(110)의 스위칭 게인 \bar{N} 가 기존의 적분 슬라이딩 모드 제어기의 \bar{D} 보다 작은 값으로 도달 조건을 만족할 수 있다.

[0072] 또한, 수학식 2의 관측기 스위칭 게인 \bar{M} 는 $|u_s - \eta| \leq \delta$ 를 만족하는 δ 에 의존하므로, u_s 가 η 에 가까울 때

$(u_{s,eq} = \eta) \overline{M}$ 의 크기도 작아짐을 의미한다. 이것은 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 입력으로 전체 제어 입력 u 대신 u_0 를 사용한 결과이다. 만약, 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 입력으로 u 를 사용한다면 $M = b_n \delta$ 가 아닌 $M = b_n N$ 보다 더 큰 \overline{M} 를 사용해야 하기 때문이다.

[0074] 이하, DC 모터에 본 발명을 적용한 모의 실험을 살펴보겠다.

[0075] 도 4 내지 도 9는 모의 실험 결과를 도시한 도면들이다.

[0076] 제어 대상(100)인 DC 모터의 수학적 모델은 하기 수학적 식 14와 같다.

수학적 식 14

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R_a}{L_a}i_a + \frac{1}{L_a}(v_a - K_b\omega_m)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = -\frac{B_m}{J_m}\omega_m + \frac{K_t}{J_m}\left(i_a - \frac{1}{K_t}T_L\right)$$

[0077]

[0078] 여기서, i_a 는 전기자 전류, v_a 는 입력 전압, ω_m 은 모터 속도이다. 파라미터 R_a , L_a , K_b , B_m , J_m , K_t 는 각기 전기자 저항, 인덕턴스, 역기전력 상수, 마찰계수, 관성 질량, 토크 상수를 나타낸다. 모터 축에 작용하는 부하토크는 T_L 로 표기하였다.

[0079] 모의 실험에 사용한 DC 모터 파라미터와 제어기 설계에 사용된 공칭 파라미터는 표 1에 보여지고 설계된 제어기 이득은 표 2에 보여진다.

[0080] 제어 목표인 기준 입력 r 은 하기 수학적 식 15와 같다.

수학적 식 15

$$\dot{r}(t) = -\omega_c r(t) + \omega_c \zeta(t)$$

[0081]

[0082] 여기서, ω_c 는 1차 저역 통과 필터의 대역폭이고 2000[rad/s]로 선정하였다. 입력 신호 ζ 는 구형파이고 12.5[ms]의 주기로 1과 -1로 변경된다.

표 1

	실제 파라미터	공칭 파라미터 (제어기설계 적용)	단위
$R_a (\overline{R}_a)$	0.605	0.06	[Ω]
$L_a (\overline{L}_a)$	0.210	0.229	[mH]
K_b	0.0233	-	[V/(rad/s)]
J_m	86.44	-	[g-cm ²]
B_m	0.0422	-	[mNm/(rad/s)]
K_t	0.0233	-	[Nm/A]

[0083]

표 2

\bar{D}	0.5, 1.0, 1.5	\bar{N}	0.5
\bar{M}	0.5	l_0	-1000
ϕ	1000	k_1	1000

[0084]

[0085] 제안하는 제어기와 비교를 위한 제어기 구성은 표 3에 나타내었다.

표 3

	제어 방법	슬라이딩 평면	관측기 입력
1	PSMCO	$s=e$	$u_0 = u_c + \hat{d}_1$
2	ISMCO	$s=e+z$	$u_0 = u_c + \hat{d}_1 + u_s$
3	Prop. (제안)	$s=e+z$	$u_0 = u_c + \hat{d}_1$

[0086]

[0087] 슬라이딩 모드 제어기만 사용한 경우 제어 성능은 도 5 및 도 6에 보여진다. 스위칭 계인 \bar{D} 가 미치는 영향을 확인하기 위하여 \bar{D} 를 0.5, 1.0, 1.5로 증가시면서 실험하였다.

[0088] 도 5는 슬라이딩 모드 제어기의 결과이고, 도 6은 적분 슬라이딩 모드 제어기의 결과이다. 도 5 및 도 6으로부터 이득 \bar{D} 가 클수록 기준 입력을 추종하는 정상 상태 성능은 향상되지만 전류 리플이 커지는 것을 확인할 수 있다.

[0089] 본 발명의 슬라이딩 모드 외란 관측기를 활용한 제어기의 성능을 도 7 및 도 8에서 비교하였다. 도 7의 (A)는 전체 전류 궤적이고, 도 7의 (B)는 일부 구간을 확대한 그림이다. 도 8은 기준 입력과의 제어 오차이다. 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 추정치를 함께 사용함에 따라 슬라이딩 모드 제어기만 사용한 도 5 및 도 6에 비해 제어 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 이 때, $\bar{N}=0.5$ 와 같은 작은 계인으로 개선된 성능을 얻을 수 있다.

[0090] 다음으로, 슬라이딩 모드 외란 관측기 입력에 u 전체를 사용한 ISMCO와 비교할 때, u_0 만 사용한 PSMCO와 본 발명(Prop.)은 리플이 줄어들어 과도 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 마지막으로, 본 발명은 적분 슬라이딩 모드를 사용함으로써 PSMCO와 비교하여 정상 상태 오차가 없어 성능이 개선되었다.

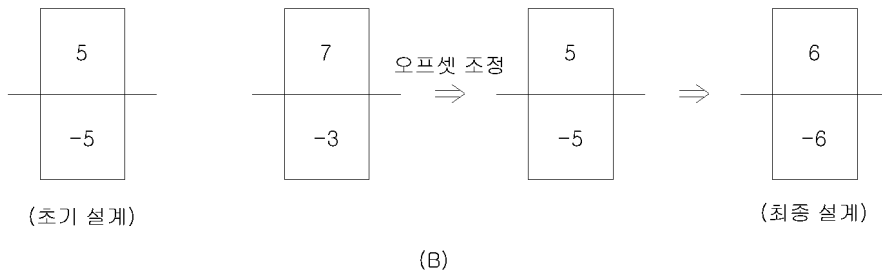
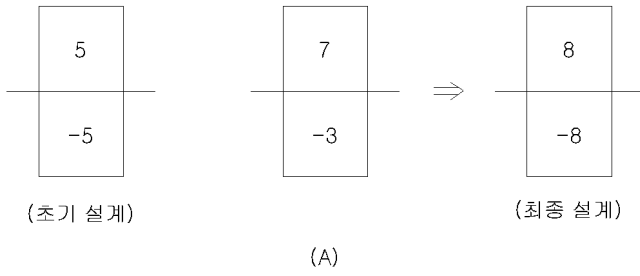
[0091] 도 8에서는 본 발명의 제어기의 모의 실험 결과로부터 등가 외란(d_e), 추정 외란(\hat{d}_1), \hat{d}_1 이 보상된

$\eta = \tilde{d}_1 + d_2$ 의 궤적을 함께 나타내었다. 오프셋 외란(\hat{d}_1)을 보상함으로써, $|d_e| < D$ 의 범위에 비해

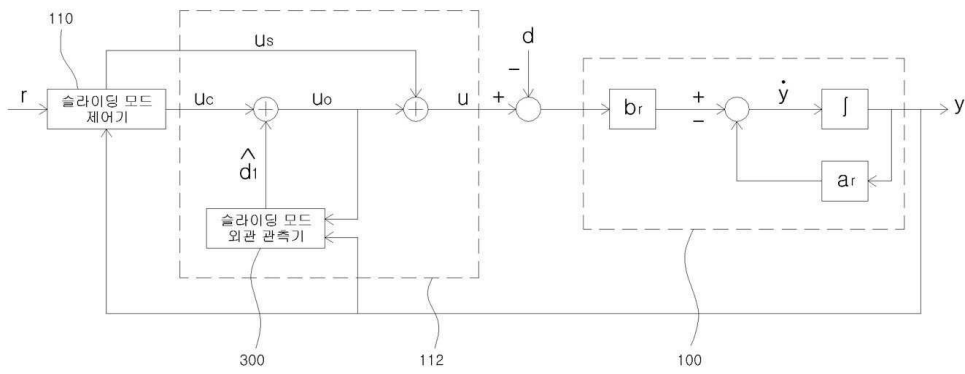
$|\eta| < N$ 의 범위가 줄어든 것을 확인할 수 있다. 또한, 입력 u_s 가 η 와 유사함을 알 수 있고, 이 것은 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 입력으로 전체 입력 u 대신 u_0 를 사용함으로써 슬라이딩 모드 외란 관측기(300)의 스위칭 계인의 크기를 작게 정하는 것이 가능함을 의미한다.

[0093] 한편, 전술된 실시예의 구성 요소는 프로세스적인 관점에서 용이하게 파악될 수 있다. 즉, 각각의 구성 요소는 각각의 프로세스로 파악될 수 있다. 또한 전술된 실시예의 프로세스는 장치의 구성 요소 관점에서 용이하게 파악될 수 있다.

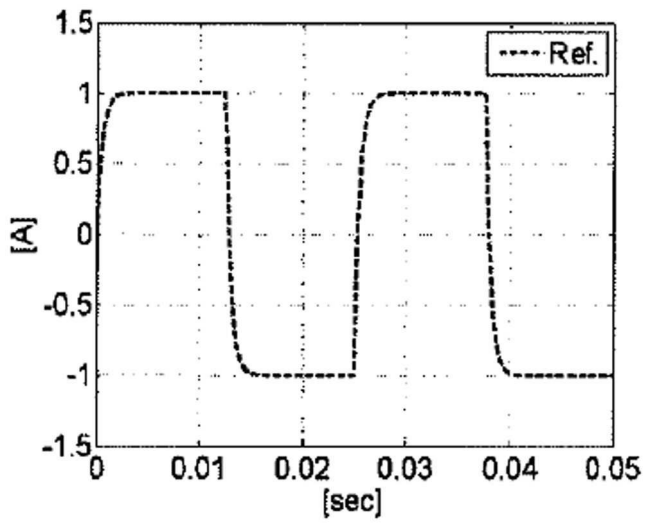
도면2



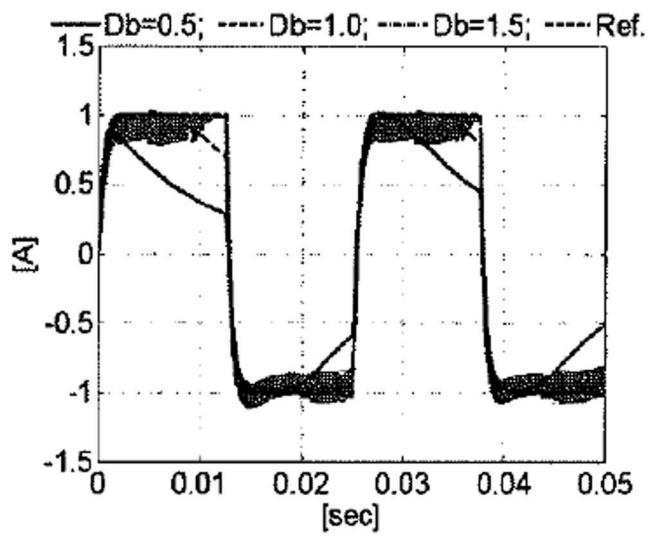
도면3



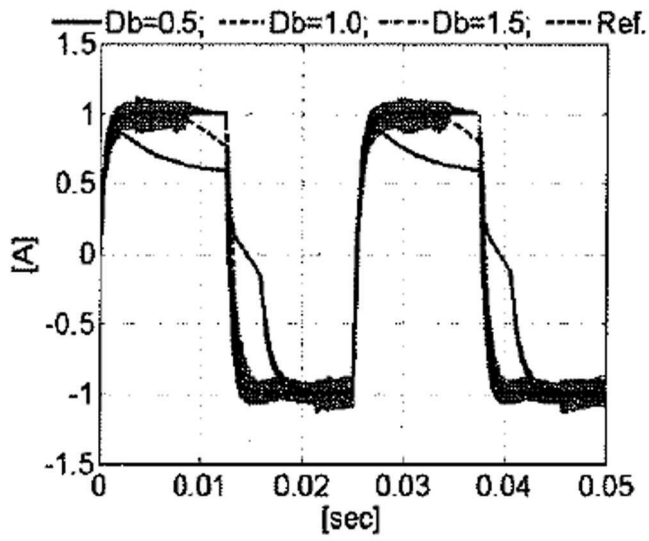
도면4



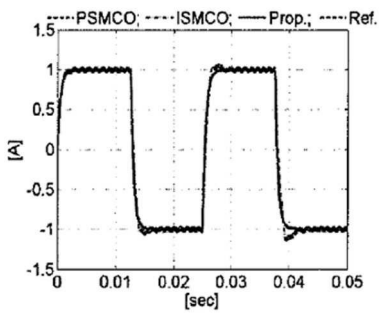
도면5



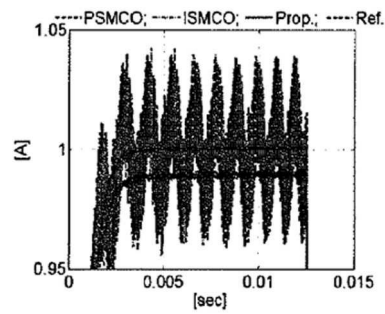
도면6



도면7

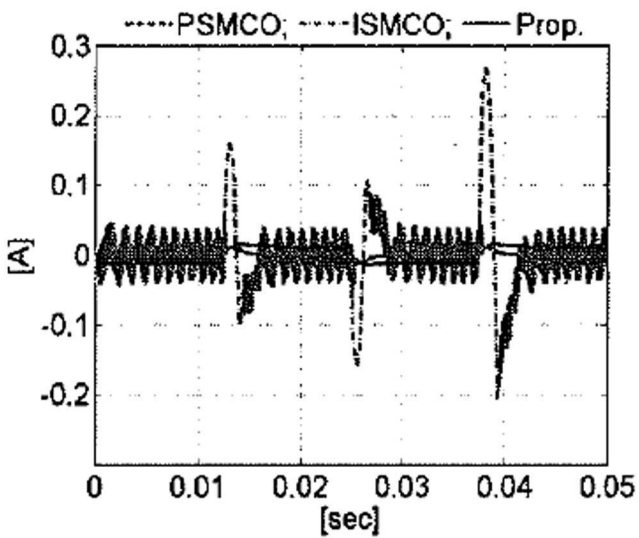


(A)

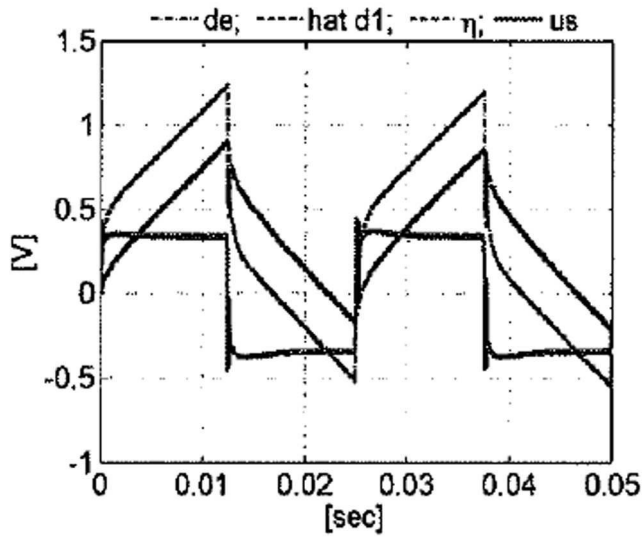


(B)

도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6의 5번째줄

【변경전】

상기 오프셋 외란

【변경후】

오프셋 외란