



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년03월30일  
 (11) 등록번호 10-1721777  
 (24) 등록일자 2017년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G05B 13/04 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 G05B 13/04 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0152288  
 (22) 출원일자 2015년10월30일  
 심사청구일자 2015년10월30일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 논문(2010.05.)\*  
 논문(2015.05)\*  
 KR1020150093039 A  
 KR101393765 B1  
 \*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

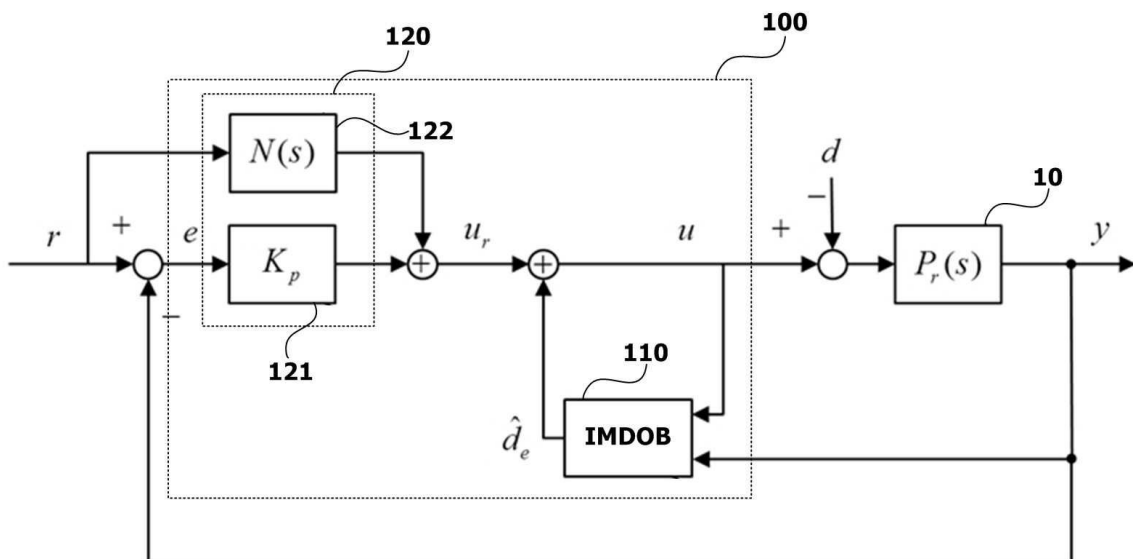
심사관 : 강석제

(54) 발명의 명칭 **확장형 외란 관측기를 이용하여 1차 시스템을 제어하는 방법 및 장치**

**(57) 요약**

확장형 외란 관측기를 이용하여 1차 시스템을 제어하는 방법 및 장치가 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템을 제어하는 장치는 시스템의 출력과 상기 시스템에 대한 제어 입력이 인가되면 상기 시스템의 외란을 추정된 추정 외란을 계산하여 상기 제어 입력에 보상하는 외란 관측기; 및 상기 보상된 제어 입력이 적용된 시스템에 대해 기준 입력과 시스템 출력의 오차가 0에 수렴되도록 목표 추종 입력을 계산하는 목표 추종 제어기를 포함한다. 여기서, 상기 외란 관측기는 상기 외란의 바이어스된 삼각 함수 모델을 가지며, 상기 시스템의 실제 외란과 상기 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 분자는 상기 외란을 모델링한 식의 분모와 동일한 형태를 가진다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013R1A1A2062370

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 연구지원사업

연구과제명 시지연 전기기계 시스템의 외란 요소 추정을 통한 이중 외란 관측기 설계

기여율 1/1

주관기관 명지대학교 산학협력단

연구기간 2013.11.01 ~ 2016.10.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

시스템을 제어하는 장치에 있어서,

시스템의 출력과 상기 시스템에 대한 제어 입력이 인가되면 상기 시스템의 외란을 추정한 추정 외란을 계산하여 상기 제어 입력에 보상하는 외란 관측기; 및

상기 보상된 제어 입력이 적용된 시스템에 대해 기준 입력과 시스템 출력의 오차가 0에 수렴되도록 목표 추종 입력을 계산하는 목표 추종 제어기

를 포함하되,

상기 외란 관측기는

상기 외란은 바이어스된 삼각 함수 모델을 가지며, 상기 시스템의 실제 외란과 상기 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 분자는 상기 외란을 모델링한 식의 분모와 동일한 형태를 가지는 것을 특징으로 하는 시스템 제어 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 추정 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가지는 것을 특징으로 하는 시스템 제어 장치.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 목표 추종 제어기는 P 제어기 및 전향 보상 함수를 포함하되, 상기 P 제어기 및 상기 전향 보상 함수는 외란이 없는 시스템을 모델로 하여 설계되는 것을 특징으로 하는 시스템 제어 장치.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 외란 추정 오차는 하기 식을 가지되,

3차 이상의 시스템 모델로 확장되는 것을 특징으로 하는 시스템 제어 장치.

$$\tilde{d}_e(s) = \frac{\tau^3 s(s^2 + \omega^2)}{(\tau s)^3 + \alpha_2(\tau s)^2 + \alpha_1(\tau s) + \alpha_0} d_e(s)$$

여기서,  $\alpha_i$ 는 Hurwitz 다항식의 계수이고  $\tau$ 는 설계 파라미터임.

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 모델을 생성하는 외란 추정 오차부; 및

상기 외란 추정 오차부를 이용하여 외란을 추정하여 상기 추정 외란을 구하는 외란 추정부를 포함하고,

상기 외란의 바이어스된 삼각 함수 모델을 가지며, 상기 외란 추정 오차는 하기 식을 가지되,  
3차 이상의 시스템 모델로 확장되는 것을 특징으로 하는 외란 관측기.

$$\tilde{d}_e(s) = \frac{\tau^3 s(s^2 + \omega)}{(\tau s)^3 + \alpha_2(\tau s)^2 + \alpha_1(\tau s) + \alpha_0} d_e(s)$$

여기서,  $\alpha_i$  는 Hurwitz 다항식의 계수이고  $\tau$  는 설계 파라미터임.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제6항에 있어서, 상기 추정 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가지는 것을 특징으로 하는 외란 관측기.

**청구항 9**

외란 관측기의 외란 관측 방법에 있어서,  
외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 모델을 생성하는 단계; 및  
외란 추정 오차부를 이용하여 외란을 추정하여 상기 추정 외란을 구하는 단계를 포함하고,  
상기 외란은 바이어스된 삼각 함수 모델을 가지며, 상기 외란 추정 오차는 하기 식을 가지되,  
3차 이상의 시스템 모델로 확장되는 것을 특징으로 하는 외란 관측 방법.

$$\tilde{d}_e(s) = \frac{\tau^3 s(s^2 + \omega)}{(\tau s)^3 + \alpha_2(\tau s)^2 + \alpha_1(\tau s) + \alpha_0} d_e(s)$$

여기서,  $\alpha_i$  는 Hurwitz 다항식의 계수이고  $\tau$  는 설계 파라미터임.

**청구항 10**

제9항에 있어서,  
상기 추정 외란을 제어 입력에 반영하여 대상 시스템을 제어하는 단계를 더 포함하되,  
상기 추정 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가지는 것을 특징으로 하는 외란 관측 방법.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 외란 관측기를 이용하여 시스템을 제어하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 상수 및 삼각 함수 외란을 고려한 내부 모델 외란 관측기를 이용하여 시스템을 제어하는 기술에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 제어 시스템에서 발생하는 외란의 효과를 완화하여 제어 성능을 향상시키는 외란 관측기 기법이 모터 구동, 산업 응용 및 의료 로봇 분야에 적용되고 있다.

[0003] 파라미터 불확실성과 외란 입력이 존재하는 시스템은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[0004] 
$$\dot{y} = -a_r y + b_r (u - d)$$

[0005] 여기서  $y$ 는 출력,  $u$ 는 제어 입력,  $d$ 는 외란 입력이다.

[0006] 시스템 파라미터  $a_r$ ,  $b_r$ 은 불확실한 값이다.

[0007] 파라미터의 공칭 값은  $a_n$ ,  $b_n$ 으로 나타내고 차이 값은  $\tilde{a} = a_r - a_n$ ,  $\tilde{b} = b_r - b_n$ 으로 표기한다.

[0008] 외란 입력과 파라미터 불확실성을 모두 고려한 외란을  $d_e = (\tilde{a}y - \tilde{b}u + b_r d) / b_n$ 으로 정의하면 시스템을 아래의 식으로 표현할 수 있다.

[0009] 
$$\dot{y} = -a_n y + b_n (u - d_e)$$

[0010] 외란 추정을 위해 널리 사용되고 있는 방법 중 하나로 PI (Proportional Integral) 관측기가 있다.

[0011] PI 관측기는 느리게 변하는 외란  $d_e$ 를 상수( $\dot{d}_e = 0$ )로 가정한 상태에서 설계하고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0012] 
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{y} \\ \hat{d}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_n & -b_n \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y} \\ \hat{d}_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_n \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} (y - \hat{y})$$

[0013] 여기서  $l_1$ ,  $l_2$ 는 관측기 이득이고  $\hat{y}$ ,  $\hat{d}_e$ 는 추정된 출력 및 외란이다.

[0014] 외란 관측기 기반 제어기에서는 PI 관측기로 추정된 외란  $\hat{d}_e$ 를 사용하여 입력에 보상한다.

[0015] 위의 PI 관측기에서 외란만을 추정하는 방법으로 축소차수 PI 관측기를 활용할 수 있다.

[0016] 시스템 동역학으로부터  $d_e = (-\dot{y} - a_n y + b_n u) / b_n$ 과 같이 외란의 정보를 추출할 수 있고 이를 활용하여 축소차수 PI 관측기를 설계한다.

[0017] 
$$\dot{\hat{d}}_e = l \left[ \frac{1}{b_n} (-\dot{y} - a_n y + b_n u) - \hat{d}_e \right]$$

[0018] 여기서  $l > 0$ 은 관측기 이득이다.

[0019] 위의 축소차수 PI 관측기의 Laplace 변환  $\hat{d}_e(s)$ 는 아래와 같다.

[0020] 
$$\hat{d}_e(s) = \frac{l}{s+l} d_e(s)$$

[0021] 축소차수 PI 관측기는 외란  $d_e$ 에 대한 저역 통과 필터로 작용하며 실제로 외란  $d_e$ 가 상수이면 추정 외란이  $\hat{d}_e \rightarrow d_e$ 로 수렴한다.

[0022] 앞서 서술한 PI 관측기를 포함하여 종래의 외란 관측기는 외란이 느리게 변한다는 특징만을 고려하여 설계한다. 그로 인해 주기적으로 변화하는 외란에 대해서 외란 추정의 크기 차이 및 위상지연이 발생하여 만족스러운 제어 성능을 얻지 못하는 경우가 발생한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0023] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 제어 대상 시스템에서 발생할 수 있는 주기적인 외란 및 파라미터 불확실성의 영향을 효과적으로 억제하기 위한 내부 모델 외란 관측기를 이용하여 시스템을 제어하는 방안을 제공하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

[0024] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템을 제어하는 장치는 시스템의 출력과 상기 시스템에 대한 제어 입력이 인가되면 상기 시스템의 외란을 추정한 추정 외란을 계산하여 상기 제어 입력에 보상하는 외란 관측기; 및 상기 보상된 제어 입력이 적용된 시스템에 대해 기준 입력과 시스템 출력의 오차가 0에 수렴되도록 목표 추종 입력을 계산하는 목표 추종 제어를 포함한다. 여기서, 상기 외란 관측기는 상기 외란의 바이어스된 삼각 함수 모델을 가지며, 상기 시스템의 실제 외란과 상기 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 분자는 상기 외란을 모델링한 식의 분모와 동일한 형태를 가진다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 외란 관측기는 외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 모델을 생성하는 외란 추정 오차부; 및 상기 외란 추정 오차부를 이용하여 외란을 추정하여 상기 추정 외란을 구하는 외란 추정부를 포함한다. 여기서, 상기 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가진다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 외란 관측기의 외란 관측 방법은 외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 모델을 생성하는 단계; 및 상기 외란 추정 오차부를 이용하여 외란을 추정하여 상기 추정 외란을 구하는 단계를 포함한다. 여기서, 상기 외란 관측기는 상기 외란의 바이어스된 삼각 함수 모델을 가진다.

[0027] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 외란 관측기의 외란 관측 방법은 외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차를 모델링하는 단계; 및 상기 모델링된 외란 추정 오차를 이용하여 외란을 관측하는 단계를 포함한다. 여기서, 상기 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가진다.

**발명의 효과**

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 외란 모델을 사용한 외란 관측기를 이용하여 입력에 추정 외란을 보상함으로써 과도 성능 및 정상 상태 성능을 향상시킬 수 있다.

[0029] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 특허청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

**도면의 간단한 설명**

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 외란 관측기를 이용하여 시스템을 제어하는 장치를 도시한 도면이다.

도 2부터 도 4b까지는 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 모터를 제어하는 실험 결과를 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0031] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다.
- [0032] 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0033] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0034] 또한 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0035] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 외란 관측기를 이용하여 시스템을 제어하는 장치를 도시한 도면이다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 외란 관측기를 이용하여 대상 시스템(10)을 제어하는 장치(이하, '시스템 제어 장치'라 칭함)(100)는 내부 모델 외란 관측기(110)와 목표 추종 제어기(120)를 포함할 수 있으며, 목표 추종 제어기(120)는 P 제어기(121) 및 전향 보상 함수(122)를 포함할 수 있다.
- [0038] 목표 추종 제어기(120)는 대상 시스템(10)을 제어하는 다수의 제어기들 중 주제어기일 수 있으며, 주제어기는 내부 모델 외란 관측기(110)와 목표 추종 제어기(120) 외에도 다른 구성 요소를 포함할 수도 있다.
- [0039] 도 1의 장치를 간략히 설명하면, 내부 모델 외란 관측기(Internal Model Disturbance Observer, 이하 'IMDOB'라 칭함)(110)는 대상 시스템(10)의 출력  $y$  와 시스템(10)의 제어를 위해 입력되는 제어 입력  $u$ 가 인가되면, 추정 외란  $\hat{d}_e$ 를 생성하고 제어 입력에 적용하여 외란의 영향을 완화시킬 수 있다.
- [0040] 이때, IMDOB(110)는 외란을 바이어스된 삼각 함수  $d_e = \sigma_1 + \sigma_2 \sin(\omega t) + \sigma_3 \cos(\omega t)$ 로 가정하여 외란을 추정할 수 있다. 여기서  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ 는 미지의 값이며,  $\omega$ 는 외란의 주파수로서 알 수 있는 경우를 고려한다. 즉, 외란( $d_e$ )은 (상수+삼각 함수)로 표현될 수 있다.
- [0041] 외란은 정해진 형태는 없으나, 바이어스된 삼각 함수의 형태로 주로 나타남을 발견하였다. 따라서, 본 발명은 바이어스된 외란을 삼각 함수의 형태로 가정하고 외란을 보상하는 방법을 제안한다.
- [0042] 일 실시예에 따르면, IMDOB(110)는 외란과 추정 외란의 차이에 해당하는 외란 추정 오차의 모델을 생성하는 외란 추정 오차부 및 상기 외란 추정 오차부를 이용하여 외란을 추정하는 외란 추정부를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 외란은 상수 및 삼각 함수 형태를 가진다. 이에 대한 자세한 설명은 후술하겠다.
- [0043] 목표 추종 제어기(120)는 제어 목표를 달성하기 위한 것으로서 P (Proportional) 제어기(121)와 전향 보상 함수(122)를 포함할 수 있으며, 제어 오차  $e$ 가 0에 수렴하도록 하여 출력  $y$ 가 기준 입력  $r$ 에 도달하게 할 수 있다.
- [0044] 일 실시예에 따르면, P 제어기(121)와 전향 보상 함수(122)는 외란이 없는 이상적인 상황으로 가정하고 설계될 수 있다.
- [0045] P 제어기(121)는 비례 제어기로서 기준 입력( $r$ )과 출력( $y$ ), 즉 원하는 값의 차이에 해당하는 에러 함수( $e$ )를 비례 함수로 처리한다.
- [0046] 전향 보상 함수(122)는 미분 제어기로서 기준 입력( $r$ )의 미분을 이용한다.
- [0047] 즉, 목표 추종 제어기(120)는 제어 목표를 달성하도록 P 제어기(120) 및 전향 보상 함수(122)를 이용하여 대상 시스템(10)을 제어한다. 이 경우, 대상 시스템(10) 제어시 보상된 외란이 반영된다.
- [0048] 정리하면, 시스템 제어 장치(100)는 상수 및 삼각 함수 형태의 외란을 보상하여 대상 시스템(10)을 제어하며, 이 경우 후술하는 바와 같이 우수한 제어 성능이 실현된다.
- [0049] 이하, 도 1을 참조하여 각 구성 요소를 상세하게 설명하도록 한다.

[0050] 먼저, IMDOB(110)는 상수 및 삼각 함수 외란  $d_e$ 에 라플라스(Laplace) 변환을 수행하여 주파수 영역에서의 외란 모델을 생성할 수 있으며, 외란  $d_e$ 의 라플라스 변환은 아래의 [수학식 1]과 같다.

[0051] [수학식 1]

$$d_e(s) = \frac{\sigma_1}{s} + \frac{\sigma_2\omega}{s^2 + \omega^2} + \frac{\sigma_3s}{s^2 + \omega^2} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)s^2 + \sigma_2\omega s + \sigma_1\omega^2}{s(s^2 + \omega^2)}$$

[0053] IMDOB(110)가 추정하는 외란(이하, '추정 외란'이라 칭함)( $\hat{d}_e$ )과 실제 외란( $d_e$ )의 차이인 외란 추정 오차( $\tilde{d}_e$ )는 아래의 [수학식 2]와 같이 정의할 수 있다.

[0054] [수학식 2]

$$\tilde{d}_e = d_e - \hat{d}_e$$

[0056] 참고로, 출력  $y$ 와 제어 입력  $u$ 만으로도 IMDOB(110)의 외란 추정이 가능하도록 하기 위해, 외란 추정 오차 모델의 분자가 상기 외란을 나타내는 모델의 분모와 동일한 형태를 가지도록 외란 추정 오차 모델이 설계될 수 있다.

[0057] 이 경우, 실제 외란의 형태는 이미 알고 있고, 외란 추정 오차 모델의 분자가 상기 외란을 나타내는 모델의 분모를 가지므로 이들은 서로 상쇄될 수 있으며, 외란 추정 오차 모델의 분모를 안정적으로 설계하여 외란 추정 오차가 점근적으로 0에 수렴하도록 할 수 있다.

[0058] 이와 같은 원리를 적용하여 외란  $d_e$ 부터 추정 오차  $\tilde{d}_e$ 까지의 전달 함수를 나타내면 아래의 [수학식 3] 및 [수학식 4]와 같다.

[0059] [수학식 3] 외란 추정 오차

$$\tilde{d}_e(s) = \frac{\tau^3 s(s^2 + \omega^2)}{(\tau s)^3 + \alpha_2(\tau s)^2 + \alpha_1(\tau s) + \alpha_0} d_e(s)$$

[0061] 여기서, 외란 추정 오차의 분모는 외란 및 추정 외란이 3차 방정식이므로 안정적인 3차 방정식으로서 표현될 수 있다.

[0062] [수학식 3]은 외란 추정 오차의 모델을 최저 차수로 설계한 경우이고 3차 이상의 시스템 모델로 확장할 수 있다.

[0063] 종래 기술에서는 외란 관측기를 설계한 후 추정 오차를 계산하였으나, 본 발명의 시스템 제어 장치는 위 [수학식 3]과 같이 외란 추정 오차를 모델링하고 이를 이용하여 외란 관측기를 설계하는 방법을 사용한다.

[0064] IMDOB(110)은 상기 [수학식 2]와 [수학식 3]을 이용하여 추정 외란을 계산할 수 있으며, 이는 아래의 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0065] [수학식 4] 추정 외란

$$\hat{d}_e(s) = \frac{\alpha_2(\tau s)^2 + (\alpha_1 - (\pi\omega)^2)(\tau s) + \alpha_0}{(\tau s)^3 + \alpha_2(\tau s)^2 + \alpha_1(\tau s) + \alpha_0} d_e(s)$$

[0067] 여기서  $\alpha_i$ 는 Hurwitz 다항식의 계수이고  $\tau$ 는 설계 파라미터이다.

[0068] 또한, IMDOB(110)는 주파수 영역에서의 상기 추정 외란 모델을 시간 영역에서의 모델로 변환할 수 있으며, 시간



영역에서의 추정 외란 모델은 아래의 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0069] [수학식 5]

$$\begin{aligned} \dot{v} &= A_v v + B_v d_e \\ \hat{d}_e &= v_1 \end{aligned}$$

$$A_v = \begin{bmatrix} -\tau^{-1}\alpha_2 & 1 & 0 \\ -\tau^{-2}\alpha_1 & 0 & 1 \\ -\tau^{-3}\alpha_0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_v = \begin{bmatrix} \tau^{-1}\alpha_2 \\ \tau^{-2}\alpha_1 - \omega^2 \\ \tau^{-3}\alpha_0 \end{bmatrix}$$

[0071] 여기서  $d_e = (-\dot{y} - a_n y + b_n u) / b_n$  을 의미하며, 출력  $y$ 의 미분( $\dot{y}$ )을 사용하지 않기 위해 새로운 변수  $\xi = v + (B_v / b_n) y$  을 적용하였다.

[0072] 변수  $\xi$  을 사용하면, IMDOB(110)는 아래의 [수학식 6]과 같이 출력  $y$ 와 제어 입력  $u$ 만을 사용하여 외란을 추정할 수 있다.

[0073] [수학식 6]

$$\dot{\xi} = A_v \xi + B_v u - \left( \frac{a_n}{b_n} B_v + \frac{A_v}{b_n} B_v \right) y$$

$$\hat{d}_e = \xi_1 - \frac{\alpha_2}{\tau b_n}$$

[0076] 여기서, [수학식 6]의  $\hat{d}_e$  과 [수학식 5]의  $\hat{d}_e$  은 동일한 변수이다.

[0077] 한편, 목표 추정 제어기(120)는 상기 추정 외란이 제어 입력에 보상되면, 추정 외란이 보상된 시스템(10)에 대해 기준 입력과 시스템 출력의 오차가 0에 수렴하도록 목표 추종 입력을 계산할 수 있다.

[0078] 구체적으로, 추정 외란  $\hat{d}_e$  을 제어 입력  $u$ 에 보상( $u = u_r + \hat{d}_e$ )하면 실제 시스템(10)은 외란 없는 시스템인 공칭 시스템으로 근사될 수 있다.

[0079] 따라서, 목표 추정 제어기(120)는 공칭 시스템  $\dot{y} = -a_n y + b_n u_r$  에 대해 목표 추종 입력  $u_r$ 을 계산할 수 있으며, 이에 대한 오차 시스템은 아래의 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있다.

[0080] [수학식 7]

$$\dot{e} = -a_n e - b_n u_r + a_n r + \dot{r}$$

[0082] 또한, 목표 추정 제어기(120)는 상기 오차 시스템을 안정화하는 목표 추정 입력으로서  $u_r = b_n^{-1}(w_c e + a_n r + \dot{r})$  을 적용할 수 있다. 여기서  $(a_n + w_c) > 0$  를 만족하도록  $w_c$ 를 설계한다.

[0083] 상기 목표 추정 입력  $u_r$ 을 [수학식 7]에 적용하면, 오차 시스템은  $\dot{e} = -(a_n + w_c)e$  가 되고  $e$ 가 0에 수렴한다.

[0084] 따라서, 목표 추종 입력  $u_r$ 에 대한 P 제어기(121)와 전향 보상 함수(122)는 아래의 [수학식 8]과 같이 나타낼

수 있다.

[0085] [수학식 8]

[0086] 
$$K_p = \frac{w_c}{b_n}, \quad N(s) = \frac{1}{b_n} \frac{(s + a_n)}{\rho s + 1}$$

[0087] 여기서  $0 < \rho < 1$  는 미분 구현을 위한 계수로서 작은 값으로 선정한다.

[0088] 정리하면, 본 발명의 시스템 제어 장치(100)는 외란을 바이어스된 삼각 함수의 형태로 가정하고 외란 오차의 분자가 외란의 분모와 동일한 형태로 설계하였으며, 그 결과 추정 외란이 바이어스된 삼각 함수의 형태로 나타나고 추정 외란의 궤적인 실제 외란의 궤적을 따라감을 확인할 수 있었다.

[0089] 시스템 제어 장치(100)는 이러한 추정된 외란을 보상하여 대상 시스템(10)을 제어할 수 있다. 이러한 제어 방식을 이용하면, 외란의 주파수만 알면 외란의 크기, 위상, 바이어스 등을 모르더라도 추정 외란이 계산될 수 있어서 대상 시스템(10)의 제어가 용이할 수 있다.

[0090] 도 2부터 도 4b까지는 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 모터를 제어하는 실험 결과를 도시한 도면이다.

[0091] 도 2부터 도 4b에서는 제어 대상 시스템(10)으로서 DC 모터를 선정하였으며, 도 1에 도시된 장치를 이용하여 DC 모터의 전류를 제어하는 경우이다.

[0092] DC 모터의 수학적 모델은 아래의 [수학식 9]와 같이 나타낼 수 있다.

[0093] 
$$\begin{aligned} \frac{di_a}{dt} &= -\frac{R_a}{L_a}i_a + \frac{1}{L_a}(v_a - K_b\omega_m) \\ \frac{d\omega_m}{dt} &= -\frac{B_m}{J_m}\omega_m + \frac{K_t}{J_m}\left(i_a - \frac{1}{K_t}T_L\right) \end{aligned}$$

[0094] 여기서  $i_a$ 는 전기자 전류,  $v_a$ 는 입력 전압,  $\omega_m$ 는 모터 속도이다.

[0095] 또한, 파라미터  $R_a$ ,  $L_a$ ,  $K_b$ ,  $B_m$ ,  $J_m$ ,  $K_t$ 는 각각 전기자 저항, 인덕턴스, 역기전력 상수, 마찰계수, 관성 질량, 토크 상수를 나타낸다.

[0096] 또한, 모터 축에 작용하는 부하 토크는  $T_L$ 로 표기하였다.

[0097] 전류에 대한 미분 방정식에서  $y=i_a$ ,  $a_r=R_a/L_a$ ,  $b_r=1/L_a$ ,  $d=K_b\omega_m$ 임을 알 수 있다.

[0098] 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 장치(100)에 적용된 공칭 파라미터와 모의 실험용 파라미터는 아래의 [표 1]과 같다.

[0099] [표 1]

|       | 실제파라미터<br>(모의실험적용) | 공칭 파라미터<br>(제어기설계 적용) | 단위                   |
|-------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| $R_a$ | 0.6                | 0.06                  | [ $\Omega$ ]         |
| $L_a$ | 0.191              | 0.229                 | [mH]                 |
| $K_b$ | 0.252              | -                     | [V/(rad/s)]          |
| $J_m$ | 94.44              | -                     | [g-cm <sup>2</sup> ] |
| $B_m$ | 2.108              | -                     | [mNm/(rad/s)]        |
| $K_t$ | 0.252              | -                     | [Nm/A]               |

[0100]

[0101] 전류 제어 성능 실험을 위한 기준 입력  $r$ 은 아래의 [수학식 10]과 같이 설정하였으며 기준 입력의 궤적(즉,  $y$ 의 목표 궤적)은 도 2에 도시된 바와 같다.

[0102] [수학식 10]

$$r(t) = 0.5\sin(240\pi t) + r_2(t)$$

$$r_2 = \begin{cases} 0 \leq t \leq 0.03, & 2(1 - e^{-2000t}) \\ 0.03 \leq t \leq 0.06, & -2(1 - e^{-2000(t-0.03)}) \end{cases}$$

[0103]

[0104] 여기서, 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 장치(100)는  $\omega_c=1000$ ,  $\tau=1/5000$ ,  $\omega=240\pi$ 를 적용하였다.

[0105] 전류 제어 실험 결과는 도 3a와 도 3b, 도 4a와 도 4b에 나타나 있으며, 각 제어 방법과 표기는 아래의 [표 2]와 같다

|   | 제어 방법                   | 범례 표기    |
|---|-------------------------|----------|
| 1 | 목표 추종 제어기만 적용           | Conv.    |
| 2 | 목표 추종 제어기 및 축소차수 PI 관측기 | ROP10    |
| 3 | 내부 모델 제어기               | IMC      |
| 4 | 본 발명의 제안 방법             | Proposed |

[0106]

[0107] 도 3a와 도 4a는 전류 궤적이고, 도 3b와 도 4b는 제어 오차의 궤적이다.

[0108] 도 3a와 도 3b, 도 4a와 도 4b에 나타나 있듯이, 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 장치(100)를 사용하여 시스템(DC 모터)를 제어하는 경우, 과도 성능 및 정상 상태 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

[0109] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0110] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

[0111] 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0112] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

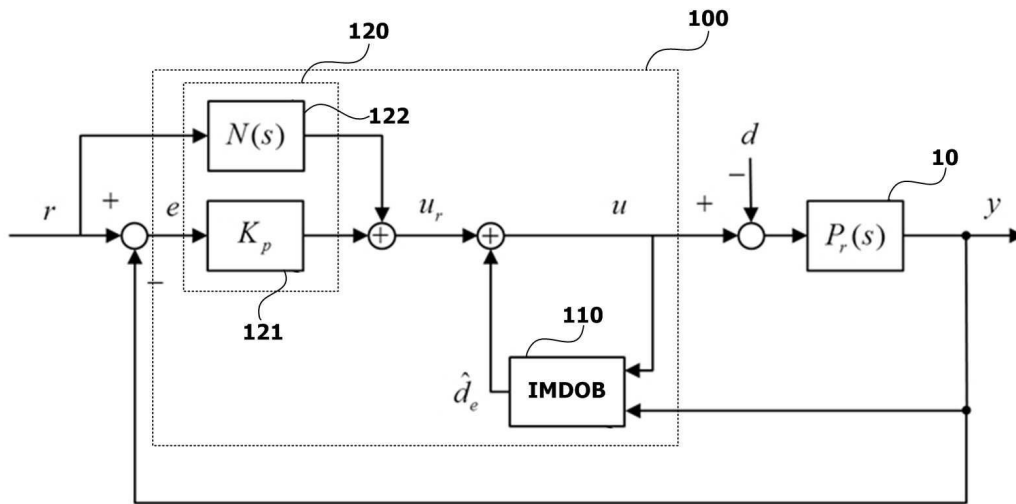
**부호의 설명**

[0113] 100 : 시스템 제어 장치

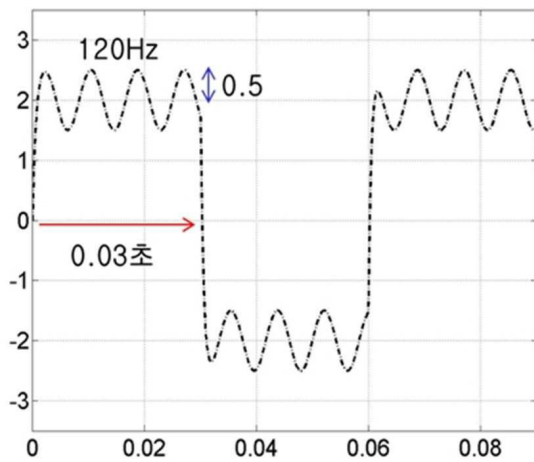
- 110 : 외란 관측기(IMDOB)
- 120 : 목표 추종 제어기
- 121 : P 제어기
- 122 : 전향 보상 함수

도면

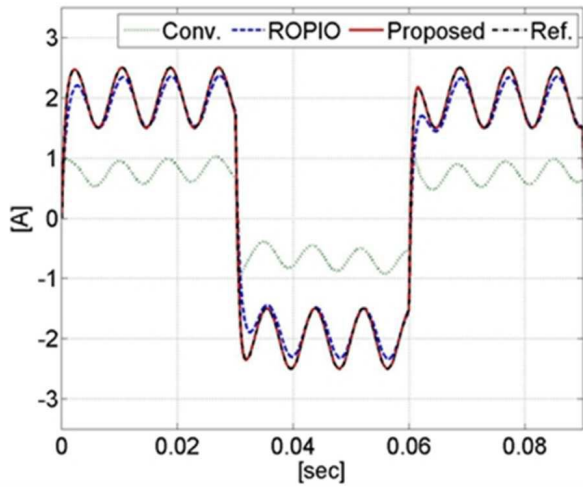
도면1



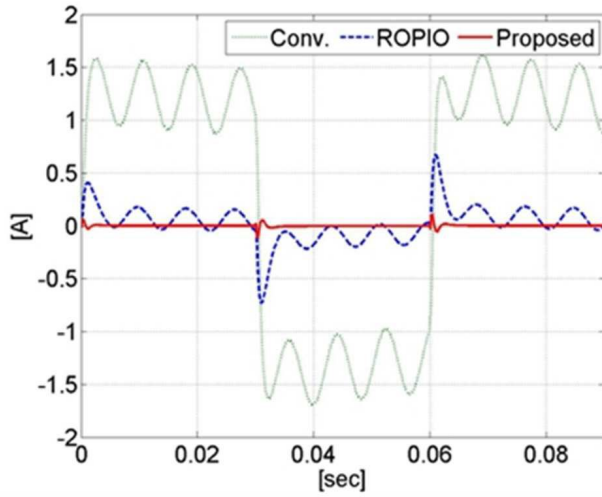
도면2



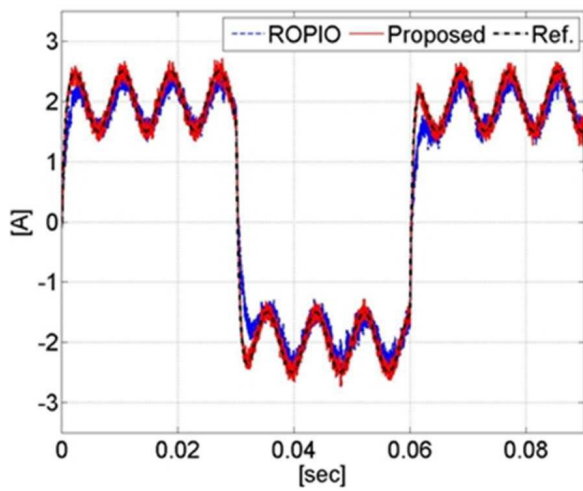
도면3a



도면3b



도면4a



도면4b

