(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0092744
(43) 공개일자 2011년08월18일

(51) Int. Cl.
H02P 7/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0012347
(22) 출원일자 2010년02월10일
심사청구일자 2010년02월10일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충남 천안시 동남구 병천면 가전리 307 한국기술교육대학교 내
(72) 발명자
유지환
충청남도 천안시 목천읍 신도브레뉴1차 102-801
뉴엔바 하이
충청남도 천안시 병천면 가전리 한국기술교육대학교
하이박
충청남도 천안시 병천면 가전리 한국기술교육대학교
(74) 대리인
김인한, 김희곤, 박용순

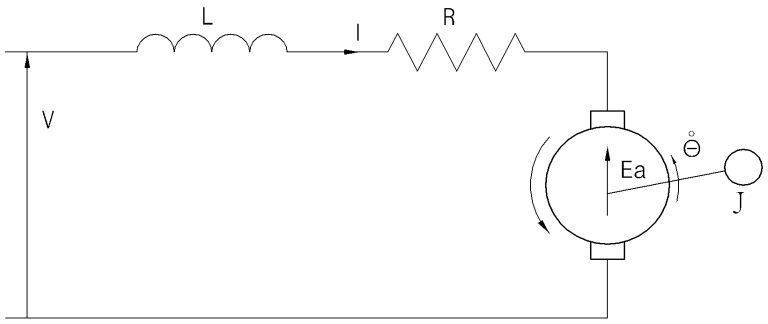
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 단일 루프 모터 속도 제어 시스템 및 방법

(57) 요 약

본 명세서에서, 신규한 DC 모터의 속도 제어 알고리즘이 제공된다. 본 발명의 주요 특징은 내부 전류 제어 루프를 갖지 않으며, 오직 속도 피드백만을 갖는 단순한 속도 제어기에 있다. 이는 특정 룰에 기초하여 레퍼런스 속도를 조정함으로써 가능하다. 따라서, 본 명세서에서 제안된 속도 제어기는 제어 성능을 유지하면서도 더욱 간단해 진다. 더욱이, 제안된 제어기와 함께, 시스템 응답이 덜 복잡하게 튜닝될 수 있다. 이 제안된 제어 방법은 수학적으로 그리고 실험적으로 조사되었다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

모터 속도 제어 시스템에서 있어서,

기준 속도를 m 배 증폭하는 피드포워드 게인부;

상기 피드포워드 게인부의 출력에서, 피드백된 모터의 속도가 차감된 값을 K_p 배 증폭하는 비례제어기; 및

상기 비례제어기의 출력에 의해 제어되는 상기 모터를 포함하는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

m이 아래의 식 (1)을 이용하여 규정되는 경우,

{식 1} $m=(K_p + B)/K_p$, (B 는 유효 감쇄)

기준속도와 모터의 정상상태 속도가 동일하게 되는 것을 특징으로 하는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 {식 1}은,

아래의 {식 2}

$$\omega = \frac{K_p G_{DCM}}{1 + K_p G_{DCM}} m \omega_{ref}$$

여기서, $G_{DCM} = \frac{1}{Js + B}$ 이며 $\omega_{ref} = \frac{\Omega^d}{s}$

$$\longrightarrow \omega = \frac{K_p m}{K_p + Js + B} \frac{\Omega^d}{s}$$

$$\omega_{ss} = \lim_{s \to 0} [\omega(s).s] = \lim_{s \to 0} \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + Js + B}$$

$$= \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + B}.$$

$$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

를 이용하여 도출되며, ω_{rer}는 기준속도이고, J는 관성모멘트이며, ω_{ss} 는 정상상태 속도인 것을 특징으로 하는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템.

청구항 4

모터 속도 제어 방법서 있어서,

(a) 피드포워드 게인부에서 기준 속도를 m 배 증폭하는 단계;

(b) 상기 m 배 증폭된 값에서, 피드백된 모터의 속도가 차감된 값을 비례제어기에서 K_p 배 증폭하는 단계;

(c) 상기 K_p 배 증폭된 값에 의해 모터를 제어하는 단계;

(d) 상기 제어된 모터의 속도를 상기 비례제어기로 피드백시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 단일 루프 모터 속도 제어 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 (a) 단계의 m이 아래의 식 (1)을 이용하여 규정되는 경우,

{식 1} $m=(K_p + B)/K_p$, (B 는 유효 감쇄)

기준속도와 모터의 정상상태 속도가 동일하게 되는 것을 특징으로 하는 단일 루프 모터 속도 제어 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 {식 1}은,

아래의 {식 2}

$$\omega = \frac{K_p G_{DCM}}{1 + K_p G_{DCM}} m \omega_{ref}$$

여기서, $G_{DCM} = \frac{1}{Js + B}$ 이며 $\omega_{ref} = \frac{\Omega^d}{s}$

$$\longrightarrow \omega = \frac{K_p m}{K_p + Js + B} \frac{\Omega^d}{s}$$

$$\omega_{ss} = \lim_{s \to 0} [\omega(s).s] = \lim_{s \to 0} \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + Js + B}$$
$$= \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + B}.$$

$$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow \quad m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

를 이용하여 도출되며, ω_{rer}는 기준속도이고, J는 관성모멘트이며, ω_{ss} 는 정상상태 속도인 것을 특징으로 하는 단일 루프 모터 속도 제어 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 모터 속도 제어 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 노이즈를 감소하고 간단한 튜닝이 가능한 모터 속도 제어를 할 수 있는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 직류 (DC) 모터 제어는 메카트로닉스, 자동차, 로보트, 및 항공 시스템을 포함한 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 분야에서, 속도 제어는 가장 중요한 면 중에 하나이다. 이는 모바일 로봇, CD-ROM, 전기 스

크류 드라이버, 컴퓨터 하드 디스크 등의 속도 제어를 포함한다.

[0003] 일반적으로, 정확한 속도 제어 방법은 2 개의 폐루프, 즉 내부 전류 제어 루프 및 외부 속도 제어 루프를 필요로 한다. 본 명세서에서는 DC 모터의 신규한 견실 제어 방법이 제공된다. 여기서 제안된 DC 모터의 속도 제어 알고리즘은 오직 간단한 PWM 신호만을 필요로 한다. 본 시스템의 성능을 유지하면서도 전류 제어 루프가 제거될 수 있다. 더욱이, 이 제어 방법의 개발로 인해 간단한 제어기뿐만 아니라 덜 복잡한 튜닝 방법이 가능하다.

[0004] 도 1은 종래의 일반적인 영구 자기 DC의 전기적 다이어그램이다. 키르히호프의 법칙에 따르면, DC 모터의 전기 방정식은 아래의 수학식 1과 같이 표현된다.

[0005] 뉴턴 법칙 및 키르히호프의 법칙을 적용함으로써, DC 모터의 기계적 수학식 (1) 및 (2)를 도출한다.

[0006] {수학식 1}

[0007] $$V = L\frac{di}{dt} + Ri - Ea$$

[0008] {수학식 2}

[0009] $$J\ddot{\Theta} + b\dot{\Theta} = \tau_m$$

[0010] 여기서 V는 인가 전압이며, i는 전기자 전류이고, Ea 는 역기전력이다. L 및 R 은 각각 인덕턴스 및 저항이다. J는 로봇의 관성모멘트이며, b는 기계 부분의 감쇄율이다. 모터 토크 τ_m는 상수 k_t 에 의해 전기자 전류 i에 관련된다. (S_i 유닛에서, K_t (전기자 전류/토크상수)는 k_e (모터/속도 상수)와 동일함). 역기전력 E_a 는 아래의 수학식 (3)에 의해 회전 속도와 관련된다.

[0011] {수학식 3}

[0012] $\tau_m = K_t \cdot i$

[0013] 도 2는 종래의 통상적인 DC 모터에 대한 제어 구조를 나타낸다. 본 도면에서, 제어 방법은 내부 전류 제어 루프 및 외부 속도 제어 루프로 구성된다. 속도 제어기 (10)의 출력 신호는 전류 제어기 (20)의 입력이다. 이들 2개의 제어기들은 독립적으로 설계될 수 있다. 왜냐하면, 시스템의 기계적 역학이 일반적으로 전기자 회로의 역학보다 훨씬 느리기 때문이다. 기준속도 ω_{ref}는 설계된 시간 이후에 모터 (40)가 획득할 원하는 속도이다. 종래 산업시스템에서 발견된 제어기는 PID 제어 알고리즘이다. 이는 퍼지 (fuzzy), 뉴럴 네트워크, 또는 적응 제어기에 포함될 수 있다. 전류 센서 및 인코더는 일반적으로 시스템에서 피드백 장치로서 이용된다.

[0014] PID의 일반적인 방정식은 Ang K., Chong G., Li Y., "*PID control system analysis, design, and technology*," IEEE Trans. Control System Technology, vol. 13, p. 559 - 576, Jul. 2005. 및 Wikipedia.org/wiki/PID_controller 에 개시된다. 또한, 출력신호 U(t)는 아래와 같이, 비례항, 적분항, 및 미분항의 합으로 나타난다.

[0015] $$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}.$$

[0016] 큰 비례 이득 (K_p)을 갖는 경우, 시스템은 빠르게 반응하지만 큰 에러를 유발한다. 즉, 과도하게 큰 비례 이득은 시스템의 불안정 및 진동을 유발한다. 또한, 큰 적분이득 (K_i)을 갖는 경우, 시스템의 정상상태 에러는 훨씬 빠르게 감소한다. 또한, 큰 미분 이득 (K_d)을 갖는 경우, 시스템의 오버슛이 감소할 수 있다. 그러나 미분 이득은 시스템의 감쇄로서 작용할 수도 있다. 게다가, 에러의 미분에 있어서 노이즈의 증폭은 시스템을 불안정하게 한다. 이를 3개의 항들을 계산하는 몇몇 방법들이 존재한다. 이러한 방법들은 Wikipedia.org/wiki/PID_controller 공지된 것으로서 본 명세서에서는 생략하기로 한다.

[0017] 이와 같이 기존의 모터 속도 제어는 2개의 루프를 필요로 하며, 튜닝과정 또한, 매우 복잡하다. 또한, 잡음 제거가 매우 힘든 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명은 전술한 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 노이즈를 감소하고 간단한 튜닝이 가능한 모터 속도 제어를 할 수 있으며, 내부 전류 루프를 필요로 하지 않는 모터 속도 제어 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명에 따른 단일 루프 모터 속도 제어 시스템은, 모터 속도 제어 시스템에서 있어서, 기준 속도를 m 배 증폭하는 피드포워드 게인부; 상기 피드포워드 게인부의 출력에서, 피드백된 모터의 속도가 차감된 값을 K_p 배 증폭하는 비례제어기; 및 상기 비례제어기의 출력에 의해 제어되는 상기 모터를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 여기서, m이 아래의 식 (1)을 이용하여 규정되는 경우,

[0021] {식 1} $m=(K_p + B)/K_p$, (B 는 유효 감쇄)

[0022] 기준속도와 모터의 정상상태 속도가 동일하게 되고, 상기 {식 1}은, 아래의 {식 2}

[0023] $$\omega = \frac{K_p G_{DCM}}{1 + K_p G_{DCM}} m \omega_{ref}$$

[0024] 여기서, $G_{DCM} = \frac{1}{Js + B}$ 이며 $\omega_{ref} = \frac{\Omega^d}{s}$

$$\longrightarrow \omega = \frac{K_p m}{K_p + Js + B} \frac{\Omega^d}{s}$$

[0025] $$\omega_{ss} = \lim_{s \to 0} [\omega(s).s] = \lim_{s \to 0} \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + Js + B}$$

$$= \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + B}.$$

[0026] $$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

[0027] 를 이용하여 도출되며, ω_{rer}는 기준속도이고, J는 관성모멘트이며, ω_{ss} 는 정상상태 속도인 것을 특징으로 한다.

[0028] 또한, 본 발명에 따른 단일 루프 모터 속도 제어 방법은, 모터 속도 제어 방법에 있어서, (a) 피드포워드 게인부에서 기준 속도를 m 배 증폭하는 단계; (b) 상기 m 배 증폭된 값에서, 피드백된 모터의 속도가 차감된 값을 비례제어기에서 K_p 배 증폭하는 단계; (c) 상기 K_p 배 증폭된 값에 의해 모터를 제어하는 단계; (d) 상기 제어된 모터의 속도를 상기 비례제어기로 피드백시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 여기서, 상기 (a) 단계의 m이 아래의 식 (1)을 이용하여 규정되는 경우,

[0030] {식 1} $m=(K_p + B)/K_p$, (B 는 유효 감쇄)

[0031] 기준속도와 모터의 정상상태 속도가 동일하게 되는 것을 특징으로 하며, 상기 {식 1}은, 아래의 {식 2}

[0032] $$\omega = \frac{K_p G_{DCM}}{1 + K_p G_{DCM}} m \omega_{ref}$$

[0033] 여기서, $G_{DCM} = \frac{1}{Js+B}$ 이며 $\omega_{ref} = \frac{\Omega^d}{s}$

$$\longrightarrow \omega = \frac{K_p m}{K_p + Js + B}\frac{\Omega^d}{s}$$

[0034] $$\omega_{ss} = \lim_{s->0}[\omega(s).s] = \lim_{s->0}\frac{K_p m\Omega^d}{K_p + Js + B}$$
$$= \frac{K_p m\Omega^d}{K_p + B}.$$

[0035] $$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

[0036] 를 이용하여 도출되며, ω_{rer}는 기준속도이고, J는 관성모멘트이며, ω_{ss} 는 정상상태 속도인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0037] 본 발명에 의하면, 노이즈를 감소하고 간단한 튜닝이 가능한 모터 속도 제어를 할 수 있다. 또한, 내부 전류 루프를 필요로 하지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 종래의 일반적인 영구 자기 DC의 전기적 다이어그램

도 2는 종래의 통상적인 DC 모터에 대한 제어 구조

도 3은 본 발명의 일 실시형태에 따른 단일 루프 모터 속도 제어 알고리즘

도 4는 본 발명의 또 다른 실시형태에 따른 PD 제어기를 포함하는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템

도 5는 본 발명에 따른 단일 루프 속도 제어기의 실험예

도 6은 본 발명에 의해 제안된 제어 알고리즘 및 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI)가 프로그램된 랩뷰

도 7은 제어 신호에서의 변화로 인한 잡음 동작

도 8은 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, K_p=23 및 m=2.8인 경우의 결과값

도 9는 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, K_p=15 및 m=3.76인 경우의 결과값

도 10은 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, Kp=15 및 m=3.76인 경우, 변화하는 기준 속도의 실험 결과

도 11은 종래 기술에 따른 PID 제어기와 본 발명에 따른 제어기의 잡음 양상의 비교

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 단일 루프 모터 속도 제어 시스템 및 방법에 대해서 상세히 설명한다. 다만, 실시형태를 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0040] 도 3은 본 발명의 일 실시형태에 따른 단일 루프 모터 속도 제어 알고리즘을 나타낸다. DC 모터의 속도 제어를 간단화하기 위해 본 도면에 도시된 바와 같은 신규한 제어 방법을 제안한다.

[0041] 본 명세서에서의 컨셉은 초기 속도가 피드포워드 게인부 (110)의 이득 m 에 의해 멀티플된다는 것이다. 수정된 초기 속도가 제어기 (120)의 기준 입력이 된다. 이러한 수정으로 인해, 정상 상태 에러가 0으로 수렴하면서도 전류 제어 루프가 제어 방법에서 제거될 수 있다. m 의 정확한 값을 찾기 위한 방법 및 정상 상태 에러의 상세

한 분석을 아래에 설명한다.

[0042] 도 3의 폐루프 시스템은,

$$\omega = \frac{K_p G_{DCM}}{1 + K_p G_{DCM}} m \omega_{ref}$$

[0043]

여기서, $G_{DCM} = \frac{1}{Js + B}$ 이며 $\omega_{ref} = \frac{\Omega^d}{s}$

$$\longrightarrow \omega = \frac{K_p m}{K_p + Js + B} \frac{\Omega^d}{s}$$

[0044]

$$\omega_{ss} = \lim_{s \to 0} [\omega(s).s] = \lim_{s \to 0} \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + Js + B}$$
$$= \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + B}.$$

[0045]

$$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

[0046]

[0047] 와 같이 표현되며, 여기서 B 는 유효 감쇄를 나타낸다 (Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, *"Robot MIdeling and Control,"*, Wiley, 2006 참조). 이 분석은, m 이 $(K_p + B)/K_p$ 인 경우, 정상상태 속도가 Ω^d 와 동일함을 의미한다. 즉, K_p 가 주어지면, 정상상태 속도를 기준 속도와 동일하게 하는 m 의 값을 언제든지 찾아낼 수 있다. 그러나 K_p 가 0 이어서는 안된다.

[0048] 도 4는 본 발명의 또 다른 실시형태에 따른 PD 제어기를 포함하는 단일 루프 모터 속도 제어 시스템을 나타낸다. 모터 속도 ω은,

$$\longrightarrow \omega = \frac{(K_p + K_d s) m}{(K_p + K_d s) + Js + B} \frac{\Omega^d}{s}.$$

[0049]

$$\omega_{ss} = \lim_{s \to 0} [\omega(s).s] = \lim_{s \to 0} \frac{(K_p + K_d s) m \Omega^d}{(K_p + K_d s) + Js + B}$$
$$= \frac{K_p m \Omega^d}{K_p + B}.$$

[0050]

$$\omega_{ss} = \Omega^d \quad \longleftrightarrow m = \frac{K_p + B}{K_p}.$$

[0051]

[0052] 이는 만일 K_p 가 주어지면, 정상상태 속도를 기준 속도와 동일하게 하는 m 값을 언제나 찾을 수 있음을 의미한다. 즉, 제안된 제어 알고리즘은 미분 제어기 (130)의 미분항에 의해 영향받지 않는다.

[0053] 도 5는 본 발명에 따른 단일 루프 속도 제어기의 실험예를 나타낸다. 본 실시예에서는 맥슨 (maxon) DC 모터 (40a)가 사용된다. 인코더 (60)는 4096 펄스/레볼루션 (pulse/revolution)를 갖는다. 또한, PCI 보드 (NI PCI 7356) (220)는 LabVIEW 환경에서 DC 모터 (40)와 사용자 인터페이스 (210)를 접속하도록 이용된다.

[0054] PID 제어 환경에서는, 모터 드라이버 (230)로서 맥슨 모터 드라이버가 사용된다. 맥슨 모터 드라이버는 전류 모드 제어를 갖는다. 따라서, 전류 루프 제거가 용이하게 구현될 수 있다.

[0055] 한편, 본 발명에 따른 제어 시스템에서는, 간단한 H-브릿지 모터 드라이버가 사용된다. PWM 신호는 LabVIEW 기

능을 이용하여 생성된다.

[0056] 또한, 본 발명에 의해 제안된 제어 알고리즘 및 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI)가 도 6에 도시된 랩뷰에 프로그램된다. GUI (210)는 사용자가 기준 속도를 설정하게 하고 획득된 데이터를 관측하게 한다. 사용자는 버튼을 스위칭함으로써 2가지 제어 모드, 즉, PID 제어 및 본 발명에 의한 제어 사이를 선택할 수 있다.

[0057] (제 1실험-종래 PID 시스템)

[0058] 모터 속도의 종래 PID 제어로 수행된다. PID 제어기를 튜닝하기 위해 지글러-니콜 방법이 이용되었다. 도 7은 제어 신호에서의 변화로 인한 잡음 동작을 도시한다. 이를 더욱 명확히 설명하기 위해, 위치 제어 기술과 속도 제어 사이의 차이점을 아는 것이 중요하다. 위치 제어에서는, 위치 에러가 0에 도달하면 제어 신호도 0이 되어야 한다. 그러나 속도 에러가 0으로 도달하는 경우, 제어 신호는 안정한 값에서 유지되어야 한다.

[0059] (제 2실험)

[0060] 본 실험은 본 발명에 따른 견실 제어 알고리즘에 기초하여 수행된 것이다. 시스템 감쇄는 41.4이다. 이득 Kp_robust 는 23으로 세팅된다. 따라서, m은

[0061] $$m = \frac{K_{p_roboust} + B}{K_{p_roboust}} = \frac{23 + 41.4}{23} = 2.8.$$

[0062] 과 같이 계산된다.

[0063] 여기서 B 를 계산하는 상세한 과정은 Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, *"Robot MIdeling and Control,"*, Wiley, 2006 에 개시된다. 특정값 K_p 에 대해, m 은 근사값을 갖는다. 도 8은 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, K_p=23 및 m=2.8인 경우의 결과값을 도시한다.

[0064] (제 3실험)

[0065] 튜닝 기술을 설명하기 위해, 실험은 제 2설정값 K_p 및 m 으로 수행되었으며, 그 결과가 도 9에 도시된다. 도 9는 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, K_p=15 및 m=3.76인 경우의 결과값을 도시한다. 도 9에 도시된 바와 같이, 정상 상태 속도가 설정된 기준 속도를 따라갈 수 있음을 보여준다.

[0066] (제 4실험)

[0067] 도 10은 본 발명에 따른 단일 루프 제어기에서, K_p=15 및 m=3.76인 경우, 변화하는 기준 속도의 실험 결과를 도시한다. 특정된 속도는 기준 속도를 4% 의 에러, 및 세팅 속도 30ms 로 추적하다.

[0068] (제 5실험)

[0069] 도 11은 종래 기술에 따른 PID 제어기와 본 발명에 따른 제어기의 잡음 양상의 비교를 도시한다. 본 발명에 따른 제어기를 사용한 경우, 종래의 PID 제어기와 비교시 노이즈가 약 25% 감소한다. 실험동안, 본 발명의 제어기가 모터를 더욱 스무드하고 빠르게 하는 것으로 평가되었다.

[0070] 표 1은 종래의 전류 루프를 포함하는 PID 제어기와 본 발명의 제어기의 비교를 정리한 것이다. 본 발명의 제어기를 사용하는 경우, 노이즈 동작이 감소할 수 있고, K_i 및 K_d 를 찾을 필요가 없기 때문에 튜닝 기술이 매우 간단해진다.

표 1

[0071]

비교요소	비교예	실시예
성능	잡음	감소된 잡음
구현	복잡한 튜닝 기술	용이한 튜닝 기술

부호의 설명

[0072] 10: 속도 제어기 20: 전류 제어기

30: 전압 변환기 40: DC 모터

50: 전류 센서 60: 인코더

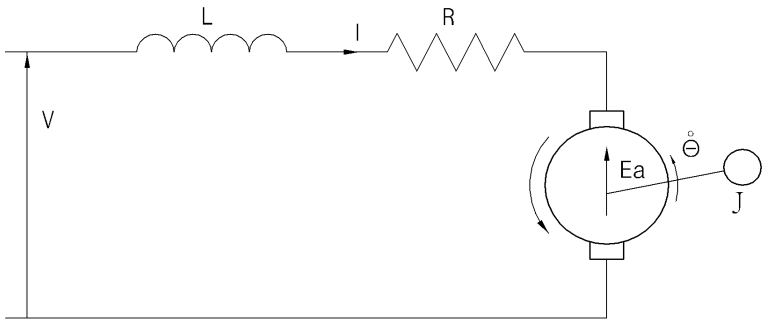
110: 피드포워드 게인부 120: 비례 제어기

130: 미분 제어기 210: GUI

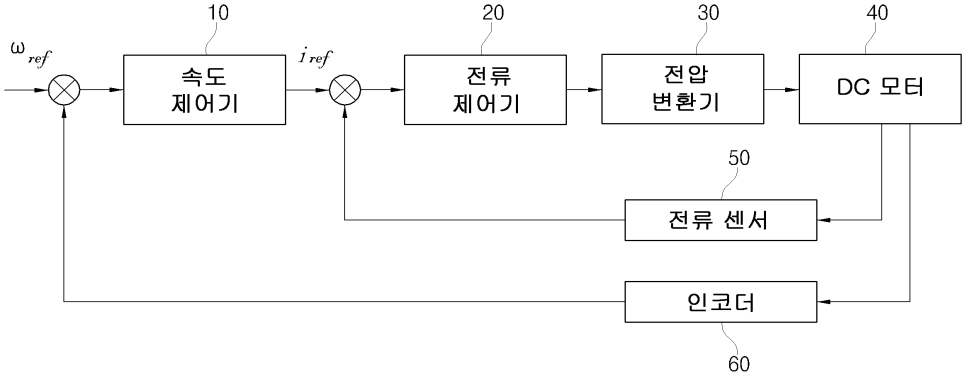
220: NI PCI 230: 모터 드라이버

도면

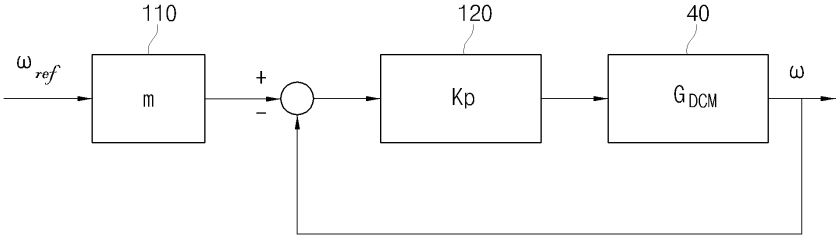
도면1



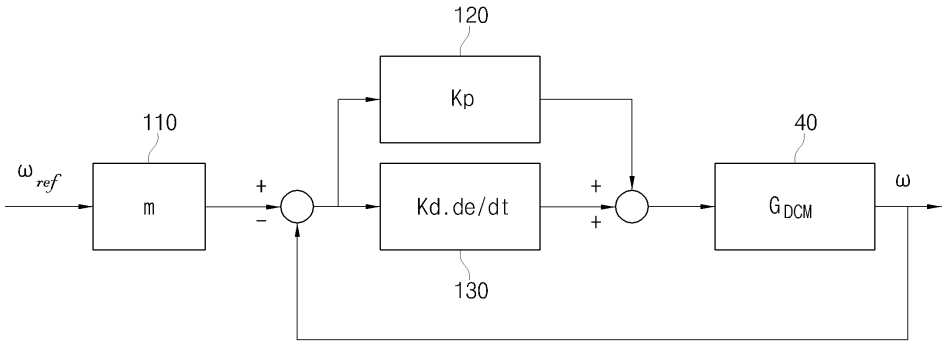
도면2



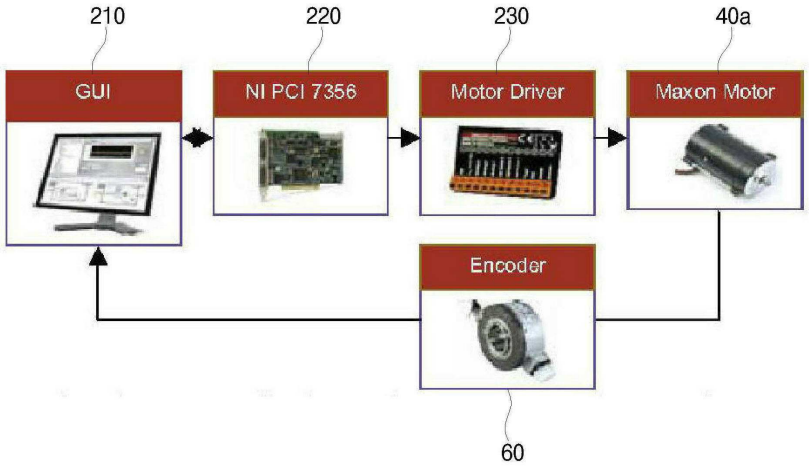
도면3



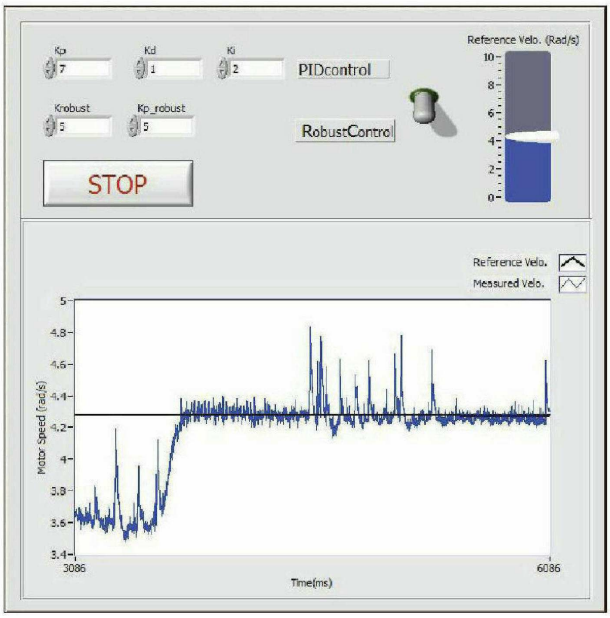
도면4


120
Kp
110
40
ω ref
m
+
−
Kd.de/dt
+
+
G DCM
ω
130

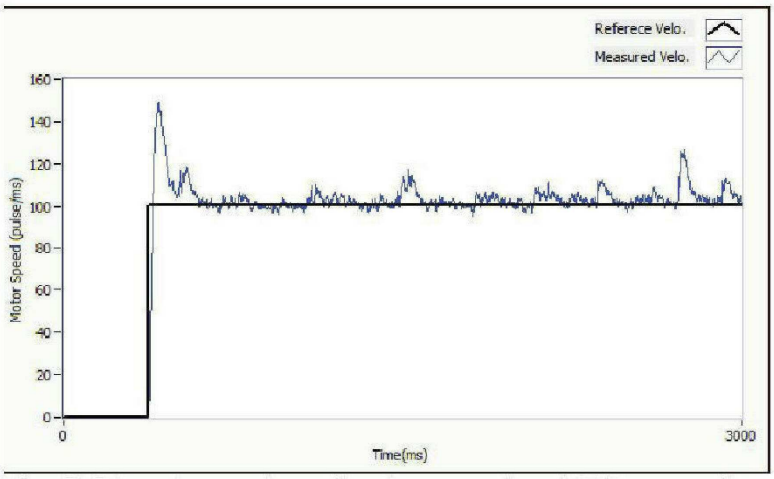
도면5


210
220
230
40a
GUI
NI PCI 7356
Motor Driver
Maxon Motor
Encoder
60

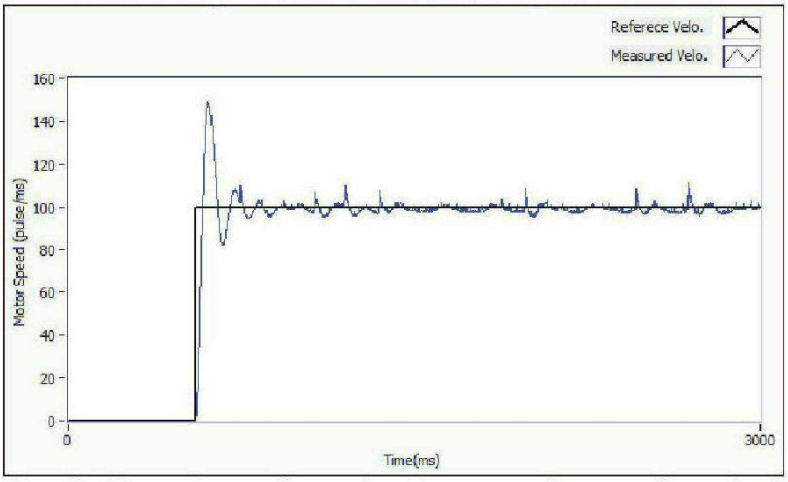
도면6


Kp
Kd
Ki
PIDcontrol
Krobust
Kp_robust
RobustControl
STOP
Reference Velo. (Rad/s)
Reference Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (rad/s)
Time(ms)
3086
6086

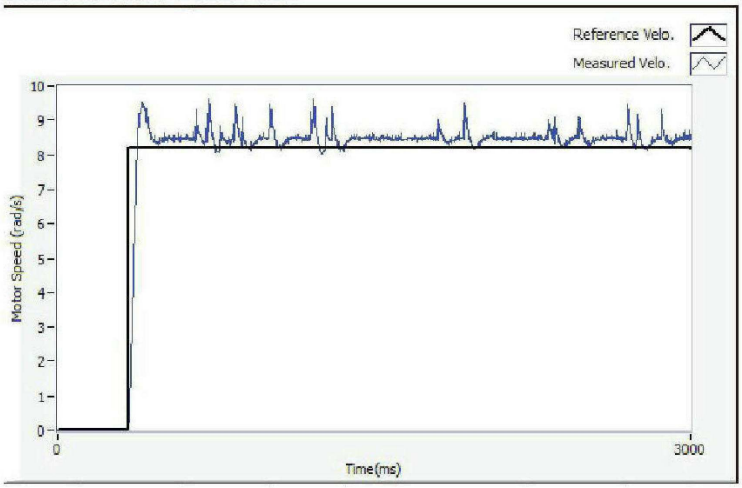
도면7


Referece Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (pulse/ms)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
3000
Time(ms)

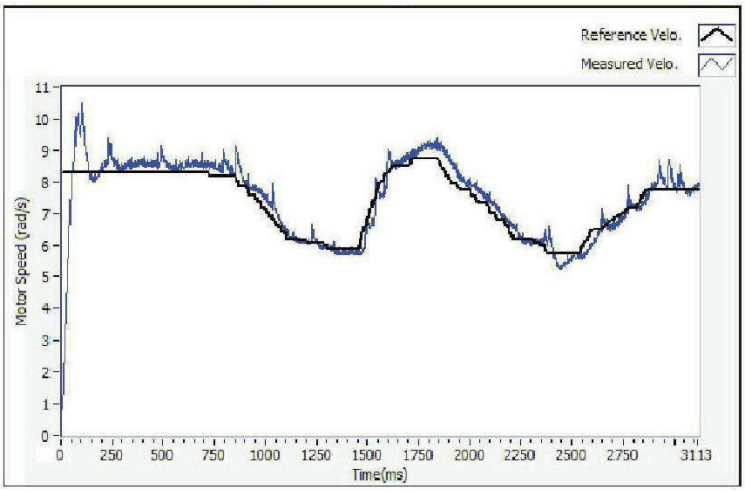
도면8


Referece Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (pulse/ms)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
3000
Time(ms)

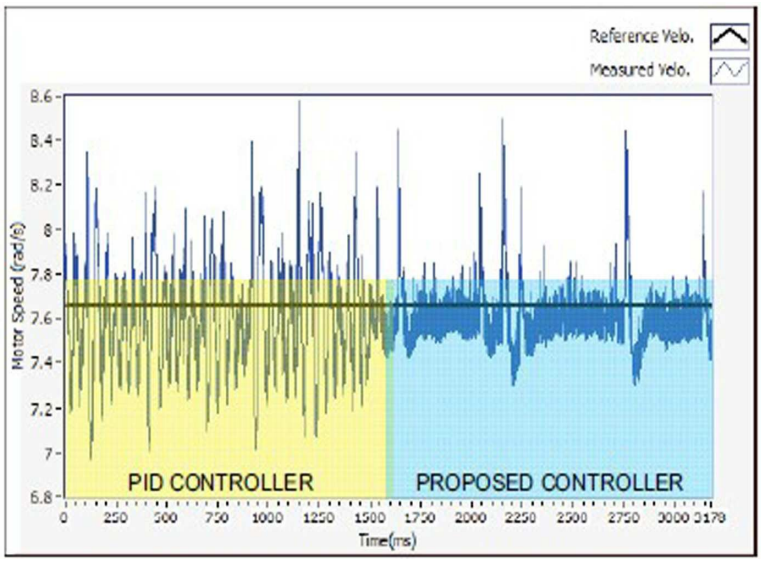
도면9


Reference Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (rad/s)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
3000
Time(ms)

도면10


Reference Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (rad/s)
Time(ms)

도면11


Reference Velo.
Measured Velo.
Motor Speed (rad/s)
PID CONTROLLER
PROPOSED CONTROLLER
Time(ms)