



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0152937
(43) 공개일자 2023년11월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 23/00 (2016.01) H02P 23/22 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H02P 23/0004 (2013.01)
H02P 23/0077 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0052506
(22) 출원일자 2022년04월28일
심사청구일자 2022년04월28일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
최중경
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774, 305동
1504호 (상남동, 성원아파트)
(74) 대리인
김중선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 12 항

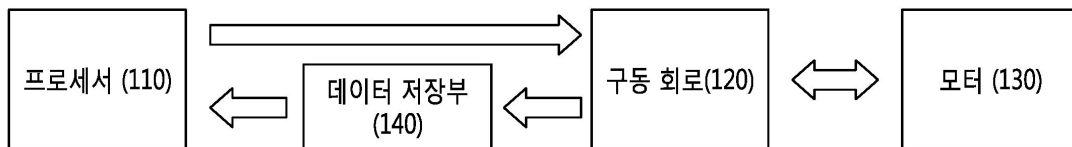
(54) 발명의 명칭 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법 및 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템

(57) 요약

구동 회로, 모터, 및 상기 구동 회로 및 상기 모터와 전기적으로 연결된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 제1 구동 제어 신호를 전송하고, 상기 모터로부터 상기 구동 회로를 통해 상기 전송된 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신하고, 상기 수신된 응답 신호에 기반하여 복수의 주파수 특징점들을 확인하고, 상기 확인된 복수의 주파수 특징점들에 기반하여 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정하도록 설정된 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템이 개시된다. 이 외에도 본 문서를 통해 파악되는 다양한 실시 예가 가능하다.

대표도

100



(52) CPC특허분류

H02P 23/22 (2016.02)

Y10S 388/906 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템에 있어서,

구동 회로;

모터; 및

상기 구동 회로 및 상기 모터와 전기적으로 연결된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는:

상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 제1 구동 제어 신호를 전송하고,

상기 모터로부터 상기 구동 회로를 통해 상기 전송된 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신하고,

상기 수신된 응답 신호에 기반하여 복수의 주파수 특징점들을 확인하고,

상기 확인된 복수의 주파수 특징점들에 기반하여 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정하도록 설정된, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함하고,

상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 시간 응답 데이터에 기반하여, 상기 구동 회로의 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 모터의 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점을 획득하도록 설정된, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 제1 절점 주파수 및 상기 모터의 제2 절점 주파수를 PI 이득 조절에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하도록 설정된, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 고주파 점근선의 크기 및 상기 모터의 저주파 점근선의 크기를 PI 이득 조절에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하도록 설정된, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 조정된 고주파 점근선의 크기 및 상기 조정된 저주파 점근선의 크기는 지정된 기울기 및 지정된 위상 곡선을 갖는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 프로세서는 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 상기 제1 구동 제어 신호와 다른 제2 구동 제어 신호를 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 전송하도록 설정된, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템.

청구항 7

PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법에 있어서,

구동 회로를 통해 모터로 제1 구동 제어 신호를 전송하는 단계;

상기 모터로부터 상기 구동 회로를 통해 상기 전송된 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신하는 단계;

상기 수신된 응답 신호에 기반하여 복수의 주파수 특징점들을 확인하는 단계; 및

상기 확인된 복수의 주파수 특징점들에 기반하여 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정하는 단계를 포함하는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함하고,

상기 확인하는 단계는, 상기 시간 응답 데이터에 기반하여, 상기 구동 회로의 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 모터의 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점을 획득하는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 제1 절점 주파수 및 상기 모터의 제2 절점 주파수를 PI 이득 조정에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 고주파 점근선의 크기 및 상기 모터의 저주파 점근선의 크기를 PI 이득 조정에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 조정된 고주파 점근선의 크기 및 상기 조정된 저주파 점근선의 크기는 지정된 기울기 및 지정된 위상 곡선을 갖는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 PI 이득을 조절하는 서보모터 제어 방법은, 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 상기 제1 구동 제어 신호와 다른 제2 구동 제어 신호를 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 전송하는 단계를 더 포함하는, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 문서에서 개시되는 실시 예들은 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법 및 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 서보모터는 명령에 따라 정확한 위치와 속도를 추종할 수 있는 모터를 일컫는 것으로, 모터와 제어 구동 보드를 포함하는 형태일 수 있다. 이러한 서보모터는 로봇, 공작기계, CCTV 카메라, 캠코더, DVD 및 프린터 장치 등에서 사용될 수 있다.

[0003] 서보모터는 BLDC(brushless direct current) 서보모터를 포함할 수 있다. BLDC 서보모터는 모터 내부 고정자(inner stator)에 직류 전원을 사용하되, 적절한 스위칭 회로를 사용하여 상기 직류를 교류로 바꾸어 공급함으로써 브러시를 사용하지 않고 회전자(rotor)를 구동할 수 있다.

[0004] BLDC 서보모터 등의 서보모터는 모터의 동특성 정보(예: 계통 파라미터, 전달함수)를 지정된 값으로 인지한 상태에서 제어 구동 보드의 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정할 수 있다. 그러나 동특성 정보에 기반하여 PI 이득을 결정하는 방법은 제공된 정보의 정확성이 요구되고, 서보모터에 작용하는 외부 환경의 변화 또는 부하 변동에 민활하지 못하며, 제어 목적의 정확한 달성을 위한 체계적 방법으로 활용될 수 없는 한계가 있었다.

[0005] 상술한 한계로 인하여, 종래에는 여러 PI 이득을 결정하는 여러 방법들을 혼합하여 경험적인 PI 이득 선택법이 사용되었고, 이러한 경험에 의존적인 방법은 결국 엔지니어의 경험 내지 숙련도에 의존할 수밖에 없었다. 또한, 해당 엔지니어를 포함하는 인력을 유지하는 데에는 상당한 비용이 요구될 수 있다. 더욱이, 현재 국내 전동기 제어 기술은 외국의 공개된 기술에 의존하여 생산 및 전략 설비를 설계하고 있는 실정이다.

[0006] 따라서, PI 이득을 자동으로 조절하기 위한 효율적인 서보모터 제어 시스템이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이에 따라 본 문서에 개시되는 다양한 실시 예에서는, 엔지니어의 경험 내지 숙련도와 비교적 무관하게 PC 등을 통해 제공된 메뉴에 따라 간단한 조작만으로 PI 이득 설정 과정을 자동으로 수행하도록 하는 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법 및 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 일 실시 예에 따르면, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템은, 구동 회로, 모터, 및 상기 구동 회로 및 상기 모터와 전기적으로 연결된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 제1 구동 제어 신호를 전송하고, 상기 모터로부터 상기 구동 회로를 통해 상기 전송된 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신하고, 상기 수신된 응답 신호에 기반하여 복수의 주파수 특징점들을 확인하고, 상기 확인된 복수의 주파수 특징점들에 기반하여 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정하도록 설정될 수 있다.

[0009] 일 실시 예에 따르면, 상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 시간 응답 데이터에 기반하여, 상기 구동 회로의 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 모터의 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점을 획득하도록 설정될 수 있다.

[0010] 일 실시 예에 따르면, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 제1 절점 주파수 및 상기 모터의 제2 절점 주파수를 PI 이득 조절에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하도록 설정될 수 있다.

[0011] 일 실시 예에 따르면, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 고주파 점근선의 크기 및 상기 모터의 저주파 점근선의 크기를 PI 이득 조절에 의하여 지정된 범위 내에서 조정하도록 설정될 수 있다.

[0012] 일 실시 예에 따르면, 상기 조정된 고주파 점근선의 크기 및 상기 조정된 저주파 점근선의 크기는 지정된 기율

기 및 지정된 위상 곡선을 가질 수 있다.

- [0013] 일 실시 예에 따르면, 상기 적어도 하나의 프로세서는 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 상기 제1 구동 제어 신호와 다른 제2 구동 제어 신호를 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 전송하도록 설정될 수 있다.
- [0014] 일 실시 예에 따르면, PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법은, 구동 회로를 통해 모터로 제1 구동 제어 신호를 전송하는 단계, 상기 모터로부터 상기 구동 회로를 통해 상기 전송된 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신하는 단계, 상기 수신된 응답 신호에 기반하여 복수의 주파수 특징점들을 확인하는 단계, 및 상기 확인된 복수의 주파수 특징점들에 기반하여 PI(proportional integral, PI) 이득을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 일 실시 예에 따르면, 상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함하고, 상기 확인하는 단계는, 상기 시간 응답 데이터에 기반하여, 상기 구동 회로의 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 모터의 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점을 획득할 수 있다.
- [0016] 일 실시 예에 따르면, 상기 결정하는 단계는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 제1 절점 주파수 및 상기 모터의 제2 절점 주파수를 PI 이득 조정에 의하여 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다.
- [0017] 일 실시 예에 따르면, 상기 결정하는 단계는, 상기 획득된 적어도 하나의 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 획득된 적어도 하나의 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여, 상기 구동 회로의 고주파 점근선의 크기 및 상기 모터의 저주파 점근선의 크기를 PI 이득 조정에 의하여 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다.
- [0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 조정된 고주파 점근선의 크기 및 상기 조정된 저주파 점근선의 크기는 지정된 기울기 및 지정된 위상 곡선을 가질 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법은, 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 상기 제1 구동 제어 신호와 다른 제2 구동 제어 신호를 상기 구동 회로를 통해 상기 모터로 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 문서에 개시되는 다양한 실시 예에 따른 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법 및 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템은 시험 구동 및 분석에 기반하여 PI 이득을 자동으로 조절함으로써, 동특성 정보 획득을 위한 엔지니어의 경험 또는 숙련도에 의존하지 않을 수 있다.
- [0021] 이 외에도 본 문서를 통해 직접적 또는 간접적으로 파악되는 다양한 효과가 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 일 실시 예에 따른 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 2는 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 스텝 응답과 주파수 응답의 관계를 도시한 도면이다.
- 도 3은 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 개루프 주파수 응답 보드선도와 PI 제어기의 개루프 주파수 응답 보드선도를 도시한 도면이다.
- 도 4는 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 PI 제어기와 개루프 계통 통합 주파수 응답 보드선도를 도시한 도면이다.
- 도 5는 일 실시 예에 따른 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도면의 설명과 관련하여, 동일 또는 대응되는 구성요소에 대해서는 동일한 참조 번호가 부여될 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의

될 뿐이다. 이하에서 동일한 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

- [0024] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.
- [0025] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "이루어지다(made of)"는 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0026] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성에 대하여 상세히 설명한다.
- [0028] 도 1은 일 실시 예에 따른 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 시스템의 블록도이다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 일 실시 예에 따른 서보모터 제어 시스템(100)은 적어도 하나의 프로세서(110), 구동 회로(120), 모터(130) 및 데이터 저장부(140)를 포함할 수 있다. 다양한 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 상기 구성요소들 중 적어도 하나를 생략하거나 다른 구성요소를 추가적으로 포함할 수 있다. 예를 들어, 서보모터 제어 시스템(100)은 데이터 저장부(140)를 생략하거나 또는 통신 모듈을 더 포함할 수 있다.
- [0030] 일 실시 예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서 PC(110)는 모터(130)의 구동과 관련된 다양한 데이터를 송수신할 수 있다. 일 실시 예에서, 적어도 하나의 프로세서(110)는 통신 모듈(미도시)(예: RS232 직렬 통신)을 통해 구동 회로(120)로 제1 구동 제어 신호를 전송할 수 있다. 상기 제1 구동 제어 신호는 모터(130)의 초기 구동 테스트를 위한 상수 스텝 전류 지령 또는 속도 지령 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일 실시 예에서, 적어도 하나의 프로세서(110)는 지정된 통신 방식(예: USB 연결)을 통해 데이터 저장부(140)로부터 상기 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신할 수 있다. 상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함할 수 있다.
- [0031] 일 실시 예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 송수신된 다양한 데이터들에 기반하여 전류 및 속도 PI 이득을 결정할 수 있다.
- [0032] 일 실시 예에서, 적어도 하나의 프로세서(110)는 데이터 저장부(140)로부터 수신된 응답 신호에 기반하여 구동 회로(120)(예: PI 제어기)의 제1 주파수 응답 특징점 및 모터(130)(예: 제어 대상 계통)의 제2 주파수 응답 특징점을 확인할 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여 구동 회로(120)의 제1 절점 주파수 및 모터(130)의 제2 절점 주파수를 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다. 상기 지정된 범위는 예컨대, 상기 제1 절점 주파수 및 상기 제2 절점 주파수가 일치하도록 정렬되는 범위일 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 절점 주파수들의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제1 조건을 설정할 수 있다.
- [0033] 일 실시 예에서, 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여 구동 회로(120)의 고주파 점근선의 크기 및 모터(130)의 저주파 점근선의 크기를 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다. 상기 지정된 범위는 예컨대, 상기 고주파 점근선의 크기 및 상기 저주파 점근선의 크기가 지정된 기울기(예: 20dB/dec) 및 지정된 위상 곡선(예: -90°)을 갖도록 정렬되는 범위일 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 점근선들의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제2 조건을 설정할 수 있다.
- [0034] 일 실시 예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서(110)는 상술한 제1 조건 및 제2 조건에 기반하여 PI 이득을 결정할 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 모터(130)를 구동하기 위한 제2 구동 제어 신호를 구동 회로(120)로 전송할 수 있다.
- [0035] 다양한 실시 예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서는 중앙 처리 장치(central processing unit, CPU), 마이크로 컨트롤 유닛(micro control unit, MCU), 마이크로 프로세서 유닛(micro processor unit, MPU) 등으로 구현될

수 있다.

- [0036] 일 실시 예에 따르면, 구동 회로(120)는 프로세서(110)의 제어에 따라 모터(130)를 구동시킬 수 있다. 일례로, 구동 회로(120)는 프로세서(110)로부터 초기 구동 테스트를 위한 제1 구동 제어 신호를 수신하면, 상기 수신된 제1 구동 제어 신호에 상응하는 비례 입력 신호를 생성하여 모터(130)를 구동시킬 수 있다. 다른 예로써, 구동 회로(120)는 프로세서(110)로부터 PI 이득에 기반하는 제2 구동 제어 신호를 수신하면, 상기 제2 구동 제어 신호에 따라 모터(130)를 구동시킬 수 있다. 일 실시 예에서, 구동 회로(120)는 상기 모터(130)의 구동에 따른 응답 신호를 수신하면, 상기 수신된 응답 신호를 데이터 저장부(140)로 전송할 수 있다.
- [0037] 일 실시 예에 따르면, 모터(130)는 구동 제어 신호에 따라 구동될 수 있다. 예를 들어, 모터(130)는 구동 회로(120)로부터 전송되는 제1 구동 제어 신호 또는 제2 구동 제어 신호에 따라 구동될 수 있다. 모터(130)는 제1 구동 제어 신호에 따라 구동되는 경우, PI 이득의 결정에 이용되는 응답 신호를 출력할 수 있다. 또는, 모터(130)는 제2 구동 제어 신호에 따라 구동되는 경우, 서보모터에 작용하는 외부 환경의 변화 및 부하 변동 등 다양한 요인에 적응적인 특성을 나타낼 수 있다.
- [0038] 다양한 실시 예에 따르면, 구동 회로(120) 및 모터(130)는 BLDC 서보모터로 구성될 수 있다. BLDC 서보모터는 구동 회로(120)를 이용하여 모터(130)로 하역금 목표 지령(예: 전류 지령 및/또는 속도 지령)에 상응하는 값을 출력하도록 비례 적분 입력을 생성할 수 있다. 종래에는 전류 제어기 및 속도 제어기 각각의 입출력이 제어 대상의 다양한 변수들과 연관되어 적절한 PI 이득을 결정할 수 없었다.
- [0039] 도 2는 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 스텝 응답과 주파수 응답의 관계를 도시한 도면이다. 일 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 스텝 지령에 대한 모터(120)의 시간 응답 곡선을 나타내는 제1 그래프(200a)로부터, 교류 주파수 입력에 대한 주파수-크기 곡선을 나타내는 제2 그래프(200b) 및 보드선도 주파수 응답의 주파수-위상 특성 곡선을 나타내는 제3 그래프(200c)를 확인할 수 있다.
- [0040] 도 2를 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 제1 구동 제어 신호에 따른 모터(130)의 응답 신호에서 상기 응답 신호의 정상 상태 값(201)을 확인할 수 있다. 서보모터 제어 시스템(100)은 정상 상태 값(201)에 대하여 지정된 지점(202)(예: 정상 상태 값(201)의 63%에 해당하는 지점)에 도달하기 위한 시간 정보(203)에 기반하여, 주파수 응답에서의 절점 주파수 정보(206) 및 직류 이득 정보(204)를 계산할 수 있다. 즉, 서보모터 제어 시스템(100)은 제1 구동 제어 신호에 따른 모터(130)의 시간 응답 데이터로부터 주파수 응답 데이터를 확인할 수 있다. 다양한 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 상기 시간 응답 데이터가 부정확한 경우, 구동 회로(120)를 이용하여 다양한 주파수의 교류 입력을 인가함으로써 복수의 주파수 응답 특징점들을 확인할 수 있다.
- [0041] 상기 전류 및 속도 제어계의 개루프 전달함수는 $G(s)=b/(s+a)$ 일 수 있다. 상기 전류 및 속도 제어계의 개루프 주파수 응답 함수는 $G(jw)=|G(jw)|\angle G(jw)=|M|\angle M_\theta$ 일 수 있다.
- [0042] 도 3은 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 개루프 주파수 응답 보드선도와 PI 제어기의 개루프 주파수 응답 보드선도를 도시한 도면이다. 일 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 전류 및 속도 제어계의 개루프 시스템 보드선도를 나타내는 제1 그래프(300a), 개루프 보드선도 주파수 응답의 주파수-위상 특성 곡선을 나타내는 제2 그래프(300b), PI 제어기의 개루프 시스템 크기 보드선도를 나타내는 제3 그래프(300c) 및 PI 제어기의 개루프 시스템 주파수-위상 특성 곡선을 나타내는 제4 그래프(300d)에 기반하여, PI 이득을 결정하기 위한 알고리즘을 수행할 수 있다.
- [0043] 도 3을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 제어 대상 계통(예: 모터(130))의 주파수 응답 특징점들(301, 302) 및 PI 제어기(예: 구동 회로(120))의 주파수 응답 특징점들(303, 304)에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제1 조건 및/또는 제2 조건을 설정할 수 있다.
- [0044] 일 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 제어 대상 계통의 절점 주파수(예: 주파수 응답 특징점(302)) 및 PI 제어기의 절점 주파수(예: 주파수 응답 특징점(304))를 지정된 범위(예: 두 주파수가 일치하도록 정렬되는 범위) 내에서 조정할 수 있다. 즉, 서보모터 제어 시스템(100)은 절점 주파수들(302, 304)의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제1 조건을 설정할 수 있다.
- [0045] 일 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 제어 대상 계통의 저주파 점근선(예: 주파수 응답 특징점(301)) 및 PI 제어기의 고주파 점근선(예: 주파수 응답 특징점(303))의 크기를 지정된 범위(예: 두 점근선의 크기가 일치하도록 정렬되는 범위) 내에서 조정할 수 있다. 서보모터 제어 시스템(100)은 점근선들(301, 303)의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제2 조건을 설정할 수 있다.

- [0046] 일 실시 예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서(110)는 상술한 제1 조건 및 제2 조건에 기반하여 PI 이득을 결정할 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 모터(130)를 구동하기 위한 제2 구동 제어 신호를 구동 회로(120)로 전송할 수 있다.
- [0047] 일 실시 예에서, 상기 전류 및 속도 제어계의 개루프 전달 함수(305)는 제1 그래프(300a) 상의 수식과 같이 규격화될 수 있다. 또한, 상기 PI 제어기의 개루프 전달 함수(308)는 제3 그래프(300c) 상의 수식과 같이 규격화될 수 있다.
- [0048] 제1 그래프(300a) 상에서, 제1 궤적(306)은 전류 및 속도 제어계의 실제 주파수 응답 크기 궤적을 나타내고, 제2 궤적(307)은 전류 및 속도 제어계의 근사적인 주파수 응답 궤적(예: 점근선 궤적)을 나타낼 수 있다.
- [0049] 제3 그래프(300c) 상에서, 제3 궤적(309)은 PI 제어기의 실제 주파수 응답 크기 궤적을 나타내고, 제4 궤적(310)은 PI 제어기의 근사적인 주파수 응답 궤적(예: 점근선 궤적)을 나타낼 수 있다.
- [0050] 도 4는 일 실시 예에 따른 전동기 전류 및 속도 제어계의 PI 제어기와 개루프 계통 통합 주파수 응답 보드선도를 도시한 도면이다. 일 실시 예에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 상술한 도 3의 점근선들(301, 303)의 정렬에 기반하여, 제1 그래프(400a), 제2 그래프(400b) 및 제3 그래프(400c)와 같은 특성을 나타내도록 할 수 있다.
- [0051] 제1 그래프(400a)는 전류 및 속도 제어계의 특징점 및 PI 제어기의 PI 이득을 정렬시키는 경우 제어계의 개루프 전달 함수와 PI 제어기의 전달 함수 간의 궤적이 분리된 크기 보드선도를 나타낼 수 있다.
- [0052] 제2 그래프(400b)는 전류 및 속도 제어계의 특징점 및 PI 제어기의 PI 이득을 정렬시키는 경우 제어계의 개루프 전달 함수와 PI 제어기의 전달 함수 간의 통합 위상 보드선도를 나타낼 수 있다.
- [0053] 제3 그래프(400c)는 전류 및 속도 제어 계의 특징점 및 PI 제어기의 PI 이득을 정렬시키는 경우 제어계의 개루프 전달 함수와 PI 제어기의 전달 함수 간의 궤적이 통합된 크기 보드선도를 나타낼 수 있다.
- [0054] 도 4를 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 전류 및 속도 제어계와 PI 제어기의 크기를 정렬함에 따라, 구동 회로(120)의 고주파 점근선의 크기 및 모터(130)의 저주파 점근선의 크기가 지정된 기울기(예: 20dB/dec) 및 지정된 위상 곡선(예: -90°)을 갖도록 단순화할 수 있다. 따라서, 서보모터 제어 시스템(100)은 제1 그래프(400a) 및 제3 그래프(400c)의 비교와 같이, 통합된 개루프 계통의 0dB 크기의 교점 주파수인 절점 주파수를 제어기 적용 전 절점 주파수 $W_c=a$ 에 비해 증가시키고 추가적인 $K_p=N*b/a$ 의 조절에 의하여 개선시킬 수 있다.
- [0055] 상기 PI 제어기의 크기 주파수 응답 함수는 $|G_{PI}(jw)|_{dB}$ 이고, 상기 전류 및 속도 개루프계의 크기 주파수 응답 함수는 $|G(jw)|_{dB}$ 일 수 있다.
- [0056] 제1 그래프(400a) 상에서, 제1 궤적(401)은 PI 제어기의 실제 주파수 응답 크기 궤적을 나타내고, 제2 궤적(402)은 전류 및 속도 개루프계의 실제 주파수 응답 크기 궤적을 나타낼 수 있다.
- [0057] 제1 그래프(400a) 상에서, 전류 및 속도 제어계의 직류 이득(예: 저주파 점근선 값)과 PI 제어기의 고주파 점근선 값은 수식(403)에 기반하여 일치(예: 크기 정렬)될 수 있다.
- [0058] 제1 그래프(400a) 상에서, 전류 및 속도 제어계의 절점 주파수(a)와 PI 제어기의 절점 주파수 값은 수식(404)에 기반하여 일치(예: 주파수 정렬)될 수 있다.
- [0059] 제1 그래프(400a) 상에서, 통합 전달 함수의 주파수에 따른 실제 위상 궤적은 -90° 일 수 있다.
- [0060] 제3 그래프(400c) 상에서, 제3 궤적(406)은 전류 및 속도 제어계의 특징점과 PI 제어기의 PI 이득을 정렬시킨 결과에 따른 합성 궤적(예: 궤적 사선화)을 나타낼 수 있다.
- [0061] 제3 그래프(400c) 상에서, 제4 궤적(407)은 PI 제어기의 비례 이득 값(K_p)을 (b/a)보다 N배 크게 설정한 결과에 따른 통합 궤적을 나타낼 수 있다.
- [0062] 제3 그래프(400c) 상에서, 전류 및 속도 제어계의 직류 이득(예: 저주파 점근선 값)과 PI 제어기의 고주파 점근선의 값은 수식(408)에 기반하여 일치(예: 크기 정렬)될 수 있다.
- [0063] 제3 그래프(400c) 상에서, 제1 지점(409)은 전류 및 속도 제어계의 절점 주파수($W_c=a$)와 PI 제어기의 절점 주파수($W_{pic}=K_i/K_p$)를 일치시킨 결과에 따른 두 궤적의 연결점일 수 있다.

- [0064] 제3 그래프(400c) 상에서, 제2 지점(410)은 PI 제어기의 비례 이득 값(K_p)을 (b/a) 보다 N 배 크게 설정한 결과에 따른 PI 제어기의 고주파 점근선의 크기를 나타내는 지점일 수 있다.
- [0065] 제3 그래프(400c) 상에서, 제3 지점(411)은 전류 및 속도 제어계의 특징점(a, b)과 PI 제어기의 PI 이득을 정렬시킨 결과에 따른 통합 궤적의 변화된 절점 주파수를 나타내는 지점일 수 있다.
- [0066] 도 5는 일 실시 예에 따른 PI 이득을 자동 조절하는 서보모터 제어 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0067] 단계 S510을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 구동 회로(120)를 통해 모터(130)로 제1 구동 제어 신호를 전송할 수 있다. 상기 제1 구동 제어 신호는 모터(130)의 초기 구동 테스트를 위한 상수 스텝 전류 지령 또는 속도 지령 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0068] 단계 S520을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 구동 회로(120)를 통해 모터(130)로부터 상기 제1 구동 제어 신호에 따른 응답 신호를 수신할 수 있다. 상기 응답 신호는 시간 응답 데이터를 포함할 수 있다.
- [0069] 단계 S530을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 수신된 응답 신호에 기반하여 구동 회로(120)의 제1 주파수 응답 특징점 및 모터(130)의 제2 주파수 응답 특징점을 확인할 수 있다.
- [0070] 단계 S540을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 상기 송수신된 다양한 데이터들에 기반하여 전류 및 속도 PI 이득을 결정할 수 있다.
- [0071] 단계 S540에서, 예컨대 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여 구동 회로(120)의 제1 절점 주파수 및 모터(130)의 제2 절점 주파수를 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 절점 주파수들의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제1 조건을 설정할 수 있다.
- [0072] 단계 S540에서, 예컨대 적어도 하나의 프로세서(110)는 상기 제1 주파수 응답 특징점 및 상기 제2 주파수 응답 특징점에 기반하여 구동 회로(120)의 고주파 점근선의 크기 및 모터(130)의 저주파 점근선의 크기를 지정된 범위 내에서 조정할 수 있다. 적어도 하나의 프로세서(110)는 점근선들의 정렬에 기반하여, PI 이득을 조절하기 위한 제2 조건을 설정할 수 있다.
- [0073] 단계 S540에서, 서보모터 제어 시스템(100)은 상술한 제1 조건 및 제2 조건에 기반하여 PI 이득을 결정할 수 있다.
- [0074] 단계 S550을 참조하면, 서보모터 제어 시스템(100)은 상기 결정된 PI 이득에 기반하여 모터(130)를 구동하기 위한 제2 구동 제어 신호를 구동 회로(120)를 통해 상기 모터(130)로 전송할 수 있다.
- [0075] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 다양한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

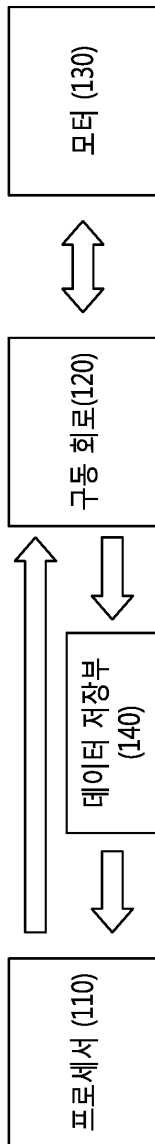
부호의 설명

- [0076] 100: 서보모터 제어 시스템
 110: 프로세서
 120: 구동 회로
 130: 모터
 140: 데이터 저장부

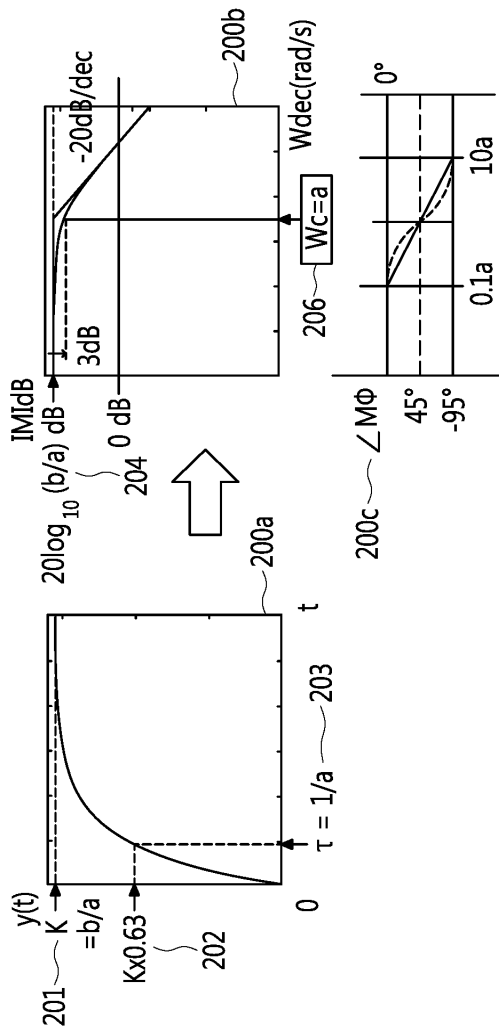
도면

도면1

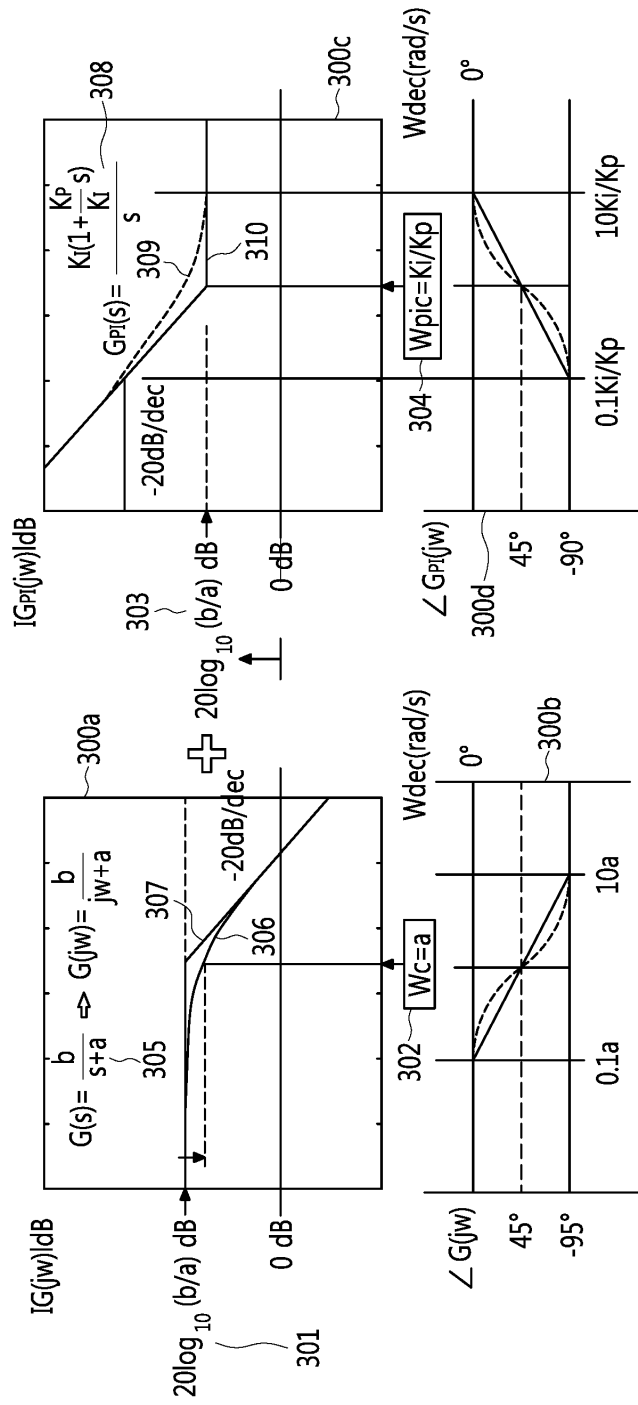
100



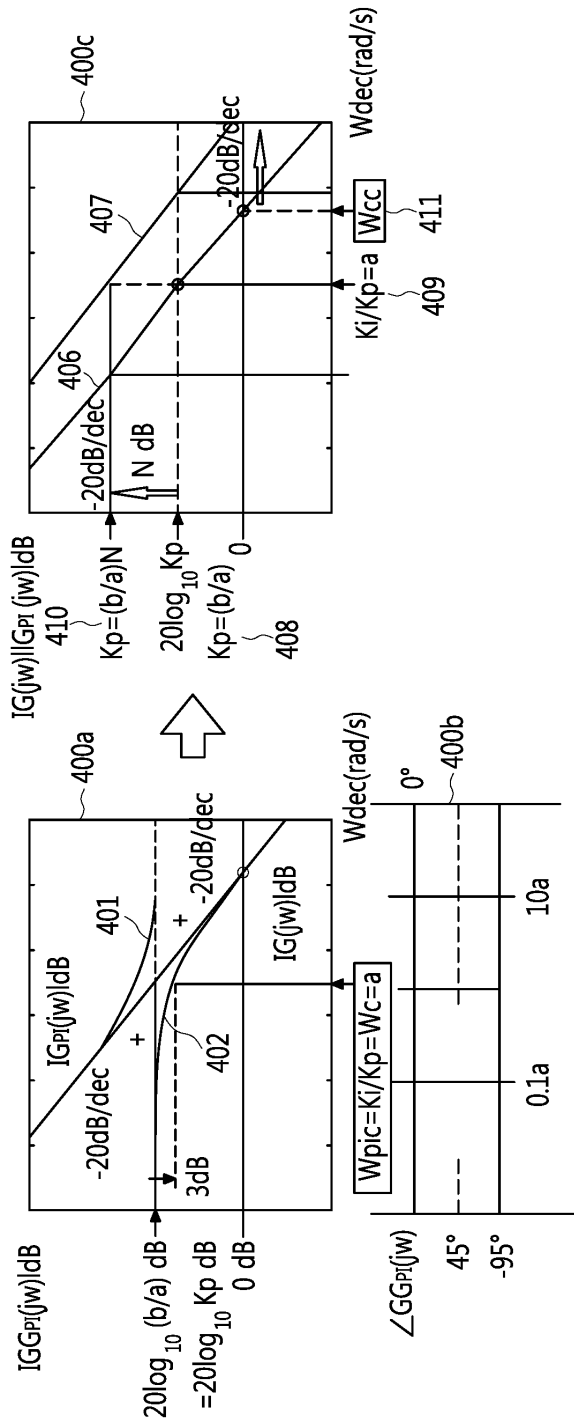
도면2



도면3



도면4



도면5

