



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0174568
(43) 공개일자 2023년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 23/00 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H02P 23/0004 (2013.01)
H02P 23/0018 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0075668
(22) 출원일자 2022년06월21일
심사청구일자 2022년06월21일

(71) 출원인
주식회사 더파워랩스
경상남도 진주시 진주대로 501 ,
창업보육센터26-C동210호(가좌동, 경상대학교)
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
정세교
경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5, 105동 120
1호 (가좌동, 가좌제일풍경채)
(74) 대리인
김중선

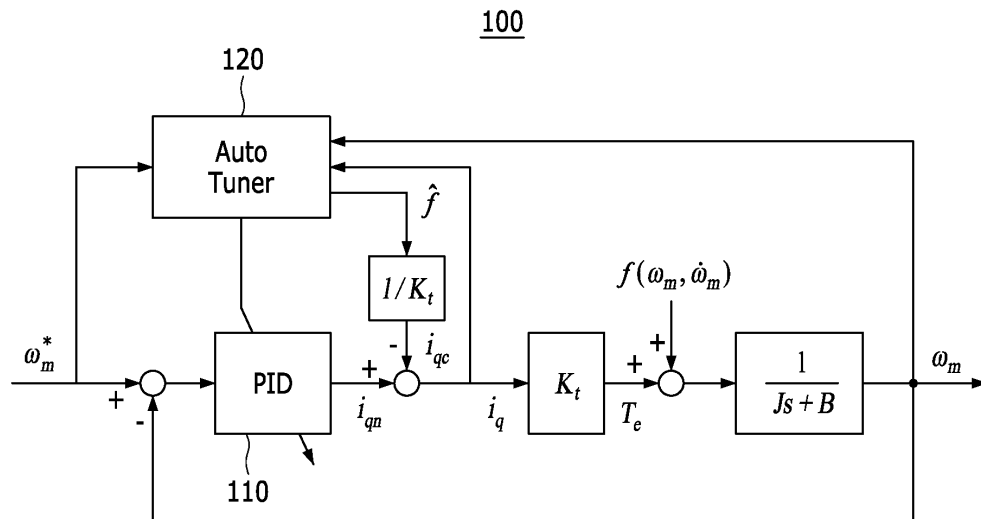
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 제어기 성능 최적화를 위한 모터 구동장치 및 그 자동튜닝 방법

(57) 요약

본 발명은 제어기 성능 최적화를 위한 모터 구동장치 및 그 자동튜닝 방법을 제안한다. 본 발명의 모터 구동장치는, 모터 속도를 제어하는 제어기와 상기 제어기의 이득 조절을 튜닝하는 자동 튜너(Auto Tuner)를 포함하고 있다. 그리고 상기 자동 튜너는, 모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력으로 하여 모터의 부하 토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하는 외란 추정기와, 상기 외란 추정기가 추정한 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$), 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 출력하는 PID 이득 조정기를 포함한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425154895
과제번호	S3071851
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	창업성장기술개발(일반, R&D)
연구과제명	AGV용 지능형 모터 드라이브 모듈 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	주식회사 더파워랩스
연구기간	2021.06.23 ~ 2022.06.22

명세서

청구범위

청구항 1

모터 속도를 제어하는 제어기; 및

상기 제어기의 이득 조절을 튜닝하는 자동 튜너(Auto Tuner)를 포함하고,

상기 자동 튜너는,

모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력으로 하여 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하는 외란 추정기와,

상기 외란 추정기가 추정한 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$), 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 출력하는 PID 이득 조정기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는, 모터 구동 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제어기는 비례-적분-미분(PID) 제어기인, 모터 구동 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 외란 추정기 및 PID 이득 조정기는,

강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 사용하여 사전에 학습된 모델로 동작하는, 모터 구동 장치.

청구항 4

외란 추정기가 모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력으로 하여 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하는 단계; 및

PID 이득 조정기가 상기 추정된 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)과, 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 PID 제어기로 출력하는 단계를 포함하여 수행되는, 모터 구동 장치의 자동 튜닝 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 PID 제어기가 상기 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 이용하여 비례이득 K_P , 적분이득 K_I , 미분이득 K_D 값을 조정하는, 모터 구동 장치의 자동 튜닝 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 외란 추정기 및 PID 이득 조정기는,

강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 이용하여 외란 추정 및 PID 이득 조정을 학습하는, 모터 구동 장치의 자동 튜닝 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 AGV(Automated Guided Vehicle), 자동화 장비 등에 사용되는 모터 구동장치의 제어기 성능 최적화를 위한 모터 구동장치 및 자동튜닝 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] AGV 등의 이동로봇이나 자동화 장비 등은 정밀한 속도 및 위치 제어 성능이 필요하다. 그러나 이동로봇이 주행 하는 주행 면의 상태, 탑재중량, 관성, 온도 및 습도 등과 같은 다양한 외란(Disturbance)에 따라 제어성능은 크게 변화할 수 있다.

[0003] 그래서 모터 구동장치 제어기의 정밀한 튜닝이 필요하나, 시스템의 비선형성, 외부 환경 변화에 대한 파라미터 변동 등에 충분하게 대처하기가 어려웠다. 결과적으로 모터 구동을 정밀하게 제어할 수 없어 모터 구동장치의 제어 성능을 개선할 수 없는 문제가 초래되었다.

[0004] 모터 제어기의 튜닝과 관련된 선행문헌으로 한국등록특허 10-2382047호가 제안된 바 있다. 다만 선행문헌은 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 이용하여, 모터 튜닝을 자율적으로 수행하는 방법만이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-2382047호(2022. 03. 29)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, AI 기법 중 하나 중 강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 활용하여 제어기의 정밀한 튜닝이 가능하도록 한 모터 구동장치 및 그의 자동 튜닝 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 모터 구동 장치는, 모터 속도를 제어하는 제어기; 및 상기 제어기의 이득 조정을 튜닝하는 자동 튜너(Auto Tuner)를 포함하고, 상기 자동 튜너는, 모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력으로 하여 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하는 외란 추정기와, 상기 외란 추정기가 추정한 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$), 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 출력하는 PID 이득 조정기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 제어기는 비례-적분-미분(PID) 제어기일 수 있다.

[0010] 상기 외란 추정기 및 PID 이득 조정기는, 강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 사용하여 사전에 학습된 모델로 동작한다.

[0011] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 모터 구동 장치의 튜닝 방법은, 외란 추정기가 모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력으로 하여 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하는 단계; 및 PID 이득 조정기가 상기 추정된 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)과, 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 PID 제어기로 출력하는 단계를 포함하여 수행된다.

[0012] 상기 PID 제어기가 상기 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 이용하여 비례이득 K_P , 적분이득 K_I , 미분이득 K_D 값을 조정한다.

[0013] 상기 외란 추정기 및 PID 이득 조정기는, 강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 이용하여 외란 추정 및 PID 이득 조정을 학습한다.

발명의 효과

[0014] 이와 같은 본 발명에 따르면, 모터 구동 장치의 외란 값을 강화학습을 이용하여 실시간 추정하고, 추정된 외란 값을 포함하여 PID 제어기의 이득 조정 값을 제공하도록 튜닝과정이 수행됨으로써, 실질적으로 모터 구동 장치의 제어기 성능을 최적화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명을 설명하기 위한 모터 구동 장치의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 모터 구동 장치를 나타낸 구성도이다.

도 3은 도 2의 자동 튜너의 내부 구성도이다.

도 4는 도 3의 외란 추정기의 구성도이다.

도 5는 도 3의 PID 이득 조정기의 구성도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0017] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0018] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 본 발명에서 사용되는 “부” 또는 “부분” 등의 일부분을 나타내는 표현은 해당 구성요소가 특정 기능을 포함할 수 있는 장치, 특정 기능을 포함할 수 있는 소프트웨어, 또는 특정 기능을 포함할 수 있는 장치 및 소프트웨어의 결합을 나타낼 수 있음을 의미하나, 꼭 표현된 기능에 한정된다고 할 수는 없으며, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0020] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라

이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

[0021] 이하에서는 도면에 도시한 실시 예에 기초하면서 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다.

[0023] 도 1은 본 발명을 설명하기 위한 모터 구동 장치의 구성도이다.

[0024] 도 1에 도시한 바와 같이, 모터 구동 장치(Motor Drive)(10)는 모터(12)에 전력을 공급하는 전력단(Power stage)(20)과, 모터(12)의 속도 또는 위치를 제어하기 위한 제어기(30)를 포함한다. 실시 예에서 모터(12)는 직류전동기, 브러쉬리스 직류(BLDC) 전동기, 영구자석 동기 전동기 일수 있으나, 이외 다른 전동기도 얼마든지 가능하다.

[0025] 그리고 모터(12)의 전류와 전압을 측정하여 제어기에 제공하는 전류센서 및 전압센서, 모터의 위치와 속도 정보를 측정하여 제어기에 제공하는 위치센서가 더 포함된다. 위치센서는 광학 엔코더, 홀 센서(Hall sensor), 레졸버(Resolver) 등을 사용할 수 있고, 속도정보는 위치센서가 측정한 위치정보를 통해 계산되어 제공된다.

[0026] 도 1에서 보듯이 제어기(30)에는 자동 튜너(auto tuner)(40)가 연결된다. 자동 튜너는 부하에 따라 모터가 최적 조건으로 구동될 수 있도록 제어기를 튜닝하는 기능을 제공한다. 자동 튜너(40)는 자동 튜닝을 위한 알고리즘 등이 탑재된다.

[0027] 모터(12)에 의해 구동되는 부하는 다양한 형태일 수 있다. 따라서 이러한 부하가 구비된 각각의 시스템은 관성 모멘트, 점성마찰계수, 부하토크 등이 모두 다르기 때문에, 모터 구동 장치(10)의 최적 성능을 제공하기 위해서는 적절한 튜닝과정이 필요하다. 종래에 튜닝과정은 다양한 경험적인 지식, 작업자의 숙련도에 따라 튜닝 시간 등이 다르게 설정되었고 그 결과 제어성능에 차이가 존재하였다.

[0028] 그래서 기존에도 도 1에 도시한 바와 같이 모터 제어기(30)에 자동 튜너(40)를 적용하여 자동 튜닝 기능을 활용하고 있지만, 시스템의 비선형성 및 외부 환경 변화에 대한 파라미터 변동 등에 완전히 대처하는 것이 쉽지 않았다.

[0030] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 모터 구동 장치를 나타낸 구성도이다.

[0031] 도 2에 도시한 바와 같이, 모터 구동 장치(100)는 모터 구동을 제어하기 위한 제어기(110)를 포함한다. 실시 예에서 제어기(110)는 비례-적분-미분(PID) 제어기가 사용될 수 있고, 이하에서는 PID 제어기(110)로 부르기로 한다.

[0032] 그리고 모터 구동 장치(100)는, PID 제어기(110)의 이득 값이나 외란 추정 값 등을 계산하는 자동 튜너(Auto Tuner)(120)를 포함한다. 자동 튜너(120)는 컴퓨터장치로 구현할 수 있고, PID 제어기(110)와 물리적이거나 논리적으로 결합 및 분리가 가능한 구조이다. 자동 튜닝이 필요한 경우 연결하여 사용하고, 자동 튜닝 작업이 완료되면 이를 분리하여 제거할 수 있다. 자동 튜너(120)의 내부 구성을 아래에서 설명한다.

[0033] 일반적으로 모터는 기계적으로 관성모멘트(J), 점성마찰계수(B), 부하토크(T_e) 또는 외란(f)으로 나타낼 수 있으며, 자동 튜너(120)는 모터와 모터 구동 장치(100)에서 측정된 각종 변수 값들을 제공받아 PID 제어기(110)의 이득 값이나 외란 추정 값들을 계산하고 제공하는 역할을 수행한다.

[0034] 그리고 모터 구동 장치(100)에서 각종 데이터들은 양방향 통신 케이블을 통해 전송되며, 양방향 통신은 예를 들면 USB, RS-232, RS-485, CAN, 이더넷(EtherCAT) 등의 표준 통신 프로토콜이 사용될 수 있다.

[0035] 도 2에서 PID 제어기(110)의 제어입력 전류(i_m)와 자동 튜너(120)의 외란 추정기에 의한 보상 전류(i_α)를 이용하여 계산된 모터의 토크 성분 전류(i_q)에 따라 모터의 토크 상수(K_t)가 계산되고, 상기 토크 상수(K_t)에 따른 부하토크(T_e)와 외란(f), 관성모멘트(J) 및 점성마찰계수(B)를 적용하여 모터 속도(ω_m)가 결정된다. 그리고 결정된 모터 속도(ω_m) 값에 따라 모터 구동 장치(100)의 제어기는 모터 운전을 제어하게 된다.

[0036] 여기서 상기 보상 전류(i_α)는 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)과, 모터의 토크 상수($1/K_t$) 이용하여 계산된다.

상기 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)은 PID 제어기(110)의 외란 보상에 사용될 수 있다. 그리고 ω_m^* 는 모터의 속도 명령 값이다.

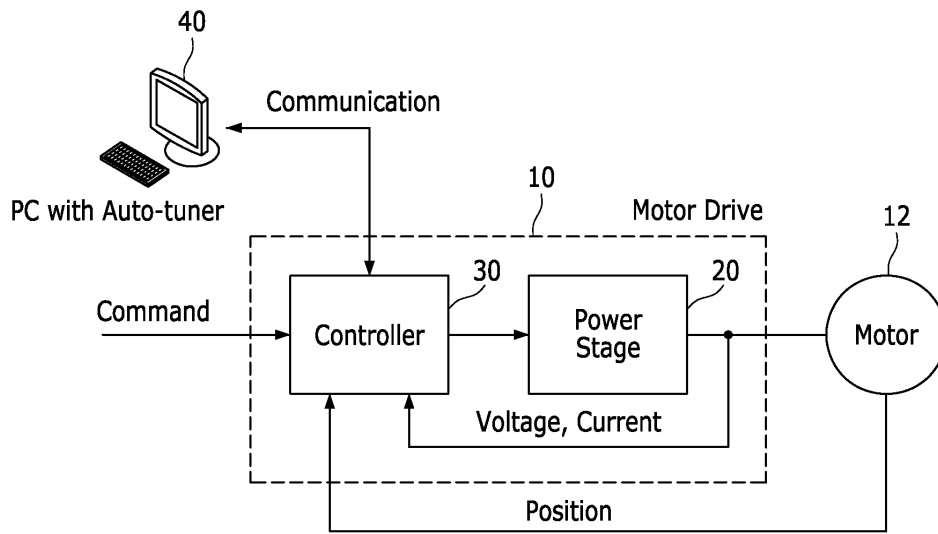
- [0038] 도 3은 도 2의 자동 튜너의 내부 구성도, 도 4는 도 3의 외란 추정기의 구성도, 도 5는 도 3의 PID 이득 조정기의 구성도이다.
- [0039] 도 3에 도시한 바와 같이, 자동 튜너(120)는 외란 추정기(Disturbance Estimator)(122)와 PID 이득 조정기(Gain Tuner)(124)를 포함한다.
- [0040] 도 3과 도 4를 함께 참조하면 외란 추정기(122)는, 모터 속도(ω_m)와 모터의 토크 성분 전류(i_q) 정보를 입력받아 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)를 추정하고, 추정된 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$)을 PID 이득 조정기(124)로 전달하는 역할을 한다.
- [0041] 실시 예에서 외란 추정기(122)는 AI 기법 중 하나인 강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 이용하며, 자동 튜닝이 완료된 후에는 모터 구동 장치(100)의 제어기에 탑재되어 PID 제어기(110)의 외란 보상에 사용된다.
- [0043] 도 3과 도 5를 함께 참조하면, PID 이득 조정기(124)는 외란 추정기(122)가 추정한 모터의 부하토크 또는 외란 추정값($\hat{f}$), 모터의 토크 성분 전류(i_q), 모터 속도(ω_m), 모터의 속도 명령(ω_m^*)을 입력으로 하여 이득 조정 값 ΔK_P , ΔK_I , 그리고 ΔK_D 을 출력한다. 이를 이용하면 비례이득 K_P , 적분이득 K_I , 미분이득 K_D 값을 조정할 수 있고, 따라 모터 구동 장치(100)의 제어기에 최적의 응답특성을 제공할 수 있다.
- [0044] 실시 예에서 PID 이득 조정기(124)는 AI 기법 중 하나인 강화학습(Reinforcement Learning) 기법을 이용하며, 자동 튜닝이 완료된 다음에는 제어기에서 분리된다.
- [0045] 이와 같이 본 발명은 모터 구동 장치(100)의 외란 값을 강화학습을 이용하여 실시간 추정하고, 추정된 외란 값을 포함하여 PID 제어기(110)의 이득 조정 값을 제공하도록 튜닝과정이 수행되기 때문에, 실질적으로 모터 구동 장치의 제어기 성능을 최적화할 수 있음을 알 수 있다.
- [0047] 이상과 같이 본 발명의 실시 예는 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 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

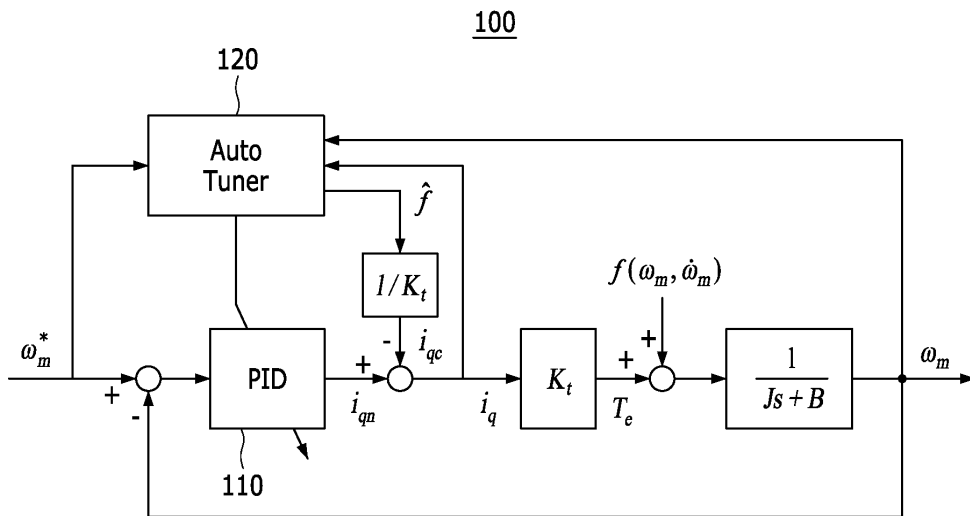
- [0048] 100: 모터 구동 제어기
110: PID 제어기
120: 자동 튜너
122: 외란 추정기
124: PID 이득 조정기

도면

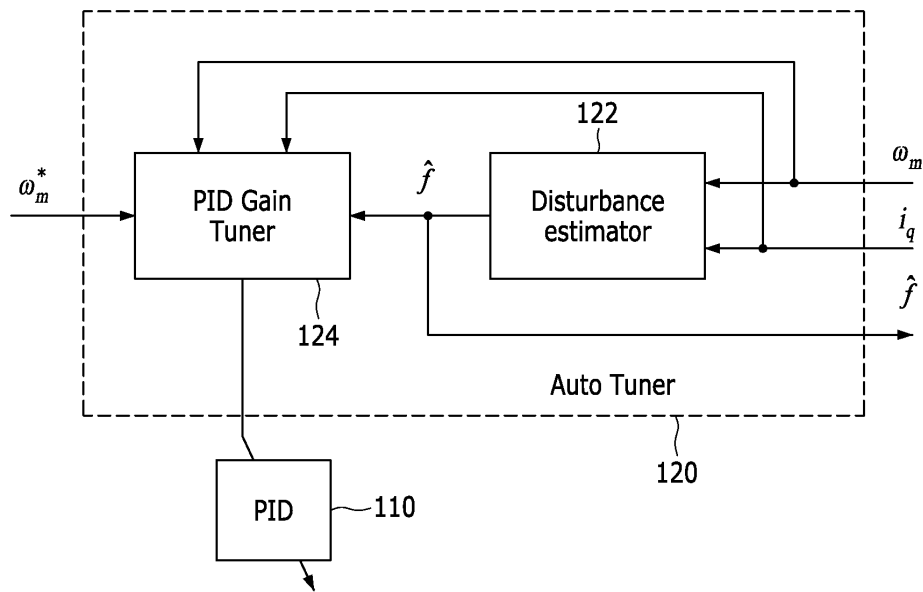
도면1



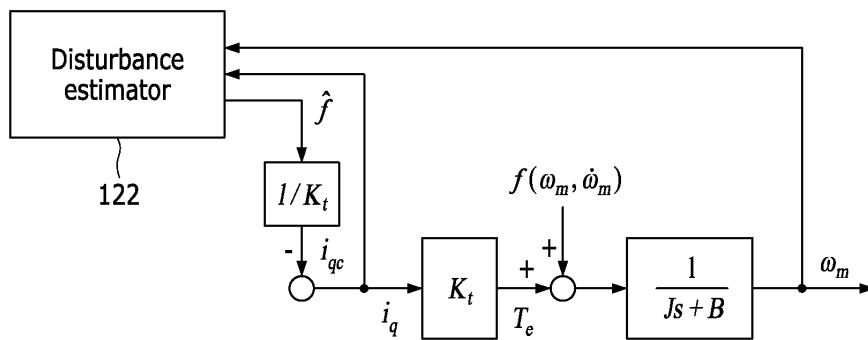
도면2



도면3



도면4



도면5

