(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0079439
(43) 공개일자 2008년09월01일

(51) Int. Cl.
H02P 21/00 (2006.01) *H02P 21/14* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0019579
(22) 출원일자 2007년02월27일
심사청구일자 2007년02월27일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
김영석
경기 부천시 원미구 중동 신도시 6-3블록 중흥마을 극동APT 609동1101호
강형석
인천 남구 용현4동 인하대학교 하이테크 628호 전력전자 연구실
(74) 대리인
이은철

전체 청구항 수 : 총 8 항

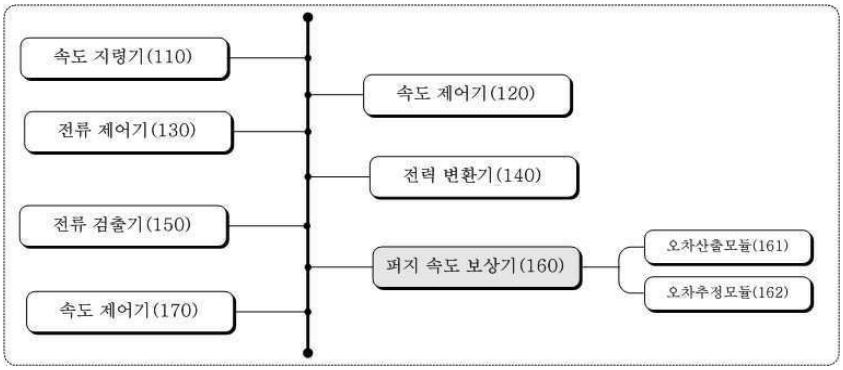
(54) 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치 및 그 방법

(57) 요 약

본 발명 PI 이득을 갖는 제어기와 퍼지 속도 보상기를 병행하여 사용함으로써, 특히 외란과 파라미터 변화에 따른 지령속도를 빠르게 추정하여 속도 센세리스 제어를 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

이러한 특징적인 목적을 달성하기 위한 본 발명의 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치는 지령속도와 추정속도의 오차를 비교하여 그사이에 발생하는 오차를 산출한 후, 속도추정오차를 최소화하면서 속도의 변화 또는 부하의 변하에 대응하는 퍼지 속도 보상기와, 전류 검출기에서 검출한 전류를 이용하여 IPMSM 회전자의 속도와 위치를 추정함으로써, 추정속도를 지령속도와 비교한 후, 실제전류와 비교하여 전압방정식에 의해서 전압값으로 변화되고, SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM으로 인가하고, 추정위치를 전류 제어기로 제공하는 퍼지 제어기를 포함한다.

대표도 - 도2b



특허청구의 범위

청구항 1

사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도를 출력하는 속도 지령기(110)와, 상기 속도 지령기에서 출력되는 지령속도를 추종하도록 전류 지령치를 출력하는 속도 제어기(120)와, 상기 속도 제어기에서 출력되는 전류 지령치를 추종하도록 전압을 출력하는 전류 제어기(130)와, 상기 전류 제어기에서 출력되는 전압을 3상 교류전원으로 변환시켜 매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor; IPMSM)로 공급하는 전력변환기(140)와, 상기 IPMSM에 흐르는 전류를 감지하는 전류 검출기(150)로 이루어진 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치(100)에 있어서,

상기 전동기 제어장치(100)는,

지령속도와 추정속도의 오차를 비교하여 그사이에 발생하는 오차를 산출한 후, 속도추정오차를 최소화하면서 속도의 변화 또는 부하의 변하에 대응하는 퍼지 속도 보상기(160); 및

상기 전류 검출기에서 검출한 전류를 이용하여 상기 IPMSM 회전자의 속도와 위치를 추정함으로써, 추정속도를 지령속도와 비교한 후, 실제전류와 비교하여 전압방정식에 의해서 전압값으로 변화되고, SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM으로 인가하고, 추정위치를 상기 전류 제어기로 제공하는 퍼지 제어기(170); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 퍼지 속도 보상기(160)는,

상기 IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하고, 상기 IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출한 후, 상기 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하여 속도오차를 산출하는 오차산출모듈(161); 및

상기 속도오차가 0값으로 수렴하지 않으면 이를 보상하기 위해 상수 값을 설정한 후, 보상값 C를 획득하여 전류오차가 0으로 수렴하도록 하여 역기전력을 최소화하는 오차추정모듈(162); 을 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 퍼지 속도 보상기(160)는,

극배치 기법(Pole Placement)을 이용하여 속도추정오차를 최소화하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치.

청구항 4

퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법에 있어서,

(a) 속도 제어기(120)에서 전달된 전류 지령치와 전류 검출기(150)를 통해 검출한 IPMSM의 실제전류 간의 추정속도오차를 산출하는 단계;

(b) 상기 추정속도오차가 0으로 수렴하는지 여부를 판별하는 단계;

(c) 상기 제 (b) 단계의 판단결과 '속도오차≠0'인 경우 상기 추정속도오차를 보상하는 단계; 및

(d) 상기 보상된 추정속도오차를 이용하여 추정속도를 산출하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법.

청구항 5

상기 제 4 항에 있어서,

상기 제 (a) 단계는,

IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하는 단계;

상기 IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출하는 단계;

사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하는 단계; 및

상기 추정속도오차를 획득하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 제 (a) 단계 이후에,

상기 산출된 추정속도오차를 확인하는 단계; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 제 (c) 단계는,

(c-1) 상기 추정속도오차에 따른 상수 값(k_1 및 k_2)을 설정하는 단계;

(c-2) 상기 상수 값에 따른 보상값(C)을 획득하는 단계;

(c-3) 전류오차의 값이 0으로 수렴하는지 여부를 판별하는 단계;

(c-4) 상기 제 (c-3) 단계의 판단결과 '전류오차=0'인 경우에 역기전력을 최소화하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 제 (d) 단계 이후에,

회전자 좌표계에서 고정자 좌표계로 변환된 뒤 q축 지령전압을 SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM에 인가하는 단계; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<16> 본 발명은 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치에 관한 것으로서 더욱 구체적으로 전동기의 위치 또는 속도 센세리스 제어에서 외란 및 전동기의 속도 변화에 따른 성능 저하에 퍼지 속도 보상기를 사용함으로써, 전동기의 전압 방정식만을 통해 가변 부하시 및 파라미터의 변화에 대해 지령속도를 빠르게 추정할 수 있는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치 및 그 방법에 관한 것이다.

<17> 이에 대하여, 속도제어기로서 퍼지 제어기를 사용하여 전동기의 속도를 제어하는 제어 시스템과 관련된 기술은 대한민국 특허 공개(제2003-0071441호, 유도전동기의 효율 최적화를 위한 제어시스템과 방법)(이하, "선행발명"이라 한다)를 포함하여 다수 출원 및 등록된 상태이다.

<18> 상술한 선행발명은 도 1에 도시된 바와 같이, 속도설정부(1)와, 속도제어기(2;SC)와, 리미터(3)와, 벡터연산부(4)와, 정류기(5)와, 인버터(6) 및 속도측정센서(7; PLG)를 구비한 PI 제어기에 있어서, 속도제어기(2)는 퍼지 제어기(11)로 교체하고 효율 최적화 제어기(12)와, 토크보상기(13)와, 입력계산부(14)를 병렬로 연결하여 구성

된다.

<19> 이때, 전동기 파리미터의 계측시 발생하는 오차 및 구동시 전류 혹은 입력전압 검출에서 오차에 따른 속도추정 오차가 존재할 때, 이 속도추정오차를 최소화하기 위해 속도의 변화나 부하의 변화에 능동적으로 빠르게 대처할 수 없는 문제점도 있었다.

<20> 그리고, 상기 선행발명은 각각의 구성이 병렬로만 연결되어야만 하는 구조적인 제약이 있었다.

<21> 한편, 전동기의 운동방정식을 사용함으로써 전동기의 속도나 위치를 측정하는데 어려움이 뒤따른다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<22> 본 발명은 전술한 문제점들을 해결하기 위해 창안된 것으로서, PI 이득을 갖는 제어기와 퍼지 속도 보상기를 병행하여 사용함으로써, 외란과 파라미터 변화에 따른 지령속도를 빠르게 추정하여 속도 센세리스 제어를 할 수 있는 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치 및 그 방법에 관한 것이다.

<23> 이와 같은 특징적인 기술적 사상을 구현하기 위한 본 발명은 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도를 출력하는 속도 지령기(110)와, 상기 속도 지령기에서 출력되는 지령속도를 추종하도록 전류 지령치를 출력하는 속도 제어기(120)와, 상기 속도 제어기에서 출력되는 전류 지령치를 추종하도록 전압을 출력하는 전류 제어기(130)와, 상기 전류 제어기에서 출력되는 전압을 3상 교류전원으로 변환시켜 매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor; IPMSM)로 공급하는 전력 변환기(140)와, 상기 IPMSM에 흐르는 전류를 감지하는 전류 검출기(150)와, 지령속도와 추정속도의 오차를 비교하여 그사이에 발생하는 오차를 산출한 후, 속도추정오차를 최소화하면서 속도의 변화 또는 부하의 변하에 대응하는 퍼지 속도 보상기(160)와, 상기 전류 검출기에서 검출한 전류를 이용하여 상기 IPMSM 회전자의 속도와 위치를 추정함으로써, 추정속도를 지령속도와 비교한 후, 실제전류와 비교하여 전압방정식에 의해서 전압값으로 변화되고, SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM으로 인가하고, 추정위치를 상기 전류 제어기로 제공하는 퍼지 제어기(170)로 구성된다.

<24> 이때, 상기 퍼지 속도 보상기(160)는, 상기 IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하고, 상기 IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출한 후, 상기 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하여 속도오차를 산출하는 오차산출모듈(161)과, 상기 속도오차가 0값으로 수렴하지 않으면 이를 보상하기 위해 상수 값을 설정한 후, 보상값 C를 획득하여 전류오차가 0으로 수렴하도록 하여 역기전력을 최소화하는 오차추정모듈(162)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

<25> 그리고 바람직하게 상기 퍼지 속도 보상기(160)는, 극배치 기법(Pole Placement)을 이용하여 속도추정오차를 최소화하는 것을 특징으로 한다.

<26> 한편, 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법에 있어서, (a) 속도 제어기(120)에서 전달된 전류 지령치와 전류 검출기(150)를 통해 검출한 IPMSM의 실제전류 간의 추정속도오차를 산출하는 단계; (b) 상기 추정속도오차가 0으로 수렴하는지 여부를 판별하는 단계; (c) 상기 제 (b) 단계의 판단결과 '속도오차≠0'인 경우 상기 추정속도오차를 보상하는 단계; (d) 상기 보상된 추정속도오차를 이용하여 추정속도를 산출하는 단계; 및 (e) 회전자 좌표계에서 고정자 좌표계로 변환된 뒤 q축 지령전압을 SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM에 인가하는 단계; 를 포함한다.

<27> 바람직하게 상기 제 (a) 단계는, IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하는 단계; 상기 IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출하는 단계; 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하는 단계; 및 상기 추정속도오차를 획득하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<28> 그리고 바람직하게 상기 제 (c) 단계는, (c-1) 상기 추정속도오차에 따른 상수 값(k_1 및 k_2)을 설정하는 단계; (c-2) 상기 상수 값에 따른 보상값(C)을 획득하는 단계; (c-3) 전류오차의 값이 0으로 수렴하는지 여부를 판별하는 단계; (c-4) 상기 제 (c-3) 단계의 판단결과 '전류오차=0'인 경우에 역기전력을 최소화하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

<29> 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.

<30> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치(이하, '제어장치'라 함.)(100)에 대하여 도 2a 및 도 2b를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

<31> 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치를 나타내는 구성도이고, 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치를 나타내는 블럭도이다.

<32> 우선, 도 2a 및 도 2b를 참고하여 전동기 제어장치를 살펴보면, 제어장치(100)는 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도를 출력하는 속도 지령기(110)와, 속도 지령기(110)에서 출력되는 지령속도를 추종하도록 전류 지령치를 출력하는 속도 제어기(120)와, 속도 제어기(120)에서 출력되는 전류 지령치를 추종하도록 전압을 출력하는 전류 제어기(130)와, 전류 제어기(130)에서 출력되는 전압을 3상 교류전원으로 변환시켜 매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)(이하, IPMSM 이라 함.)로 공급하는 전력변환기(140)와, IPMSM에 흐르는 전류를 감지하는 전류 검출기(150)와, 지령속도와 추정속도의 오차를 비교하여 그사이에 발생하는 오차를 산출한 후, 속도추정오차를 최소화하면서 속도의 변화 또는 부하의 변하에 대응하는 퍼지 속도 보상기(160)와, 전류 검출기(150)에서 검출한 전류를 이용하여 IPMSM 회전자의 속도와 위치를 추정함으로써, 추정속도를 지령속도와 비교한 후, 실제전류와 비교하여 전압방정식에 의해서 전압값으로 변화되고, SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM으로 인가하고, 추정위치를 전류 제어기(130)로 제공하는 퍼지 제어기(170)를 포함한다.

<33> 구체적으로, 퍼지 속도 보상기(160)는 지령속도와 추정속도의 오차를 비교하여 그사이에 발생하는 오차를 산출하는 오차산출모듈(161)과, 속도추정오차를 최소화하면서 속도의 변화 또는 부하의 변하에 대응할 수 있도록 하는 오차추정모듈(162)을 포함한다.

<34> 오차산출모듈(161)은 IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하고, IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출한 후, 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하여, 속도오차를 산출한다.

<35> 오차추정모듈(162)은 속도오차가 0값으로 수렴하지 않으면 그를 보상하기 위해 상수 값을 설정한 후, 보상값 C를 획득하여 전류오차가 0으로 수렴하도록 함으로써, 역기전력을 최소화한다.

<36> 이때, 본 실시예에 있어서 퍼지 속도 보상기(160)는 극배치 기법(Pole Placement)을 이용하여 속도추정오차를 최소화한다.

<37> 또한, 퍼지 제어기(170)는 IPMSM의 센서리스 제어에서 PI(Proportional-Integral)이득을 갖는 것이 바람직하다.

<38> 한편, 제어장치(100)는 퍼지 속도 보상기(160)와 퍼지 제어기(170)를 병행하여 사용함으로써, 외란과 파라미터 변화에 대한 속도 제어 시스템의 둔감으로부터 지령속도의 빠른 추정과 안정성을 확보할 수 있다.

<39> 다시 말하면, IPMSM 파라미터 계측시 발생하는 오차 및 구동시 전류 혹은 입력전압 검출에서 발생하는 오차로 인해, 속도추정오차가 존재하며 이를 최소화하기 위해 속도의 변화나 부하의 변화에 능동적으로 빠르게 대처할 수 있는 퍼지 제어기(170)를 속도 보상기로 사용한다.

<40> 이하, 상기한 본 발명의 기술적 사상을 다수의 수학식을 기반으로 살펴본다.

<41> 우선, 상술한 IPMSM의 고정자 좌표계(α-β)에 따른 기본적인 전압방정식을 살펴보면 다음의 수학식 1과 같다.

수학식 1

<42>
$$\dot{i}_\alpha = \frac{R}{L_d} i_\alpha - \frac{\omega(L_d - L_q)}{L_d} i_\beta + \frac{\sin\theta K_E \omega}{L_d} + \frac{v_\alpha}{L_d}$$

<43>
$$\dot{i}_\beta = \frac{R}{L_q} i_\beta - \frac{\omega(L_d - L_q)}{L_q} i_\alpha + \frac{\cos\theta K_E \omega}{L_q} + \frac{v_\beta}{L_q}$$

<44> 이때, v_α 및 v_β는 고정자 조표계의 D측과 Q축 입력전압을 나타내고, i_α는 D축 전류를 나타내며, i_β는 Q축 전류를 나타내고, ω는 IPMSM의 속도를 나타내며, Θ는 IPMSM의 위치를 나타내고, K_E는 역기전력 상수를 나타내며, R은 고정자 저항을 나타내고, L_d는 d축 인덕턴스를 나타내며, L_q는 q축 인덕턴스를 나타내는 것이 바람직하다.

<45> 다음으로 상기 수학식 1을 이용하여 퍼지 속도 보상기(160)를 설계하면 다음의 수학식 2를 얻는다.

수학식 2

<46>
$$\dot{\hat{i}}_\alpha = \frac{R}{L_d}\hat{i}_\alpha - \frac{\hat{\omega}(L_d - L_q)}{L_d}\hat{i}_\beta + \frac{\sin\hat{\theta}K_E\hat{\omega}}{L_d} + \frac{v_\alpha}{L_d} + k_1 e_\alpha$$

<47>
$$\dot{\hat{i}}_\beta = \frac{R}{L_q}\hat{i}_\beta - \frac{\hat{\omega}(L_d - L_q)}{L_q}\hat{i}_\alpha + \frac{\cos\hat{\theta}K_E\hat{\omega}}{L_q} + \frac{v_\beta}{L_q} + k_2 e_\beta$$

<48> 여기서, $\dot{\hat{i}}_\alpha$ 및 $\dot{\hat{i}}_\beta$ 는 D축과 Q축 추정전류를 나타내고, 그리고 k_1 및 k_2는 상수를 나타낸다.

<49> 이에 대하여 상술한 수학식 1 및 수학식 2를 이용하여 오차방정식을 산출하면 다음의 수학식 3과 같다.

수학식 3

<50>
$$e_\alpha = \hat{i}_\alpha - i_\alpha, \quad e_\beta = \hat{i}_\beta - i_\beta$$

<51> 한편, 다음의 수학식 4를 이용하여 속도오차를 판단하는 경우에 있어서, 속도오차가 0으로 수렴할 때, 상기 수학식 2의 퍼지 속도 보상기(160)의 k_1, k_2가 극배치(pole placement)기법을 통해 안정하도록 설정된다면, 전류오차는 0으로 수렴되어지며, 역기전력 오차를 최소화할 수 있다.

수학식 4

<52>
$$\dot{e}_\alpha = -\frac{R}{L_d}e_\alpha - \frac{L_d - L_q}{L_d}(\hat{\omega} - \omega)e_\beta + \frac{K_E}{L_d}(\hat{\omega}\sin\hat{\theta} - \omega\sin\theta) + k_1 e_\alpha$$

<53>
$$\dot{e}_\beta = -\frac{R}{L_q}e_\beta - \frac{L_d - L_q}{L_q}(\hat{\omega} - \omega)e_\alpha + \frac{K_E}{L_q}(\hat{\omega}\cos\hat{\theta} - \omega\cos\theta) + k_2 e_\beta$$

<54> 다음으로, 속도추정 오차의 보상을 위해 IPMSM의 전압방정식을 회전자 좌표계로 변환하여 다음의 수학식 5와 같은 영구자석 IPMSM의 회전자축 전압 방정식을 산출한다.

수학식 5

<55>
$$v_d = (R + pL_d)i_d - \omega L_q i_q$$

<56>
$$v_q = (R + pL_q)i_q + \omega L_d i_d + K_E\omega$$

<57> 여기서, v_d는 회전자 좌표계의 d축 입력전압을 나타내고, v_q는 회전자 좌표계의 q축 입력전압을 나타내며, i_d는 d축 전류를 나타내고, i_q는 q축 전류를 나타내며 p는 미분연산자를 나타낸다.

<58> 한편, 회전자 속도는 다음의 수학식 6을 이용하여 산출 가능하다.

수학식 6

<59>
$$\omega = \frac{v_q - (R + pL_q)i_q}{K_E + L_d i_d}$$

<60> 구체적으로, 상기 수학식 6을 이용하여 회전자 속도를 산출하는 경우 IPMSM의 파라미터 계측시 발생하는 오차와 추정전류 및 입력전압 검출시 발생하는 오차로 인해 실제속도와 추정속도 사이에 오차가 발생한다. 따라서 이를

보상하기 위해 보상 값 C를 고려하여 추정속도를 산출한다.

<61> 즉, 다음의 수학식 7을 이용하여 추정속도 획득이 가능하다. 여기서 보상 값 C를 결정하기 위해 퍼지 제어기(170)를 이용한다.

수학식 7

$$\omega = \frac{v_q - (R + pL_q)i_q}{K_E + L_d i_d} + C$$

<62>

<63> 즉, 퍼지 제어기(170)를 이용하여 보상값 C를 결정한다.

수학식 8

<64> $$\omega \neq 0,\ \Delta\theta \cong 0$$

<65> 상기 결정된 보상값(C)을 이용하여 상기 수학식 8에 그 값이 만족하는 경우 상기 수학식 4의 오차방정식은 다음의 수학식 9와 같이 표현된다.

수학식 9

$$\dot{e}_\alpha = -(\frac{R}{L_d} - k_1)e_\alpha, \quad \dot{e}_\beta = -(\frac{R}{L_q} - k_2)e_\beta$$

<66>

<67> 다시 말하면, 퍼지 제어기(170)에 의해 추정속도를 잘 보상하여, 속도추정 오차가 0으로 수렴하면, 상기 수학식 4는 수학식 9와 같이 표현된다.

<68> 한편, 안정성을 확보하기 위해 다음의 수학식 10을 만족하도록 k_1 및 k_2를 설정하면, 상기 수학식 9의 오차는 0으로 수렴한다.

수학식 10

$$k_1 < \frac{L_d}{R},\ k_2 < \frac{L_q}{R}$$

<69>

<70> 상술한 바와 같이 상기 수학식 2식의 퍼지 속도 보상기(160)로부터 추정전류를 추정하고, 지령속도와 추정속도부터 오차를 산출하고, 산출된 오차를 퍼지 제어기(170)를 이용하여 보상값 C를 결정한 후, 수학식 7로부터 추정속도 $\hat{\omega}$ 를 산출한다.

<71> 이하, 상술한 바와 같은 구성으로 이루어진 응용소프트웨어를 통해 적응 적분 바이너리 관측기와 퍼지로직 제어기를 이용한 전동기 제어방법에 대하여 도 3a 내지 도 4d를 참조하여 살펴보면 다음과 같다.

<72> 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법을 나타내는 전체 흐름도이고, 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 속도오차보상단계를 나타내는 상세 흐름도이며, 도 4a는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 2000[rpm]에서 -2000[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이고, 도 4b는 최소역기전력을 가지는 경우, 100%의 부하를 인가할 때 1000[rpm]에서 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이며, 도 4c는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 50[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이고, 도 4d는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하를 인가할 때 50[rpm]에서 -50[rpm]으로 구동시 실제위치(상) 및 추정위치(하)를 나타내는 파형도이다.

<73> 먼저, 도 3a에 도시된 바와 같이 제어장치(100)는 속도 제어기(120)에서 전달된 전류 지령치와 전류 검출기(150)를 통해 검출한 IPMSM의 실제전류 간의 오차를 산출한다(S2).

<74> 이때, 상기 제 S2 단계를 수행하기 위해 제어장치(100)는 도 3a를 참조하여 살펴보면, IPMSM에 인가되는 실제전류를 측정하고(S2a), IPMSM의 상태방정식으로부터 추정속도를 산출한다(S2b).

<75> 다음으로, 제어장치(100)는 사용자에 의해서 별도로 지정된 지령속도와 추정속도를 비교하여(S2c), 속도오차를

획득한다(S2d).

<76> 참고적으로, IPMSM에 인가되는 a상 전류와 b상 전류를 검출하고, c상 전류는 산출한다.

<77> 또한 전력 변환기(140)는 a, b, c상 전류를 고정자 좌표계 상(D-Q)으로 변환한다.

<78> 다음으로, 제어장치(100)는 상기 추정된 속도오차를 판단한다(S4).

<79> 즉, 제어장치(100)는 상기 속도오차의 값이 0으로 수렴하는지 여부를 판별한다(S6).

<80> 상기 제 S6 단계의 판단결과 '속도오차≠0'인 경우 제어장치(100)는 상기 속도오차 값을 보상한다(S8).

<81> 속도오차 값을 보상하기 위해 상기 제 S8 단계를 도 3b를 참고하여 구체적으로 살펴보면, 먼저 제어장치(100)는 속도오차에 따른 상수 값(k_1 및 k_2)을 설정한 후(S8a), 보상값 C를 획득한다(S8b).

<82> 이에 대하여 전류장치(100)는 전류오차의 값이 0으로 수렴하는지 여부를 판별한다(S8c).

<83> 상기 제 S8c 단계의 판단결과 '전류오차=0'인 경우 전류장치(100)는 역기전력을 최소화한다(S8d).

<84> 반면, 상기 제 S8c 단계의 판단결과 '전류오차≠0'인 경우 전류장치(100)는 역기전력을 최소화하기 위해 상기 제 S8 단계로 리턴한다(S8e).

<85> 다음으로, 제어장치(100)는 상기 보상된 속도오차값을 이용하여 추정속도($\hat{\omega}$)를 산출한다(S10).

<86> 마지막으로, 제어장치(100)는 회전자 좌표계에서 고정자 좌표계로 변환된 뒤 q축 지령전압을 SVPWM하여 인버터를 통해 IPMSM에 인가한다(S12).

<87> 다시 말하면, IPMSM 파라미터의 계측시 발생하는 오차 및 구동시 전류 혹은 입력전압 검출에서 발생하는 오차로 인해 존재하는 추정오차에 대하여 이를 최소화하기 위해 IPMSM에 따른 지령속도의 변화 또는 부하의 변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 퍼지 속도 보상기(160) 및 퍼지 제어기(170)를 이용하여 IPMSM를 구동할 수 있다.

<88> 한편, 상기 제 S6 단계의 판단결과 '속도오차=0'인 경우 제어장치(100)는 상기 제 S12 단계로 이동한다.

<89> 예를 들면, 도 4a 내지 도 4d는 IPMSM의 추정속도나 부하의 변화에 따라 퍼지 속도 보상기(160)를 이용함으로써 가변 부하시 및 파라미터의 변화에 대하여 지령속도를 빠르게 추정할 수 있도록 하여 IPMSM를 구동한 경우를 나타낸다.

<90> 구체적으로 살펴보면, 도 4a는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 2000[rpm]에서 -2000[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이다.

<91> 또한, 도 4b는 최소역기전력을 가지는 경우, 연속적인 100%의 부하를 인가할 때 1000[rpm]에서 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이고, 도 4c는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 50[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도이며, 도 4d는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하를 인가할 때 50[rpm]에서 -50[rpm]으로 구동시 실제위치(상) 및 추정위치(하)를 나타내는 파형도이다.

발명의 효과

<92> 상술한 바와 같이 본 발명에 따르면, IPMSM의 센서리스 제어에 있어서 PI(Proportional-Integral)이득을 가지는 퍼지 제어기와 퍼지 속도 보상기를 병행하여 사용함으로써 외란과 파라미터 변화에 대한 속도 제어 시스템의 둔감으로부터 지령속도의 빠른 추정과 안정성을 확보할 수 있는 그 특유의 효과가 있다.

<93> 다시 말하면, 전동기의 위치 또는 속도 센세리스 제어에서 외란 및 전동기의 속도 변화에 따른 성능 저하에 퍼지 속도 보상기를 사용함으로써 제어의 강인함과 유연성을 이룰 수 있다.

<94> 또한, 측정이 어렵고 구동시에도 미묘하게 변할 수 있는 전동기의 운동방정식 파라미터에 영향을 거의 받지 않기 때문에 운동방정식을 이용한 센서리스 알고리즘의 문제점을 전동기의 운동방정식을 사용하지 않고도 해결할 수 있는 효과가 있다. 즉, 전동기의 지령속도의 변시 비례적분 이득 및 퍼지 이론을 병행하여 수행함으로써, 외란이나 전동기의 부하에 강임함을 이룰 수 있다.

<95> 그리고, 전동기 제어에서 파라미터 변화 또는 외란에 대하여 지령속도에 빠르게 도달함으로써, 가변속 시스템에 별도의 하드웨어 추가 없이 프로그램으로 구현하여 경제적 손실이 저감되는 효과가 있다.

<96> 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 종래의 효율 최적화 제어를 위한 제어 시스템을 나타내는 구성도,

<2> 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치를 나타내는 구성도,

<3> 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어장치를 나타내는 블럭도,

<4> 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 퍼지 속도 보상기를 이용한 전동기 제어방법을 나타내는 전체 흐름도,

<5> 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 속도오차보상단계를 나타내는 상세 흐름도,

<6> 도 4a는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 2000[rpm]에서 -2000[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도,

<7> 도 4b는 최소역기전력을 가지는 경우, 100%의 부하를 인가할 때 1000[rpm]에서 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도,

<8> 도 4c는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하 50[rpm]으로 구동시 실제속도(상) 및 추정속도(하)를 나타내는 파형도,

<9> 도 4d는 최소역기전력을 가지는 경우, 무부하를 인가할 때 50[rpm]에서 -50[rpm]으로 구동시 실제위치(상) 및 추정위치(하)를 나타내는 파형도.

<10> *** 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 ***

<11> 110 : 속도 지령기 120 : 속도 제어기

<12> 130 : 전류 제어기 140 : 전력 변환기

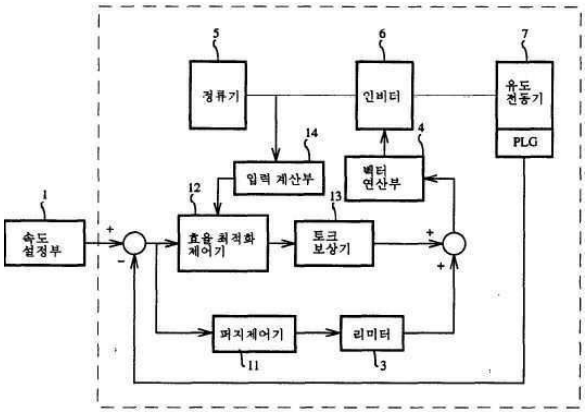
<13> 150 : 전류 검출기 160 : 퍼지 속도 보상기

<14> 161 : 오차산출모듈 162 : 오차추정모듈

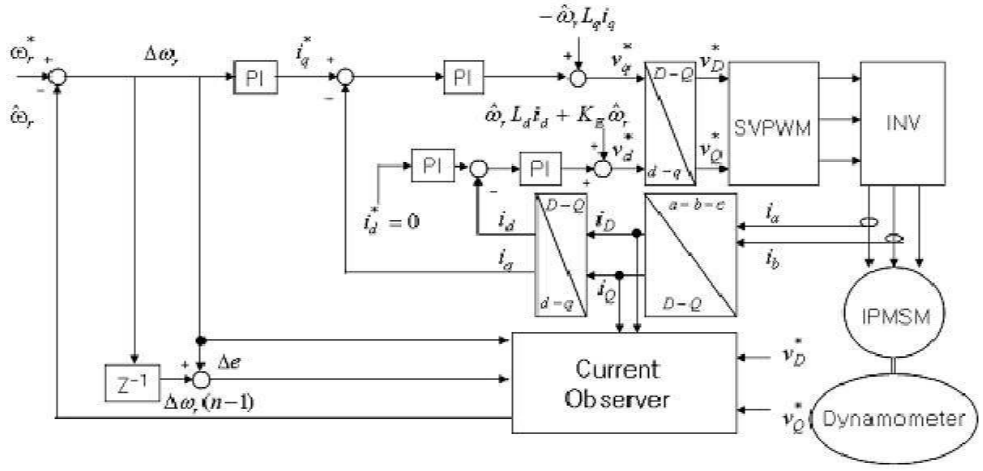
<15> 170 : 속도 제어기

도면

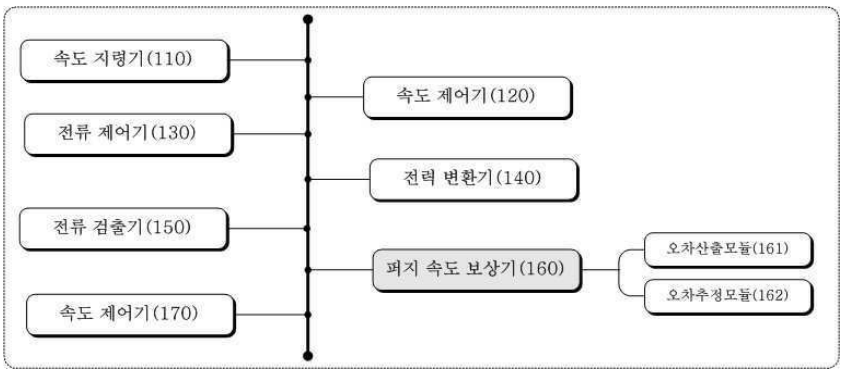
도면1



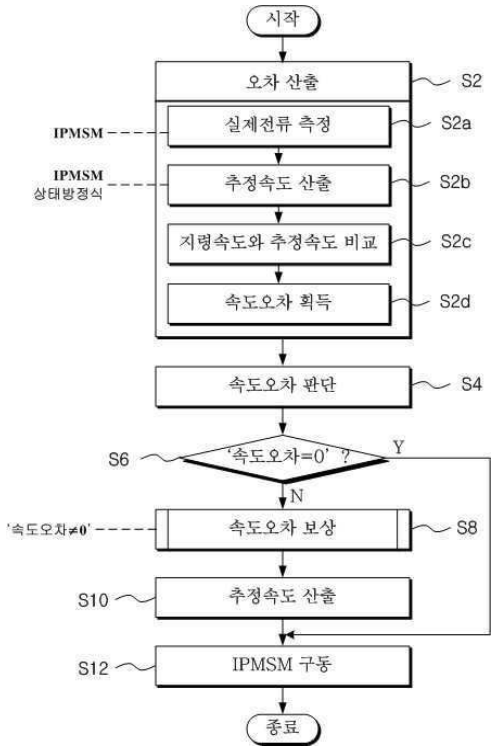
도면2a


PI
PI
PI
PI
SVPWM
INV
IPMSM
Dynamometer
Current
Observer
Z-1
D-Q
d-q
a-b-c

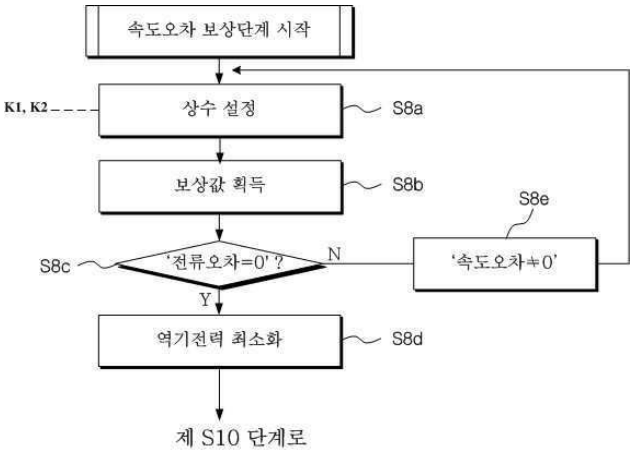
도면2b


속도 지령기(110)
속도 제어기(120)
전류 제어기(130)
전력 변환기(140)
전류 검출기(150)
퍼지 속도 보상기(160)
오차산출모듈(161)
오차추정모듈(162)
속도 제어기(170)

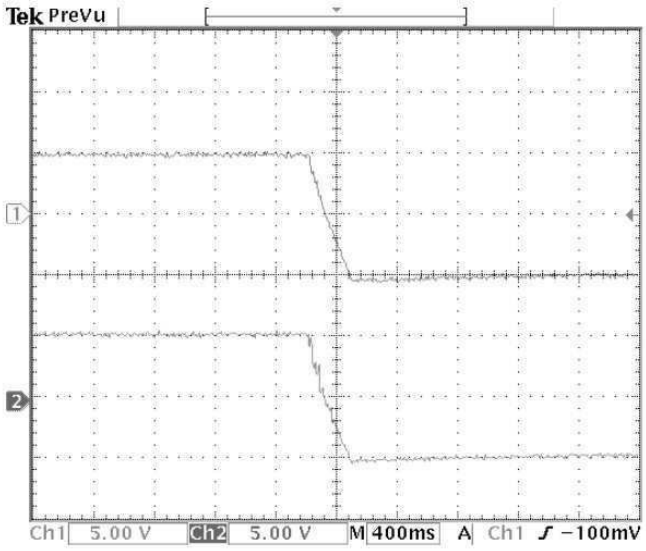
도면3a


시작
오차 산출
S2
IPMSM
실제전류 측정
S2a
IPMSM
상태방정식
추정속도 산출
S2b
지령속도와 추정속도 비교
S2c
속도오차 획득
S2d
속도오차 판단
S4
S6
'속도오차=0' ?
Y
N
'속도오차≠0'
속도오차 보상
S8
S10
추정속도 산출
S12
IPMSM 구동
종료

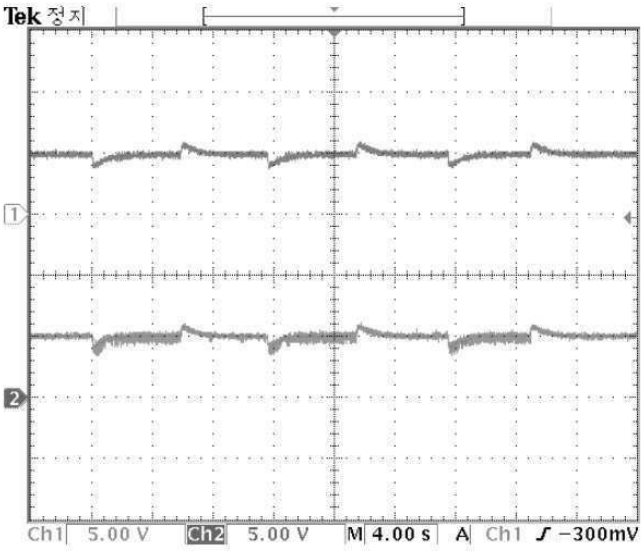
도면3b


속도오차 보상단계 시작
K1, K2
상수 설정
S8a
보상값 획득
S8b
S8e
S8c
'전류오차=0' ?
N
'속도오차≠0'
Y
역기전력 최소화
S8d
제 S10 단계로

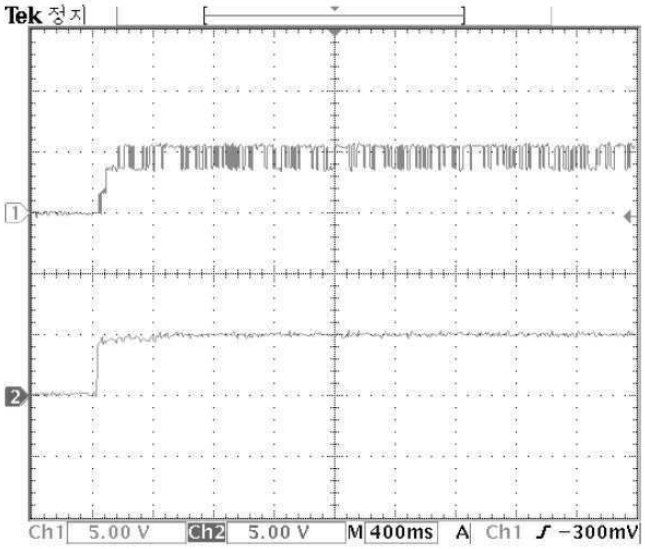
도면4a


Tek PreVu
Ch1 5.00 V
Ch2 5.00 V
M 400ms
A Ch1 ∫ −100mV

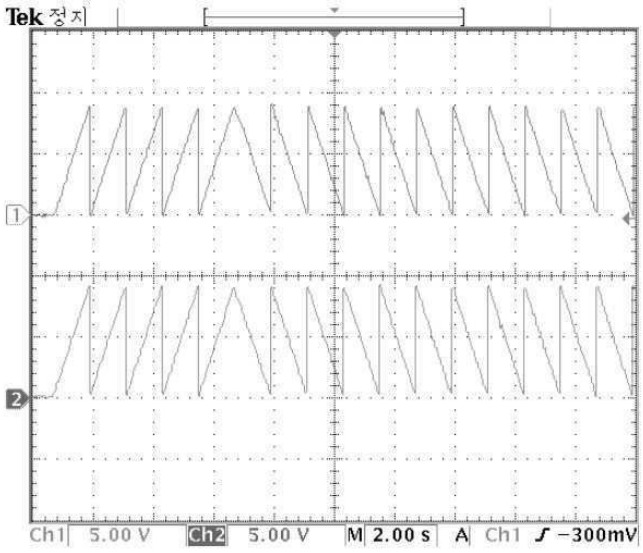
도면4b


Tek 정지
Ch1 5.00 V
Ch2 5.00 V
M 4.00 s
A Ch1 ∫ −300mV

도면4c


Tek 정지
Ch1 5.00 V
Ch2 5.00 V
M 400ms
A Ch1 ƒ −300mV

도면4d


Tek 정지
Ch1 5.00 V
Ch2 5.00 V
M 2.00 s
A Ch1 ƒ −300mV