



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년07월01일
(11) 등록번호 10-0842978
(24) 등록일자 2008년06월25일

(51) Int. Cl.

G05D 3/12 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7003929
(22) 출원일자 2003년03월18일
심사청구일자 2006년05월24일
번역문제출일자 2003년03월18일
(65) 공개번호 10-2003-0036802
(43) 공개일자 2003년05월09일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2001/007851
국제출원일자 2001년09월10일
(87) 국제공개번호 WO 2002/25390
국제공개일자 2002년03월28일
(30) 우선권주장

JP-P-2000-00284444 2000년09월20일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

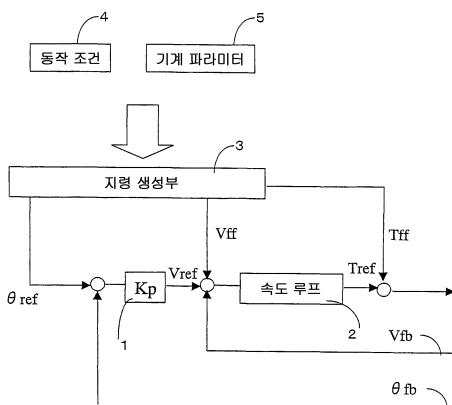
미국특허 제6147468호
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 조성찬

(54) 서보 제어방법**(57) 요 약**

스프링 요소에 의해 결합되는 2 이상의 관성 시스템의 유연한 구조물의 경우, 지령과 부하는 완전히 추종하지 않고, 또한, 복잡한 계산을 필요로 하므로, 상당량의 계산량을 포함하는 문제가 있었다. 피드-포워드를 사용하는 서버 제어방법에서, 부하의 위치와 모터의 위치를 각각의 고차 미분 가능한 함수로 나타내는 단계, 동작조건(4)과 기계의 파라미터(5)로부터, 상기 고차 미분 가능한 함수를 결정하는 단계, 결정된 상기 고차 미분 가능한 함수로부터 상기 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 산출하여, 이를 산출된 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 피드-포워드 지령으로 사용하거나, 결정된 상기 고차 미분 가능한 함수로부터 모터 토크 지령을 산출하여, 이 산출된 토크 지령을 기계 모델에 입력하고, 얻어진 모터 위치, 속도 및 토크 지령을 피드-포워드 지령들로서 사용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1

(72) 발명자

야스다겐이치

일본국후쿠오카켄기타큐슈시야하타니시쿠구로사카
시로이시2반1고가부시키가이샤야스카와텐키내

오구로류이치

일본국후쿠오카켄기타큐슈시야하타니시쿠구로사카
시로이시2반1고가부시키가이샤야스카와텐키내

(56) 선행기술조사문현

일본공개특허공보 평4-271290호

공개특허 2002-0082753호

일본공개특허공보 평12-148210호

일본공개특허공보 평11-309646호

미국특허 제5428285호

(81) 지정국

국내특허 : 중국, 대한민국, 미국

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일,
덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드,
이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투
칼, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스, 터키

특허청구의 범위

청구항 1

피드-포워드 지령을 사용하는 서보 제어 방법에 있어서,

부하의 위치를, (경계 조건의 개수 - 1)의 차수를 갖는 제1 시간 다항식, 모터의 위치를, (경계 조건의 개수 - 1)의 차수를 갖는 제2 시간 다항식으로 각각 나타내는 단계;

동작조건과 기계의 파라미터들로부터 상기 제1 및 제2 시간 다항식의 계수를 각각 결정하는 단계;

결정된 상기 제2 시간 다항식의 계수로부터 상기 모터의 위치 지령값을 산출하는 단계;

상기 모터의 위치 지령값을 1회 미분하여 모터의 속도 지령값을 산출하는 단계;

상기 모터의 위치 지령값의 2회 미분값과 모터 관성의 곱과, 상기 부하의 위치 지령값의 2회 미분값과 부하 관성의 곱과의 합을 구하여 토크 지령을 산출하는 단계;

산출된 각 모터의 위치 지령값, 모터의 속도 지령값, 토크 지령값을 각각 피드-포워드 지령으로 하는 것을 특징으로 하는 서보 제어 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 다항식은 15차 다항식인 것을 특징으로 하는 서보 제어 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 동작조건은 이동거리 및 이동시간인 것을 특징으로 하는 서보 제어 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 다항식들을 결정할 때에 제어되는 2관성 기계 시스템의 운동 방정식이 사용되는 것을 특징으로 하는 서보 제어 방법.

명세서

기술 분야

<1> 본 발명은 공작기의 이송 축이나 로봇 암 등을 구동하는 서보 모터의 제어방법에 관한 것으로, 특히 지령 추종성을 향상시키기 위해 피드-포워드 제어를 행하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

<2> 종래에, 지령 추종 성능을 향상시키는 방법으로서 피드-포워드 제어가 혼히 사용되었다. 이 때 종래 시스템에서는 위치지령을 미분한 값을 속도 피드-포워드 지령값으로서 사용하고, 이를 다시 미분한 값을 토크 피드-포워드 지령값으로 하는 것이 일반적이었다.

<3> 이 발명에 관계될 수도 있을 기술들 중 하나로서, 일본 특허 제2762364호 공보 "서보 모터의 피드-포워드 제어 방법"에 다음이 개시되어 있다. 도 4는 종래 기술의 시스템의 구성을 도시한 블록도이다. 도 4에서, 먼저, 위치 지령(θ_{ref})과 실제 위치(θ_{fb}) 간 편차에 위치 "1"에서의 위치 루프 이득(K_p)을 곱한 값을 속도 지령(V_{ref})으로 하고, 다음에, 미분부(41)에서 위치 지령(θ_{ref})을 미분한 값에 위치의 피드 포워드 계수(a)를 곱한 값을 속도 피드-포워드 지령(V_{ff})으로 하고, 속도 지령(V_{ref})에 가산하는 방법이다. 다음에, 속도 지령(V_{ref})과 실제 속도(V_{fb}) 간 편차를 구하여 "2"에서의 속도 루프 처리를 실시하여 전류 지령값(I_{ref})을 구하고, 다음에, 미분부(42)에서 속도 피드-포워드 지령(V_{ff})을 미분한 값에 속도의 피드 포워드 계수(β)를 곱한 값을 전류 피드-포워드(I_{ff})로 하고, 전류 지령에 가산한다. 이 방법에서는 속도 루프나 전류 루프의 응답성이 향상되고, 서보 시스템의 응답 지연이 개선되는 효과가 있음이 기재되어 있다.

<4> 또한, 다른 종래 예로서, 일본 특개평 10-149210호 공보 "위치결정 제어 시스템의 지령 준비 방법"에서는 도 5에 도시한 바와 같은 구성을 취한다. 이 공보에는 지령 생성부(51)에서 제어 시스템과 기계 시스템을 포함한 전달함수를 역으로 해석하여, 위치지령부터 부하위치까지의 전달함수를 1로 하는 위치지령을 준비하는 것으로, 지령 추종성을 향상시키고, 완전한 추종을 달성하는 방법이 개시되어 있다. 도 5에 도시한 참조부호들은 도 4와 동일하다.

<5> 그러나, 종래의 예들에는 다음과 같은 문제가 있다.

<6> 첫째로, 종래 기술의 예 1에서 보인 방법에서는 제어하는 기계 시스템이 서보 모터에 강체 결합되어 있는 경우는 문제가 없으나, 스프링 요소에 의해 결합되는 2 이상의 관성 시스템들의 유연한 구조물인 경우, 기계적인 스프링 요소를 고려하지 않는 지령이 입력되는 것으로 되어, 모터가 지령에 따라 추종하였어도 부하 측이 진동한다고 하는 문제가 발생한다. 결국, 부하가 지령에 완전히 추종할 수 없는 문제가 있다.

<7> 두 번째로, 종래 기술의 예 2에 보인 방법에서는 종래 기술의 예 1의 문제점을 해결하기 위한 시스템 전체의 전달특성을 고려하여 지령을 생성하기 때문에, 2이상의 관성 시스템의 유연한 구조물인 경우에도 완전 추종을 행할 수 있으나, 제어 시스템을 포함하는 전달함수를 사용하기 때문에, 외란 응답의 개선을 위해 속도 루프의 응답을 변경하는 등의 제어 시스템의 특성을 변경하였을 때는, 역 전달함수를 풀게 되므로 번거롭게 되는 문제가 있었다. 또한, 복잡한 계산을 필요로 하기 때문에, 계산량이 현저히 증대하게 되는 또 다른 문제도 있다.

<8> 전술한 문제점을 해결할 수 있는 서보 제어 방법을 제공하는 것이 본 발명의 목적이다.

발명의 상세한 설명

<9> 상기 목적을 달성하기 위해서, 본 발명은 피드-포워드를 사용하는 서보 제어 방법에 있어서, 부하의 위치와 모터의 위치를 각각 (경계 조건의 개수 - 1)의 차수를 갖는 다항식으로 나타내는 단계, 동작조건과 기계의 파라미터들로부터 상기 다항식을 결정하는 단계, 상기 결정된 다항식으로부터 상기 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 산출하는 단계, 및 상기 산출된 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 피드-포워드 지령들로 하는 것을 특징으로 한다.

<10> 또한, 청구항 2에 개시된 구성에서는, 피드-포워드를 사용하는 서보 제어 방법에 있어서, 부하의 위치와 모터의 위치를 각각 (경계 조건의 개수 - 1)의 차수를 갖는 다항식으로 나타내는 단계, 동작조건과 기계의 파라미터들로부터 상기 다항식을 결정하는 단계, 상기 결정된 다항식으로부터 상기 모터의 토크 지령을 산출하는 단계, 상기 산출된 토크 지령을 기계 모델에 입력하는 단계, 및 상기 얻어진 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 피드-포워드 지령들로 하는 것을 특징으로 한다.

<11> 또한, 상기 다항식은 15차 다항식일 수 있다. 또한, 상기 동작조건은 이동거리 및 이동시간일 수 있다. 또한, 상기 다항식을 결정할 때에, 제어하는 기계의 운동 방정식이 사용될 수도 있다.

<12> 삭제

<13> 삭제

실시예

<19> 본 발명의 실시예를 도면에 기초하여 설명한다. 여기서, 제어하는 기계 시스템은 2 관성 시스템으로 균사화 될 수 있는 것으로 한다. 도 1은 본 발명의 실시예를 도시한 블록도이다. 도 1에서, 참조부호 1은 위치 루프 비례 이득(K_p), 2는 속도 루프, 3은 모터의 위치, 속도, 토크 지령을 계산하기 위한 지령 생성부이다. 4는 소망의 동작 조건이며, 메모리에 저장되어 있다. 5는 기계의 파라미터이며, 메모리에 저장되어 있다.

<20> 속도 루프(2)에서는 비례 적분 제어가 행해진다. 또한, 동작 조건(4)으로서는 청구항 4에도 기재되어 있는 바와 같이, 이동거리(dist)와 이동시간(te)이 입력되어 저장된다. 기계 파라미터(5)로서는 모터 관성(J1), 부하 관성(J2), 스프링 정수(Kc), 감쇄계수(DL)가 입력되어 저장된다.

<21> 메모리에 저장되어 있는 4개의 동작 조건과 5개의 기계 파라미터를 사용하여 지령 생성부(3)에 의해 모터 위치 지령(θ_{ref}), 모터 속도 지령(V_{ff}), 및 모터 토크 지령값(T_{ff})을 산출하여 제어입력으로 한다.

- <22> 이하, 지령 생성부(3)에서의 처리 내용을 도 3의 흐름도를 사용하여, 순서대로 상세히 설명한다.
- <23> 단계 1: 부하의 위치 $X_l(t)$ 와 모터 위치 $X_m(t)$ 를 각각 식(1)과 같은 15차의 다항식으로 나타낸다. 15차로 하는 이유는, 후술하는 경계조건이 16개 존재하기 때문이다.
- <24>
$$X_l(t) = a_{15} \cdot t^{15} + a_{14} \cdot t^{14} + a_{13} \cdot t^{13} + \dots + a_1 \cdot t^1 + a_0 \quad \dots \dots (1)$$
- <25>
$$X_m(t) = b_{15} \cdot t^{15} + b_{14} \cdot t^{14} + b_{13} \cdot t^{13} + \dots + b_1 \cdot t^1 + b_0$$
- <26> (여기서 a_0 내지 a_{15} 및 b_0 내지 b_{15} 는 계수들이다).
- <27> 단계 2: 동작조건과 기계 파라미터를 취득한다.
- <28> * 동작조건: dist, te
- <29> * 기계의 파라미터: J1, J2, Kc, DL
- <30> 단계 3: 식(2)에 나타낸 경계조건과, 식(3)에 나타낸 기계의 운동 방정식을 풀어 계수 a_0 내지 a_{15} 및 b_0 내지 b_{15} 를 구한다.
- <31> 경계조건으로서는 모터와 부하 각각에 있어서, 동작 개시시($t=0$), 위치=속도=가속도= $Jerk=0$ 이고, 동작 종료시($t=te$), 위치=dist, 속도=가속도= $Jerk=0$ 이고, 식(2)에 나타낸 16개의 조건으로 된다.
- <32>
$$X_l^{(0)}(0)=0, X_l^{(1)}(0)=0, X_l^{(2)}(0)=0, X_l^{(3)}(0)=0,$$
- <33>
$$X_l^{(0)}(te)=dist, X_l^{(1)}(te)=0, X_l^{(2)}(te)=0, X_l^{(3)}(te)=0,$$
- <34>
$$X_m^{(0)}(0)=0, X_m^{(1)}(0)=0, X_m^{(2)}(0)=0, X_m^{(3)}(0)=0,$$
- <35>
$$X_m^{(0)}(te)=dist, X_m^{(1)}(te)=0, X_m^{(2)}(te)=0, X_m^{(3)}(te)=0,$$
- <36>
$$\dots \dots (2)$$
- <37> 단, 식 중의 첨자 $A^{(n)}$ 은 A의 n차 미분을 나타내는 것으로 한다($A=X_l$ 또는 X_m). 또한, 2관성 기계 시스템의 운동 방정식은 다음의 식(3)과 같이 된다.
- <38>
$$J2 \cdot X_l^{(2)}(t) + DL \cdot (X_l^{(1)}(t) - X_m^{(1)}(t)) + Kc \cdot (X_l^{(0)}(t) - X_m^{(0)}(t)) = 0 \quad \dots \dots (3)$$
- <39> 전술한 바와 같이, 식(2) 및 식(3)으로부터 계수 a_0 내지 a_{15} 및 b_0 내지 b_{15} 가 구해진다.
- <40> 단계 4: 단계 3에서 구한 계수로부터, 모터 위치 지령값($X_m^{(0)}(t)$)을 구한다. 이를 미분함으로써, 모터 속도 지령값($X_m^{(1)}(t)$)이 얻어질 수 있다.
- <41> 마지막으로 토크 지령값($Tref(t)$)은 다음의 식(4)과 같이 하여 구한다.
- <42>
$$Tref(t) = J1 \cdot X_m^{(2)}(t) + J2 \cdot X_l^{(2)}(t) \quad \dots \dots (4)$$
- <43> 이 방법에서는 문제점 1을 해결하기 위해서, 기계 시스템의 운동 특성을 고려하여, 지령들을 생성하고 있으므로, 부하 측을 진동 없이 완전히 지령에 추종시키는 것이 가능하다.
- <44> 또한, 제어 시스템을 포함하는 전달함수만이 아니라, 기계 시스템의 운동 방정식으로부터도 지령들이 생성되므로, 제어 이득의 변경에 관하여 전혀 영향을 받음이 없이, 어떠한 지령들이든 변경할 필요가 없다.
- <45> 다음에, 청구항 2에 개시된 실시예 2의 방법을 도 2를 사용하여 설명한다.
- <46> 지령의 출력이 하드웨어 한계에 기인하여, 1입력으로 한정되어 있는 경우는 실시예 1과 같이, 모터 위치 지령,

모터 속도 지령, 모터 토크 지령의 3개의 지령을 동시에 입력하는 것은 불가능하다.

- <49> 이와 같은 경우는, 먼저, 실시예 1의 수순에 의해 토크 지령값($T_{ref}(t)$)을 도출한다. 다음에, 도 2의 참조부호 6으로 나타낸 바와 같이, 제어기 내에 미리 기계 모델을 갖추어 두고, 그 기계 모듈에 도출된 토크 지령을 입력하고, 기계 모델에서 계산되는 모터 위치, 모터 속도를, 피드-포워드 지령값들로 할 수 있다. 이 방법으로, 제어 계산부에 토크 지령값이 입력되는 것만으로도 충분하고, 또한 실시예 1과 동등한 효과가 얻어질 수 있다.
- <50> 또한, 위에 설명한 2개의 실시예에서는 모터 위치, 모터 속도, 모터 토크 지령을 피드-포워드 하는 방법을 설명하였으나, 당연히 토크 지령 대신 전류지령을 구하여 피드-포워드 하여도 된다.
- <51> 이상 전술한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 먼저, 기계의 위치와 모터의 위치를 (경계 조건의 개수 - 1)의 차수를 갖는 다항식으로 나타내고, 동작조건(이동거리와 이동시간)으로부터 구한 경계조건 및, 기계의 운동 방정식으로부터, 다항식의 계수를 결정하고, 마지막으로, 모터 위치 지령, 모터 속도 지령, 모터 토크 지령을 산출하고, 이들을 피드-포워드 지령값들로서 사용하므로, 유연 구조물이 지령들을 완전히 추종하도록 하는 것이 가능하게 된다고 하는 효과가 있다.
- <52> 또한, 본 발명에 의하면, 제어 시스템의 이득 등을 변경한 경우도, 동일 지령을 사용할 수 있으므로, 오프-라인 처리에 의해 피드-포워드 지령들을 계산하여 두는 경우에도, 재계산 등의 번거롭게 되지 않는다고 하는 효과가 있다.

산업상 이용 가능성

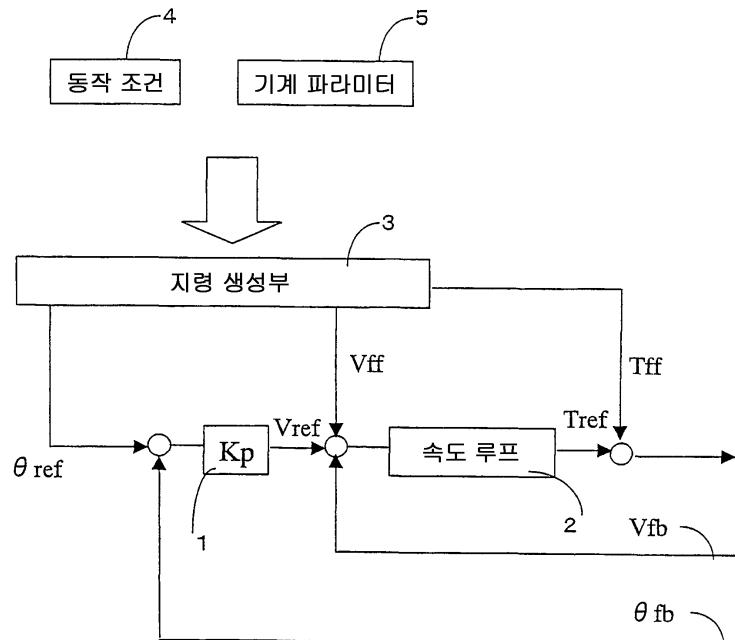
- <53> 본 발명에 의해, 스프링 요소에 의해 결합된 2 이상의 관성 시스템들의 유연한 구조물을 지령들에 완전히 추종시키는 것이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

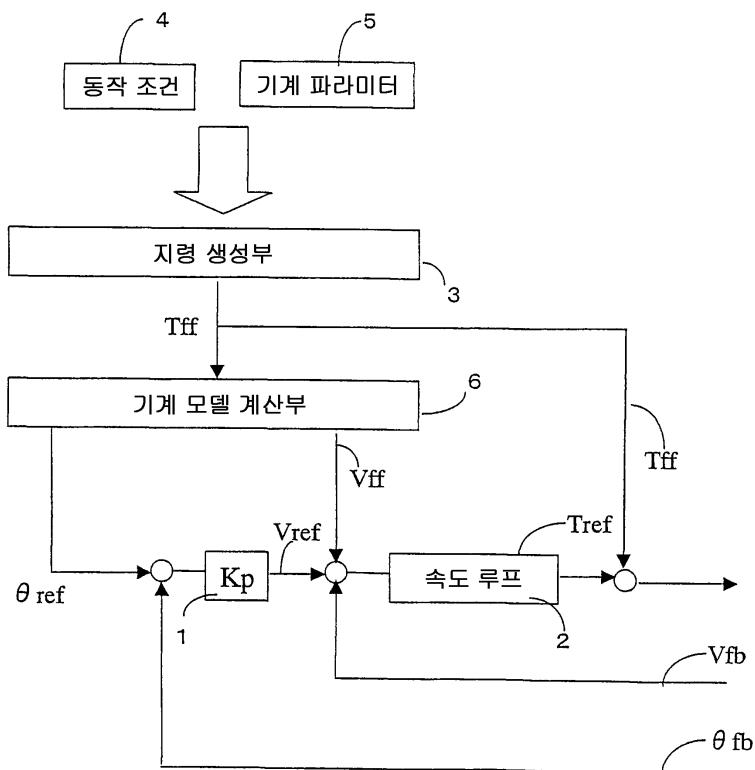
- <14> 도 1은 본 발명의 실시예 1의 구성을 도시한 블록도이다.
- <15> 도 2는 본 발명의 실시예 2의 구성을 설명하는 블록도이다.
- <16> 도 3은 본 발명의 처리 수순을 설명하는 흐름도이다.
- <17> 도 4는 종래 기술의 예 1의 구성을 설명하는 블록도이다.
- <18> 도 5는 종래 기술의 예 2의 구성을 설명하는 블록도이다.

도면

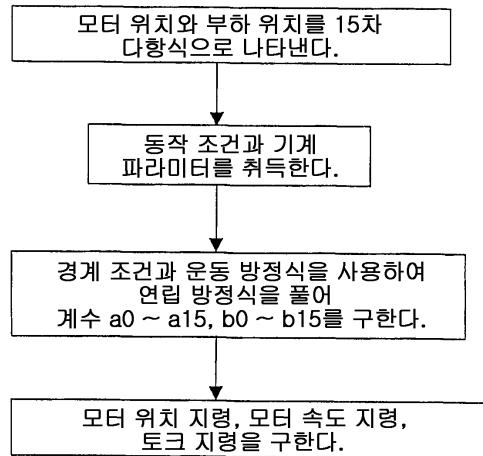
도면1



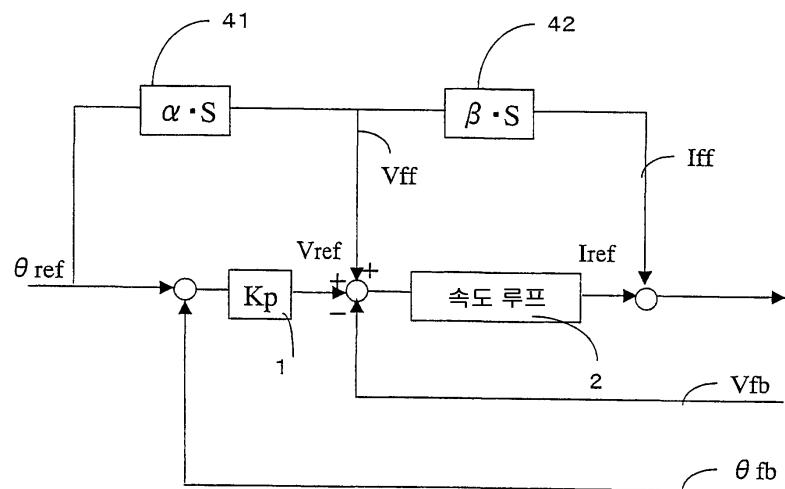
도면2



도면3



도면4



도면5

