

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁶ B25J 9/16 B25J 9/00	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2000년04월01일 10-0242447 1999년11월10일
(21) 출원번호 (22) 출원일자 (73) 특허권자	10-1997-0080191 1997년12월31일 삼성전자주식회사 윤종용	(65) 공개번호 (43) 공개일자 특1999-0059974 1999년07월26일
(72) 발명자	경기도 수원시 팔달구 매탄3동 416 김영상	
(74) 대리인	경기도 수원시 팔달구 원천동 주공아파트 106동 402호 김원호, 김원근	

심사관 : 최중일

(54) 로봇 제어를 위한 경로 계획 장치 및 경로 계획 방법

요약

설정된 목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일을 계산하고, 하나의 지역 통과 필터를 사용하여 속도 프로파일에 대해 경로 보간을 수행함으로써 평활화된 속도 프로파일을 형성하여 서보 모터의 가속을 제어한다. 이러한 지역 통과 필터는 그 이득값을 조절하여 서보 모터의 가속도 변화율을 조절할 수 있으며, 시간의 함수로 표시되는 이득값의 차수가 클수록 서보 모터의 동작이 부드러워져서 로봇 제어 등에 사용될 경우 로봇 몸체의 손상을 줄일 수 있다.

대표도

도8

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 종래의 로봇 제어에서의 경로 계획 장치를 도시한 블록도이고,
- 도 2는 도 1의 경로 계획 장치의 보간기로 사용되는 선형 필터를 도시한 블록도이고,
- 도 3은 도 1의 보간기에 입력되는 속도 프로파일을 도시한 그래프이고,
- 도 4는 도 1의 보간기에 출력되는 속도 프로파일과 이를 미분한 가속도 프로파일 및 저크 프로파일을 도시한 그래프이고,
- 도 5는 2개의 선형 필터를 사용한 종래의 경로 계획 장치의 보간기를 도시한 블록도이고,
- 도 6은 도 5의 보간기에서 출력되는 속도 프로파일과 이를 미분한 가속도 프로파일 및 저크 프로파일을 도시한 그래프이고,
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 경로 계획 장치를 도시한 블록도이고,
- 도 8은 도 7의 경로 계획 장치의 보간기로 사용되는 지역 통과 필터를 도시한 블록도이고,
- 도 9a와 도 9b는 도 8의 지역 통과 필터의 이득값을 도시한 그래프이고,
- 도 10은 도 8의 지역 통과 필터에서 출력되는 속도 프로파일과 이를 미분한 가속도 프로파일 및 저크 프로파일을 도시한 그래프이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

이 발명은 로봇(robot) 제어에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 로봇이 동작하는 경로 계획(path planning) 장치 및 경로 계획 방법에 관한 것이다.

산업용 로봇의 동작을 제어하는 경우에 동작 경로(path)가 정밀하게 유지되고, 선형 또는 환형의 부분 경로(path segment)들 사이의 코너 조합(corner blending)을 단순하고 견실하게 하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 최근에는 평활한 가속 및 감속(smooth acceleration / deceleration)을 통해 로봇의 동작 경로를 계획하는 방법이 사용되고 있다.

도 1에 종래의 로봇의 경로 계획 장치의 블록도를 도시하였다. 도 1에서와 같이 종래의 경로 계획 장치는 목표 위치를 입력받아 속도 프로파일(profile)을 계산하여 출력하는 플래너(planner)(10), 플래너(10)로부터 속도 프로파일을 입력받아 경로 보간(path interpolation)을 수행하고 평활화된 속도 프로파일을 출력하는 보간기(interpolator)(20), 보간기(20)의 출력을 받아 서보 모터(servo motor)(40)를 제어하는 서보 제어부(30)로 이루어진다. 보간기(20)는 도 2와 같이 단위 지연 소자(unit delay)(21)와 덧셈기(adder)(22) 및 계수 승산기(coefficent multiplier)(23)로 구성된 선형 필터(linear filter)로 이루어진다. 여기서 F는 필터의 차수로서 가감속 구간의 길이가 된다.

이러한 경로 계획 장치에서 플래너(10)가 목표 위치에 가기 위해 계산된 속도 프로파일 Va를 보간기(20)에 입력하면 필터링된 속도 프로파일 Vb가 출력되어 서보 제어부(30)로 입력되어 서보 모터(40)를 구동하게 된다. 도 3에 입력 속도 프로파일 Va를 도시하였고, 도 4에 출력 속도 프로파일 Vb를 도시하였다.

출력 속도 프로파일 Vb를 미분하면 가속도 프로파일 A를 구할 수 있고, 이를 다시 미분하면 저크(jerk) 프로파일 J를 구할 수 있다. 도 4에 가속도 프로파일 A와 저크 프로파일 J를 각각 도시하였다. 여기서, 저크는 가속도의 시간 변화율을 지정하는 벡터로서 산업용 로봇에서 로봇 몸체의 내구성(durability)에 큰 영향을 미친다. 도 4에서와 같이, 종래의 경로 제어 장치는 급격한 저크를 발생시키므로 로봇 몸체에 손상을 줄 수 있다.

이러한 저크의 변화를 줄이기 위해 미국특허 제5,434,489호에서는 두 개의 선형 필터를 사용한 경로 계획 장치를 제시하였다. 도 5에 이러한 두 개의 선형 필터를 사용한 경로 계획 장치를 도시하였다. 도 5에서와 같이, 보간기(20)는 두 개의 선형 필터(24, 25)로 이루어져 있다. 이 경우에 도 3에서와 같은 속도 프로파일 Va가 보간기(20)에 입력되면, 도 6과 같은 속도 프로파일 Vb가 출력된다. 도 6의 속도 프로파일 Vb에서 가감속 부분은 2차 함수로 된 S자 곡선의 형태로 되어 있음을 알 수 있다.

도 6의 속도 프로파일 Vb로부터 가속도 프로파일 A 및 저크 프로파일 J를 구할 수 있으며, 이를 도 6에 함께 도시하였다. 도 6에서와 같이, 두 개의 선형 필터를 사용한 경우에는 저크 프로파일 J가 한 개의 선형 필터를 사용하는 경우보다 완만해져서 로봇 몸체의 손상을 줄이고 동작을 부드럽게 할 수 있다. 그러나 여전히 저크의 변화가 커서 로봇 몸체의 손상이 발생할 수 있고, 필터를 많이 사용함으로써 계산 시간이 증대되어 응답 속도가 늦어지는 단점이 있다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

본 발명은 이러한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 과제는 로봇의 경로 계획 장치에서 저크의 변화를 완만하게 하여 로봇 몸체의 손상을 줄이고 몸체의 움직임을 부드럽게 하며, 경로 계획 장치의 응답 속도를 개선하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

이러한 과제를 달성하기 위하여, 본 발명에서는 설정된 목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일을 계산하고, 하나의 저역 통과 필터를 사용하여 속도 프로파일에 대해 경로 보간을 수행함으로써 평활화된 속도 프로파일을 형성하여 서보 모터의 가감속을 제어한다.

이러한 경로 계획에 사용되는 저역 통과 필터는 직렬 접속된 다수의 단위 지연 소자와 계수 승산기 및 덧셈기로 이루어진다. 필터에 입력된 신호는 단위 지연 소자에 의해 순차적으로 지연되고, 지연된 각 신호에 소정의 이득값이 계수 승산기에 의해 곱해지고, 이 값이 덧셈기에 의해 모두 합해진 후, 여기에 상기 이득값의 전체 합의 역수가 또다른 계수 승산기에 의해 곱해져서 필터 출력이 된다.

여기서, 이득값을 조절하여 서보 모터의 가속도의 변화율을 조절할 수 있으며, 이득값을 시간에 대한 함수로 나타냈을 때 그 차수가 클수록 서보 모터의 동작이 부드러워진다. 즉, 필터에 입력되는 속도 프로파일의 0차일 때, 이득값이 시간에 대해 1차 함수일 경우 저크 프로파일은 0차가 되고, 이득값이 시간에 대해 2차 함수일 경우 저크 프로파일은 1차가 되어 더욱 평활화된다. 이와 같이 저크 프로파일을 평활화시키는 경로 계획은 로봇 제어에 사용될 경우 로봇 몸체의 손상을 줄일 수 있다.

이하 본 발명의 바람직한 실시예를 기재한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명의 바람직한 한 실시예일 뿐 본 발명이 하기의 실시예에 한정되는 것은 아니다.

본 발명의 실시예에 따른 경로 계획 장치를 도 7에 도시하였다. 도 7에서와 같이 본 발명에 따른 경로 계획 장치는 목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일 Va를 계산하여 출력하는 플래너(10), 플래너(10)로부터 속도 프로파일 Va를 입력받아 평활화된 속도 프로파일 Vb를 출력하는 저역 통과 필터(50), 저역 통과 필터(50)의 출력을 받아 서보 모터(40)의 가감속을 제어하는 서보 제어부(30)로 이루어진다. 저역 통과 필터(50)는 경로 보간을 수행하는 보간기의 기능을 가진다. 즉, 본 발명에 따른 실시예에서는 하나의 저역 통과 필터(50)만으로 경로 보간을 수행할 수 있다.

이러한 저역 통과 필터(50)를 도 8에 도시하였다. 도 8에서와 같이, 저역 통과 필터(50)는 쉬프트 레지스터(shift register)로 형성된 다수의 단위 지연 소자(51)와 계수 승산기(52, 54) 및 덧셈기(53)로 이루어진다. 단위 지연 소자(51)는 직렬 접속되어 지연된 신호를 출력하며, 계수 승산기(52)는 지연된 각각의 신호에 소정의 이득값(k_1, k_2, \dots, k_F)을 곱하고, 덧셈기(53)는 계수 승산기(52)의 각 출력을 모두 합하고, 계수 승산기(53)는 계수 승산기(51)에 곱해진 이득값(k_1, k_2, \dots, k_F) 전체의 합의 역수($1/S_k$)를 덧셈기(53)의 출력값에 곱한다. 여기서, F는 서보 모터의 가감속 구간의 크기이다.

일반적으로 디지털 필터의 전달 함수가 $f(nT)$ 이고 필터의 입력 신호가 $V(nT)$ 이면, 필터 출력 $w(nT)$ 는 다음의 수학적 1과 같이 입력 신호 $V(nT)$ 와 전달 함수 $f(nT)$ 의 컨볼루션(convolution)으로 표시된다. 여

기서, T는 샘플링(sampling)주기이고, n=0, 1, 2,...이다.

$$w(nT) = \hat{Q} \sum_{i=0}^{nT} v(nT-iT) E f(iT)$$

따라서, 상기 저역 통과 필터(50)에 속도 프로파일을 Va(nT)가 입력되면 출력되는 속도 프로파일 Vb(nT)는 다음의 수학적 식 2와 같다.

$$V_b(nT) = \frac{\sum_{i=1}^F k_i E V_a(nT-iT)}{S_k}, \quad S_k = \sum_{i=1}^F k_i$$

도 8에서와 같이 실제 필터를 구현할 경우에는 각 이득값의 합(Sk)은 초기값으로 설정되므로 필터의 계산 속도에는 별 영향을 끼치지 않는다.

수학적 식 2의 이득값 ki에 따라 서보 모터(40)의 가속도의 변화율이 결정된다. 편의상 이득값 ki를 시간 t에 대한 연속함수 k(t)로 표현하고, k(t)가 다음의 수학적 식 3과 같은 시간에 대한 1차 함수의 관계를 가지면, 저역 통과 필터(50)는 도 3과 같은 속도 프로파일 Va가 입력되었을 때 도 6과 같은 속도 프로파일 Vb를 출력한다.

$$k(t) = \begin{cases} \frac{2a}{F} t & 0 \leq t \leq \frac{F}{2} \\ \frac{2a}{F} (F-t) & \frac{F}{2} < t < F \end{cases}$$

여기서, a는 임의의 양수이며 수학적 식 3의 관계를 도 9a에 그래프로 도시하였다. 이러한 이득값 k(t)는 저역 통과 필터(50)가 디지털 필터이므로 실제로는 영에서 F까지의 기간동안 샘플링 주기 T로 샘플링되어 처리된다. 도 6의 속도 프로파일 Vb에서 가감속 부분은 2차 함수로 된 S자 곡선의 형태를 가진다.

이와 같은 속도 프로파일 Vb를 미분하면 도 6과 같은 가속도 프로파일 A와 저크 프로파일 J를 얻을 수 있다. 즉, 종래의 2개의 선형 필터를 사용한 경우와 같은 저크 파일 J를 하나의 저역 통과 필터만으로 얻을 수 있다.

이와 달리, 이득값 k(t)가 다음의 수학적 식 4와 같은 시간에 대한 2차 함수의 관계를 가지면, 저역 통과 필터(50)는 도 3에서와 같은 속도 프로파일 Va가 입력되었을 때 도 10에서와 같은 속도 프로파일 Vb를 출력한다.

$$k(t) = -at(t-F), \quad 0 < t < F$$

여기서 a는 임의의 양수이며, 수학적 식 4의 관계를 도 9b에 그래프로 도시하였다. 도 10의 속도 프로파일 Vb를 미분하면 도 10의 가속도 프로파일 A와 저크 프로파일 J를 얻을 수 있다. 이 경우에는 저크 파일 J가 도 6에 도시한 것 보다 훨씬 평활화되어 서보 모터가 더욱 부드럽게 동작할 수 있다.

이와 같이 이득값의 차수가 클수록 저크 프로파일이 평활화되어 저크에 기인한 로봇 몸체에 손상을 감소시킬 수 있다.

다음으로 본 발명의 실시예에 따른 경로 계획 방법을 설명한다.

먼저, 설정된 목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일 Va를 계산하고, 속도 프로파일 Va에 대해 경로 보간을 수행하여 평활화된 속도 프로파일 Vb를 형성하고, 속도 프로파일 Vb로 서보 모터의 가감속을 제어하여 경로 계획을 수행한다. 이 때, 경로 보간은 하나의 저역 통과 필터를 사용하여 필터링함으로써 수행된다.

저역 통과 필터를 사용하여 필터링하는 방법은 입력 신호를 연속적으로 지연시켜 순차적인 지연값을 갖는 다수의 지연 신호를 형성하고, 지연 신호에 각각의 이득값을 곱하여 출력한 후, 이득값이 곱해진 각 출력을 합한 값에 이득값의 전체 합의 역수를 곱해서 필터링한다. 여기서 이득값의 전체 합의 역수에 대한 계산은 필터링을 하기 전에 미리 계산되어 초기값으로 설정함으로써, 필터링하는데 걸리는 시간을 줄일 수 있다.

이러한 저역 통과 필터의 이득값을 조절하여 서보 모터의 가속도의 변화율을 조절할 수 있다. 이득값을 시간에 대한 연속 함수로 표현할 때, 함수의 차수가 클수록 서보 모터의 동작이 부드러워진다. 즉, 저역 통과 필터에 입력되는 속도 프로파일이 0차일 때, 이득값이 시간에 대한 1차 함수일 경우 저크 프로파일은 0차가 되고, 이득값이 시간에 대한 2차 함수일 경우 저크 프로파일은 1차가 된다.

로봇의 제어에서는 이러한 저크 프로파일의 차수가 증가하여 평활화될수록 로봇 몸체의 손상을 줄일 수 있다.

발명의 효과

상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 경로 제어에서는 하나의 저역 통과 필터의 이득값을 조절하여 경로 보간을 수행함으로써 서보 모터의 동작을 부드럽게 하고, 로봇 제어에 사용할 경우 저크의 변화가 완만해져서 로봇 몸체에 대한 손상을 줄일 수 있다. 또한 저역 통과 필터를 구현할 경우, 이득값의 합을 가감속 구간이 주어지면 미리 계산할 수 있으므로, 필터의 계산 속도를 증가시킬 수 있다.

비록 이 발명은 가장 실제적이며 바람직한 실시예를 참조하여 설명되었지만, 이 발명은 상기 개시된 실시예에 한정되지 않으며, 후술되는 청구의 범위 내에 속하는 다양한 변형 및 등가물들도 포함한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일 Va를 계산하여 출력하는 플래너,
 하나의 지역 통과 필터로 형성되고 상기 플래너로부터 상기 속도 프로파일 Va를 입력받아 경로 보간을 수행하여 평활화된 속도 프로파일 Vb를 출력하는 보간기,
 상기 보간기의 출력을 받아 서보 모터의 가감속을 제어하는 서보 제어부를 포함하는
 경로 계획 장치.

청구항 2

제1항에서,
 상기 지역 통과 필터는
 직렬 접속된 다수의 단위 지연 소자와
 상기 단위 지연 소자 출력에 각각의 이득값을 곱하는 다수의 제1 계수 승산기와
 상기 다수의 계수 승산기의 출력을 모두 합하는 덧셈기와
 상기 덧셈기의 출력에 상기 이득값 전체의 합의 역수를 곱하는 제2 계수 승산기를 포함하는
 경로 계획 장치.

청구항 3

제2항에서,
 상기 단위 지연 소자는 쉬프트 레지스터로 형성되는
 경로 계획 장치.

청구항 4

제2항에서,
 상기 이득값은 시간에 대해 1차 함수의 관계를 갖는
 경로 계획 장치.

청구항 5

제4항에서,
 시간을 t라 하고, 상기 이득값을 k(t)라 하고, 상기 서보 모터 가감속 구간의 크기를 F라 하고 임의의 양수를 a라 할 때, 상기 1차 함수는 다음 식

$$k(t) = \begin{cases} \frac{2a}{F}t & 0 \leq t \leq \frac{F}{2} \\ \frac{2a}{F}(F-t) & \frac{F}{2} < t < F \end{cases}$$

과 같은
 경로 계획 장치.

청구항 6

제2항에서,
 상기 이득값은 시간에 대해 2차 함수의 관계를 갖는
 경로 계획 장치.

청구항 7

제6항에서,
 시간을 t라 하고, 상기 이득값을 k(t)라 하고, 상기 서보 모터의 가감속 구간의 크기를 F라 하고 임의의 양수를 a라고 할 때, 상기 2차 함수는 다음 식

$$k(t) = -at(t-F), \quad 0 < t < F$$

과 같은

경로 계획 장치.

청구항 8

목표에 대한 위치 신호를 입력받아 속도 프로파일 Va를 계산하는 단계,
 하나의 지역 통과 필터를 사용하여 상기 속도 프로파일 Va에 대해 경로 보간을 수행하고 평활화된 속도 프로파일 Vb를 형성하는 단계,
 상기 속도 프로파일 Vb로 서보 모터의 가감속을 제어하는 단계를 포함하는
 경로 계획 방법.

청구항 9

제8항에서,
 상기 속도 프로파일Vb를 형성하는 단계는
 입력 신호를 연속적으로 지연시켜 순차적인 지연값을 갖는 다수의 지연 신호를 형성하는 단계,
 상기 지연 신호에 각각의 이득값을 곱하여 출력하는 단계,
 상기 이득값이 곱해진 각 출력을 합한 값에 상기 이득값의 전체 합의 역수를 곱하는 단계를 포함하는
 경로 계획 방법.

청구항 10

제9항에서,
 상기 이득값 전체의 합의 계산은 필터가 동작하기 전에 미리 계산되어 초기값으로 설정되는
 경로 계획 방법.

청구항 11

제9항에서,
 상기 이득값을 조절하여 서보 모터의 가속도의 변화율을 조절하는
 경로 계획 방법.

청구항 12

제9항에서,
 상기 이득값은 시간에 대해 1차 함수의 관계를 갖는
 경로 계획 방법.

청구항 13

제12항에서,
 시간을 t라 하고, 상기 이득값을 k(t)라 하고, 상기 보간기의 가감속 구간의 길이를 F라 하고 임의의 양 수를 a라 할 때, 상기 1차 함수는 다음 식

$$k(t)=\left\{\begin{array}{ll} \frac{2a}{F}t & 0\leq t\leq \frac{F}{2} \\ \frac{2a}{F}(F-t) & \frac{F}{2}\leq t\leq F \end{array}\right.$$

과 같은
 경로 계획 방법.

청구항 14

제9항에서,
 상기 이득값은 시간에 대해 2차 함수의 관계를 갖는
 경로 계획 방법.

청구항 15

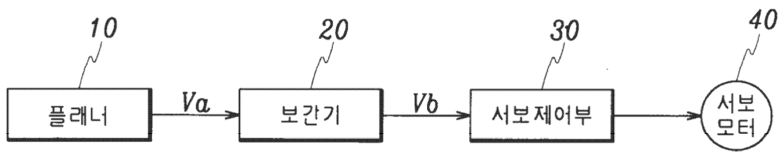
제14항에서,
 시간을 t라 하고, 상기 이득값을 k(t)라 하고, 상기 보간기의 가감속 구간의 길이를 F라하고 임의의 양 수를 a라고 할 때, 상기 2차 함수는 다음 식

$$k(t)=-at(t-F), \quad 0 < t < F$$

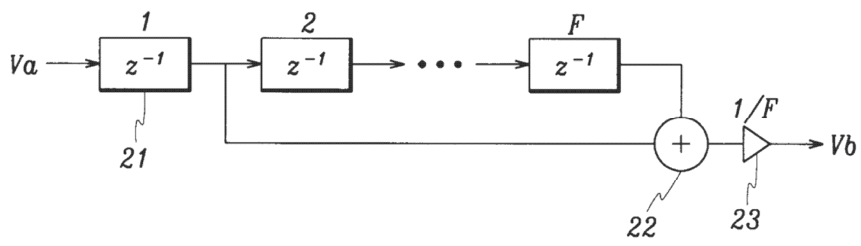
과 같은
경로 계획 방법.

도면

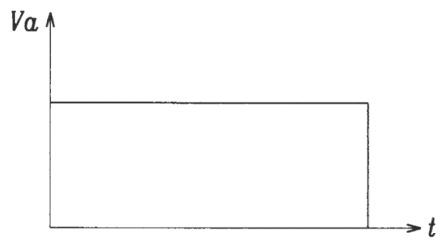
도면1



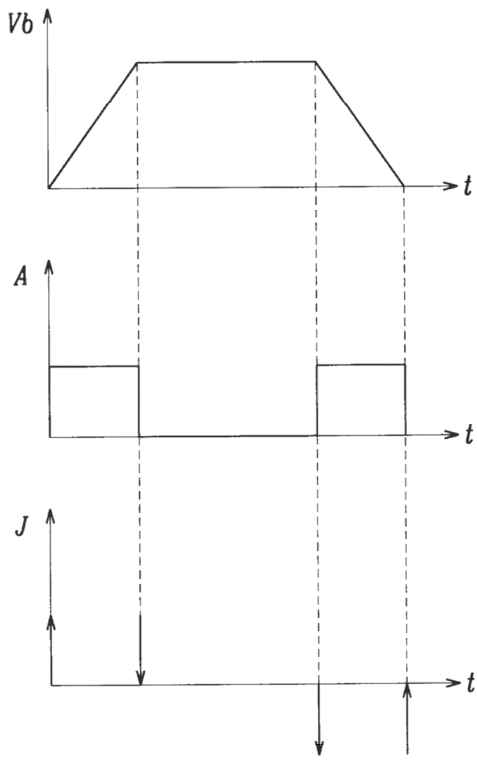
도면2



도면3

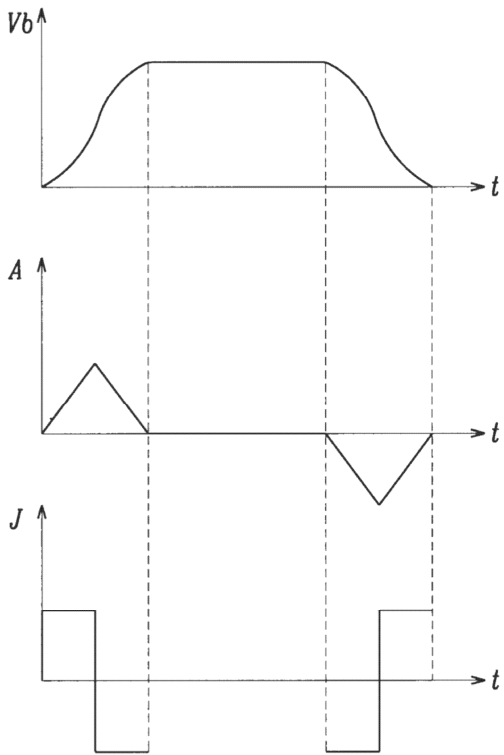


도면4

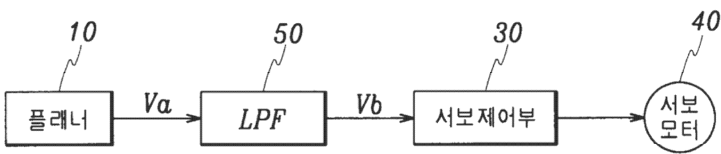


도면5

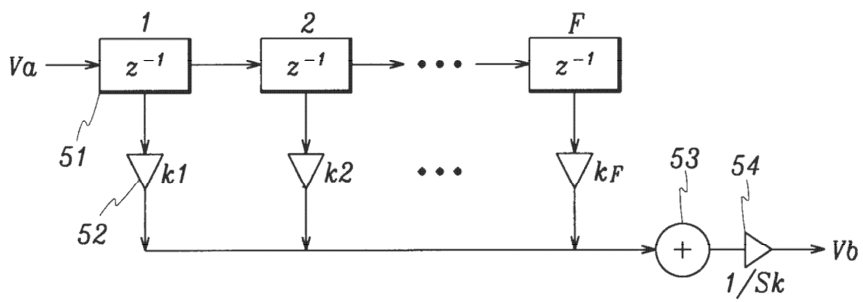
도면6



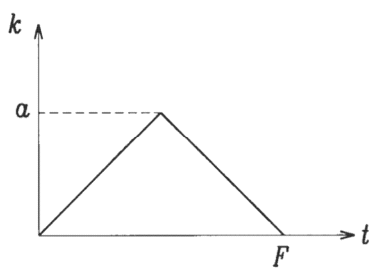
도면7



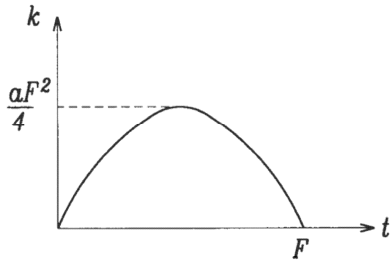
도면8



도면9a



도면9b



도면10

