



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. G01P 9/02 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년12월14일 10-0657424 2006년12월07일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0112471 2005년11월23일 2005년11월23일	(65) 공개번호 (43) 공개일자
----------------------------------	---	------------------------

(73) 특허권자 세종대학교산학협력단
 서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자 박성수
 서울 광진구 군자동 98 세종대학교 항공우주공학과

(74) 대리인 김종관
 박창희
 권오식

(56) 선행기술조사문헌 JP08184448 A JP10260199 A JP07260494 A * 심사관에 의하여 인용된 문헌	JP10103960 A JP6160096 A KR1020020093054 A
--	--

심사관 : 우귀애

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법

(57) 요약

본 발명은 소형 비행체·이동차량의 자동항법, 카메라의 안정화 장치, 자세 제어시스템, 고층건물의 방진 등에 널리 활용되고 있는 진동형 자이로스코프와 가속도계 센서에 관한 것으로, 특히 종래의 단일 질량소자를 갖는 1축-자이로스코프 구조물을 이용하여, 구조물에 내재된 가공오차 및 감쇠계수를 자동으로 보정하는 1축-자이로스코프와 2축-가속도계 센서를 동시에 구현하는 방법에 관한 것이다. 본 발명의 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법은, a) 자이로스코프의 내부운동의 경로를 정의하는 단계; b) 자이로스코프의 검출 전극을 통해 질량소자의 경로를 검출하는 단계; c) 상기 b) 단계에서 검출된 경로가 상기 a) 단계에서 정의된 내부운동의 경로와 일치하는지 여부를 판단하는 단계; d) 상기 질량소자가 상기 a) 단계에서 정의된 경로를 추종하도록 구동 전극을 제어하는 단계; e) 구조물 특성상의 제조공차, 감쇠계수, 각속도 및 선형가속도를 자동 동정(identification)하는 단계; f) 상기 e) 단계에서 구한 동정값을 이용하여 구동 전극을 추가 제어하는 단계; g) 상기 e) 단계에서 구한 각속도 및 선형가속도 신호를 처리하는 단계; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대표도

도 5

특허청구의 범위

청구항 1.

- a) 자이로스코프의 내부운동의 경로를 정의하는 단계;
- b) 자이로스코프의 검출 전극을 통해 질량소자의 경로를 검출하는 단계;
- c) 상기 b) 단계에서 검출된 상기 질량소자의 경로가 상기 a) 단계에서 정의된 내부운동의 경로와 일치하는지 여부를 판단하는 단계;
- d) 상기 질량소자가 상기 a) 단계에서 정의된 경로를 추종하도록 구동 전극을 제어하는 단계;
- e) 구조물 특성상의 제조공차, 감쇠계수, 각속도 및 선형가속도를 자동 동정(identification)하는 단계;
- f) 상기 e) 단계에서 구한 동정값을 이용하여 구동 전극을 추가 제어하는 단계;
- g) 상기 e) 단계에서 구한 각속도 및 선형가속도 신호를 처리하는 단계;

로 이루어지는 것을 특징으로 하는 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 상기 a) 단계에서의 자이로스코프의 내부운동의 정의로서,

자이로스코프 구조물을 지속여기조건(persistent excitation condition)을 만족하는 내부운동을 발생시키는 장치로 인식하여 자이로스코프의 내부운동을 정의하는 것을 특징으로 하는 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법.

청구항 3.

제 2항에 있어서, 상기 a) 단계에서의 자이로스코프의 내부운동의 정의로서,

평면상에서의 X축과 Y축으로의 파형 주파수가 서로 다른 삼각파로 정의하는 것을 특징으로 하는 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법.

청구항 4.

제 2항에 있어서, 진동형 자이로스코프의 구조물에 내재된 제조공차, 감쇠계수 및 각속도와 선형가속도를 자동 동정하기 위한 연산으로서 하기의 수학적식을 사용하는 것을 특징으로 하는 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법.

$$\begin{aligned}\hat{R} &= \frac{1}{2} \gamma_R (f_0 q_m^T + q_m f_0^T) \\ \hat{D} &= \frac{1}{2} \gamma_D (f_0 \dot{q}_m^T + \dot{q}_m f_0^T) \\ \hat{\Omega} &= \gamma_\Omega (f_0 \dot{q}_m^T - \dot{q}_m f_0^T) \\ \hat{a} &= f_0 + \lambda_p (q - q_m)\end{aligned}$$

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 소형 비행체·이동차량의 자동항법, 카메라의 안정화 장치, 자세 제어시스템, 고층건물의 방진 등에 널리 활용되고 있는 진동형 마이크로 자이로스코프와 가속도계 센서에 관한 것으로, 특히 종래의 단일 질량소자를 갖는 1축-자이로스코프 구조물을 이용하여, 구조물에 내재된 가공오차 및 감쇠계수를 자동으로 보정하는 1축-자이로스코프와 2축-가속도계 센서를 동시에 구현하는 방법에 관한 것이다.

자이로스코프와 가속도계는 항공기, 선박 및 자동차 등의 관성항법장치 및 관성유도장치에 쓰이는 각속도와 선형가속도를 측정하는 센서이다. 자이로스코프는, 종래에는 미사일·선박·항공기 등에서 오래 전부터 사용되어 왔으나, 현재에는 상기와 같은 군사적 목적 뿐 아니라 상술한 바와 같은 소형 비행체·이동차량의 자동항법, 카메라의 안정화 장치 등과 같은 민수용으로 사용 영역이 크게 확대되어 가고 있는 실정이다. 전자의 목적(미사일·선박·항공기 등에 사용되는 목적)에 의한 자이로스코프는 다수의 복잡한 부품이 정밀한 가공과 조립 공정을 거쳐서 생산되는 바, 정밀하고 정확한 각속도 및 선형가속도를 측정할 수 있다는 장점은 있으나, 제작비용이 많이 들 뿐 아니라 대형화된 구조를 가지게 되는 것이 필연적이기 때문에 일반 산업용·생활 가전용으로 사용되기에는 적합하지 못하였다는 단점이 있었다. 따라서 이를 극복하기 위하여, 일본의 무라타(Murata)사에서 삼각 프리즘 형태의 빔에 압전소자를 부착한 소형 자이로스코프를 개발하고 이는 소니(Sony), 마쓰시타(Matsushida) 비디오 카메라의 손떨림 감지 센서로 사용되었으며, 토킨(Tokin)사에서는 상기와 같은 압전 소자를 부착한 자이로스코프 제작상의 난점을 극복하기 위한 개선된 원통형 빔 주고를 가지는 소형 자이로스코프를 개발한 바 있다. 그러나 상기와 같은 소형 자이로스코프 역시 정밀 가공을 필요로 하는 소형 부품으로 이루어져 있으며, 제작이 어렵고 고가의 비용이 소요될 뿐 아니라, 다수의 기계 부품으로 이루어지는 바 일체형으로 개발하기 어렵다는 점이 지적된다.

현대에는 초정밀 가공(micro machining) 기술의 축적으로 인하여 많은 기계적 제품들이 소형화될 수 있게 되었으며, 초정밀 가공 기술로 제작되는 마이크로 자이로스코프가 상용화되어 있으며, CSDL사에서 개발한 미국 특허 제 5349855호에 개시되어 있는 튜닝 포크 모드(tuning fork mode)를 이용하는 코움 구동형 마이크로 자이로스코프(comb motor type gyroscope)가 대표적으로 사용되고 있다. 진동형 마이크로 자이로스코프는 고감도·저가격·소형화가 가능하며, 종래의 회전형 또는 광학형 자이로스코프가 가지고 있는 단점을 해결하고 있는데, 이는 1개의 선형 질량소자, 2개의 선형 질량소자, 또는 1개의 실린더 및 원형의 질량소자를 전자기력 또는 정전기력을 이용하여 공진시키면서 회전 각속도에 비례하여 질량소자가 공진의 직각 방향으로 변위하는 양이 코리올리스 힘에 비례하는 특성을 측정함으로써 각속도를 계측할 수 있도록 한 것이다. 그러나 이러한 자이로스코프 역시, 진동이 발생하는 각각의 방향에 대하여 고유 진동수를 일치시켜야 하지만 이 조건을 만족할 만큼의 소정의 가공 오차 내에서 가공한다는 것이 매우 어려우며, 그 설계 구조상 자이로스코프의 감도를 상승시키면 선형성이 불량해지는 등 여러 가지 개선되어야 할 점이 대두되고 있는 실정이다. 그러므로 보다 소형화되고 간단한 구조를 가지면서도 정확한 측정값을 얻을 수 있는 자이로스코프에의 요구는 계속되어 왔다.

한편, 통상적으로 강체(rigid body)의 3차원 운동을 측정하기 위해서는 3개의 자이로스코프와 3개의 가속도계를 서로 직각으로 배치한 6-자유도 관성센서유닛을 사용한다. 차량의 이동 경로나 가정용 로봇 등의 운동과 같은 경우 2차원 평면으로 가정하여도 충분하기 때문에 이와 같은 2차원 운동을 측정하기 위해서는 1축의 자이로스코프와 2축의 가속도계를 서로 직각으로 배치한 3-자유도 관성센서유닛을 사용한다.

도 1에는 종래의 마이크로 1축-가속도계 센서가 예시되어 있다. 질량소자(11)는 지지 빔(12)에 의해 지지되어 있고, 질량소자(11)의 변위를 검출하기 위한 검출 전극(13)이 빗살형태로 형성되어 있다. 관성력이 인가되면 질량소자(11)는 도 1에 정의된 Y축 방향으로 움직이는데, 이 때 질량소자(11)의 전극 사이에 형성되는 대향면적이 변화되어 전극 사이의 커패시턴스(capacitance, C)가 변화하게 된다. 커패시턴스의 변화는 인가된 관성력에 비례하므로 이를 측정함으로써 선형가속도를 계측할 수 있다.

도 2에는 종래의 단일 질량소자(21)를 갖는 진동형 마이크로 1축-자이로스코프 센서가 예시되어 있다. 질량소자는 구동 빔(22)에 의해 지지되어, 질량소자(21)가 도 2에 정의된 X축 방향으로 진동할 수 있다. X축 방향으로 질량소자(21)를 진동시키기 위한 구동 전극(23)과 X축 방향으로의 질량소자(21)의 진동을 검출하기 위한 검출 전극(25)이 빗살형태로 형성되어 있으며, Y축 방향으로의 질량소자(21)의 진동을 검출하기 위한 검출 전극(26) 역시 빗살형태로 형성되어 있다. 회전 각속도가 인가되면, 코리올리스 힘에 의하여 질량소자(21)는 도 2에 정의된 Y축 방향으로도 진동하는데, 이 때 질량소자(21)의 전극 사이에 형성되는 대향면적이 변화되어 전극 사이의 커패시턴스가 변화하게 된다. 커패시턴스의 변화는 인가된 회전 각속도와 비례하므로 이를 측정함으로써 각속도를 계측할 수 있다.

그런데, 이러한 종래의 자이로스코프는 코리올리스 힘 뿐 만이 아니라 관성력과, 제조공차, 재료의 비균질성 및 온도변화에 따른 기계적 특성의 변화에 기인한 예기치 않은 힘에 의해서도 도 2에 정의된 Y축 방향으로도 진동하게 되는데, 이는 측정오차·측정범위 축소·민감도 저하·스케일 팩터의 불안정성의 원인이 된다. 종래에는 이러한 원인을 보정하기 위하여 초기 수동 보정, 또는 Y축 방향으로 진동을 상쇄하기 위한 페루프 제어기를 사용했는데, 도 2에 정의된 단일 질량소자를 갖는 진동형 자이로스코프의 종래 기술사상인, X축으로의 구동-Y축에서의 검출방식으로는 관성력과 X-Y축의 커플드(coupled)된 감쇠계수에 의한 영향은 제거할 수 없다.

한편, 종래의 자이로스코프의 측정오차의 한 원인인 관성력을 측정할 수 있다면, 자이로스코프의 측정 정확성을 기할 수 있을 뿐만 아니라, 2축의 선형가속도를 측정할 수 있는 것이 되므로, 단일 질량소자를 기반으로 한 1축-자이로스코프와 2축-가속도계 센서를 구현할 수가 있어, 종래의 1축의 자이로스코프와 2축의 가속도계를 서로 직각으로 배치한 3-자유도 관성센서유닛을 단일 구조물로 구현할 수 있게 된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법을 제공함에 있다. 보다 상세하게는, 단일 질량소자를 갖는 종래의 마이크로 자이로스코프 구조물을 이용하여 각속도뿐만 아니라 선형가속도까지 측정할 수 있도록 함으로써 1축-가속도계 및 2축-선형가속도계가 단일 구조상에서 동시에 구현될 수 있도록 하는 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법은, a) 자이로스코프의 내부운동의 경로를 정의하는 단계; b) 자이로스코프의 검출 전극을 통해 질량소자의 경로를 검출하는 단계; c) 상기 b) 단계에서 검출된 상기 질량소자의 경로가 상기 a) 단계에서 정의된 내부운동의 경로와 일치하는지 여부를 판단하는 단계; d) 상기 질량소자가 상기 a) 단계에서 정의된 경로를 추종하도록 구동 전극을 제어하는 단계; e) 구조물 특성상의 제조공차, 감쇠계수, 각속도 및 선형가속도를 자동 동정(identification)하는 단계; f) 상기 e) 단계에서 구한 동정값을 이용하여 구동 전극을 추가 제어하는 단계; g) 상기 e) 단계에서 구한 각속도 및 선형가속도 신호를 처리하는 단계; 로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

발명의 구성

이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 단일 질량소자 기반 진동형 자이로스코프의 1축 각속도 및 2축 선형가속도 측정방법을 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

도 2에는 종래의 단일 질량소자(21)를 갖는 진동형 마이크로 1축-자이로스코프 센서가 예시되어 있다. x와 y를 도 2에 도시된 X축과 Y축으로의 질량소자의 변위라고 하면, 질량소자의 운동방정식은 제조공차, 감쇠계수 및 관성력의 영향을 고려하여 하기의 수학식으로 표현된다.

수학식 1

$$\begin{aligned} \ddot{a}_x + \ddot{x} + c_{xx}\dot{x} + w_x^2 x + c_{xy}\dot{y} + w_{xy}y &= \tau_x + 2\Omega\dot{y} \\ \ddot{a}_y + \ddot{y} + c_{yy}\dot{y} + w_y^2 y + c_{yx}\dot{x} + w_{yx}x &= \tau_y - 2\Omega\dot{x} \end{aligned}$$

여기서 w_x, w_y 는 각각 X축과 Y축의 고유진동수이며, c_{xx}, c_{yy} 는 감쇠계수이고, w_{xy}, c_{xy} 는 X-Y축의 커플드(coupled)된 진동수 및 감쇠계수이며, Ω 는 인가된 각속도이고, a_x, a_y 는 관성 가속도, 그리고 τ_x, τ_y 는 각 축의 제어입력이다.

X축과 Y축의 고유진동수는 제조공차의 영향으로 설계된 값과 다를 수 있으며, X-Y축의 커플드(coupled)된 진동수 및 감쇠계수는 제조공차에 따른 오류로서 보정되어야 하는 값이다. 인가된 각속도를 측정하는 것이 자이로스코프의 목적이며, 인가된 관성 가속도를 측정하는 것이 가속도계 센서의 목적이 된다. 본 발명에 따르면, 인가된 각속도와 관성 가속도뿐만 아니라, 제조공차에 따른 고유진동수의 오류 및 커플드(coupled)된 진동수와 감쇠계수 모두를 동정할 수 있다.

도 3에는 본 발명에 따른 마이크로 자이로스코프 구조물에 대한 제어방법의 개략적인 구성을 도시하고 있다. 도 3의 내부운동발생부(371)는 구조물이 지속여기조건(persistent excitation condition)을 만족하도록 내부운동을 정의하는 부분으로, 즉 상기 자이로스코프의 질량소자(31)가 추종해야 할 경로를 발생시킨다. 도 4에 자이로스코프의 질량소자가 추종해야 할 경로가 싸인파/코싸인파의 파형으로 예시되어 있다. 이 때, 중요한 것은 도 3에 도시된 X축과 Y축으로의 파형 주파수가 서로 달라야 한다는 점이다. 이는 종래의 자이로스코프 기술사상인 X축과 Y축의 공진주파수를 일치시켜 민감도를 향상시킨다는 점과 분명한 차이를 보인다.

도 3의 운동추종제어부(372)는 질량소자가 미리 정의된 경로를 추종하도록 진동형 자이로스코프의 2개의 구동 전극(33, 34)의 전압을 제어한다. 도 5에 운동추종제어부의 실시예가 도시되어 있다. 도 5의 X축과 Y축 파형(51, 52)은 도 3의 내부운동발생부(371)의 신호이며, 이 신호와 도 3의 2개의 검출 전극(35, 36)에서 검출한 질량소자(31)의 경로(511, 521)와 비교하여 피드백 제어를 수행하되, 운동추종제어부(372)는 입력 신호에 따라 빠른 응답특성을 가질 수 있도록 하는 것이 유리하므로 이와 같은 조건을 만족시킬 수 있는 비례미분제어(57)를 수행한다.

도 3의 자동동정부(373)는 자이로스코프의 구조물에 내재된 제조공차, 감쇠계수 및 각속도와 선형가속도를 자동 동정한다. 도 5에 자동동정부의 실시예가 도시되어 있다. 도 5의 내부운동발생부 신호(51, 52)와 운동추종제어부 신호(53)는 MUX되어 파라미터적응알고리즘(PAA, Parameter Adaptation Algorithm)(54)을 통해 인가된 각속도, 제조공차에 따른 고유진동수의 오류 및 커플드(coupled)된 진동수와 감쇠계수와 인가된 관성 가속도를 동정한다. 파라미터적응알고리즘(54)은 하기의 수학식에 의해 계산된다.

수학식 2

$$\begin{aligned} \hat{R} &= \frac{1}{2} \gamma_R (f_0 q_m^T + q_m f_0^T) \\ \hat{D} &= \frac{1}{2} \gamma_D (f_0 \dot{q}_m^T + \dot{q}_m f_0^T) \\ \hat{\Omega} &= \gamma_\omega (f_0 \dot{q}_m^T - \dot{q}_m f_0^T) \\ \hat{a} &= f_0 + \lambda_p (q - q_m) \end{aligned}$$

여기서 $\hat{R}, \hat{D}, \hat{\Omega}, \hat{a}$ 는 각각 고유진동수의 오류, 감쇠계수, 인가된 각속도, 인가된 관성가속도의 동정값이다. 또 f_0 는 운동추종제어부 신호이며, q_m 은 내부운동발생부 신호이고, q 는 검출한 질량소자의 경로이며, $\gamma_R, \gamma_D, \gamma_\omega, \lambda_p$ 는 각각 비례상수이다.

도 3의 피드포워드제어부(374)는 도 5의 실시예가 도시된 바와 같이 자동동정부(373)에서 구한 동정값(55)과 내부운동발생부 신호(51, 52)를 MUX하여 자이로스코프의 구동 전극(33, 34)의 전압을 추가 제어한다.

도 3의 신호처리부(375)는 자동동정부(373) 얻어진 선형가속도와 각속도 신호를 밴드폭을 고려하여 저주파필터기(56)를 통과시킴으로써 각속도 및 선형가속도와 같은 요구된 형태의 검출 신호로 처리된다.

도시된 도 6의 그래프는 상술한 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프 구조물의 제조공차 및 감쇠계수의 보정오차를 보인 그래프이며, 도시된 도 7의 그래프는 상술한 본 발명에 따라 단일 질량소자 기반 자이로스코프와 가속도계가 측정한 각속도와 선형가속도를 예시한 그래프이다. 도시된 바에 의하여 상술한 바와 같은 방법으로 종래의 진동형 마이크로 자이로스코프를 제어한 결과, 제작오류의 영향이 제거되고 목적한 바와 같이 1축의 각속도 및 2축의 선형가속도를 동시에 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 그 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

발명의 효과

이상에서와 같이 본 발명에 의하면, 종래의 단일 질량소자가 장착된 진동형 마이크로 자이로스코프 구조물을 그대로 이용하여, 구조물에 내재된 제작오류(가공오차, 감쇠계수 등)를 자동으로 보정할 뿐만 아니라, 1축 각속도와 2축 선형가속도를 동시에 측정함으로써, 3-자유도 관성센서유닛을 단일 구조물로 구현할 수 있는 효과가 있다. 또한, 상술한 바와 같이 기존의 진동형 마이크로 자이로스코프를 그대로 이용하되 제어방법만을 다르게 하여 1축 각속도 및 2축 선형가속도를 동시에 측정할 수 있도록 함으로써, 기존의 시스템에 상기의 제어방법을 도입함에 있어서 비용 절감 및 우수한 호환성을 보일 수 있다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 종래의 마이크로 가속도계 개략도.

도 2는 종래 1개의 질량소자가 장착된 진동형 마이크로 1축-자이로스코프의 구조를 보인 개략도.

도 3은 본 발명에 따른 제어방법을 설명하기 위한 구성블록도.

도 4는 자이로스코프의 질량소자가 추종해야 할 경로를 예시한 그래프.

도 5는 본 발명에 따른 운동추종제어부, 자동동정부 및 신호처리부 회로설계의 개략도.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 자이로스코프 구조물의 제조공차 및 감쇠계수의 보정오차를 보인 그래프.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 각속도와 선형가속도의 입력값과 출력값을 비교한 그래프.

****도면의 주요부분에 대한 부호의 설명****

11: 질량소자 12: 지지 빔

13: 검출 전극

21: 질량소자 22: 구동 빔

23, 24: 구동 전극 25, 26: 검출 전극

31: 질량소자 32: 구동 빔

33, 34: 구동 전극 35, 36: 검출 전극

371: 내부운동발생부

372: 운동추종제어부

373: 자동동정부

374: 피드포워드제어부

375: 신호처리부

51, 52: 내부운동발생부 출력신호

53: 운동추종제어부 출력신호

54: 파라미터적응알고리즘(PAA, Parameter Adaptation Algorithm)

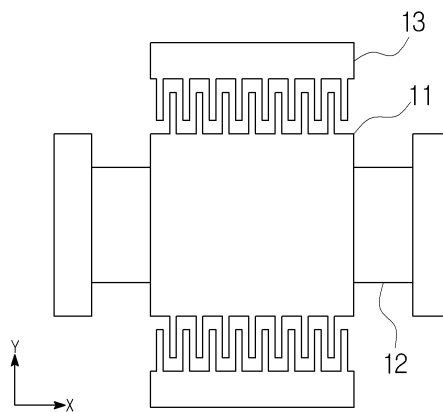
55: 자동동정부 출력신호

56: 저주파필터기(LPF, Low Pass Filter)

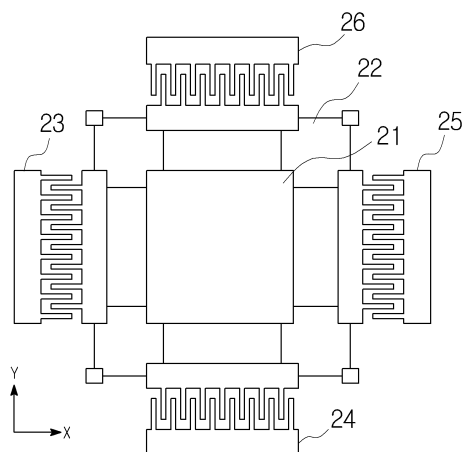
57: 제어게인기

도면

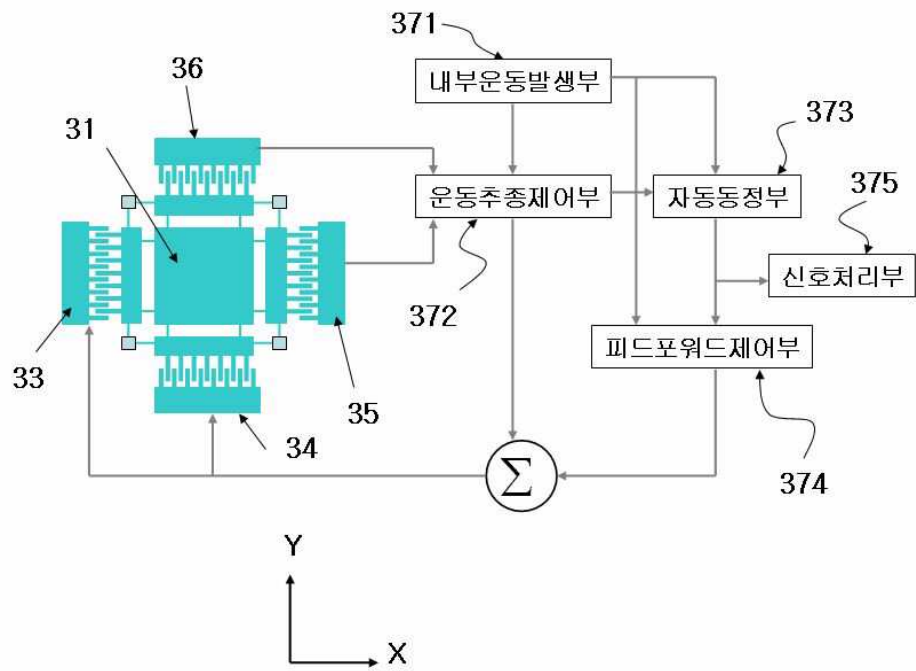
도면1



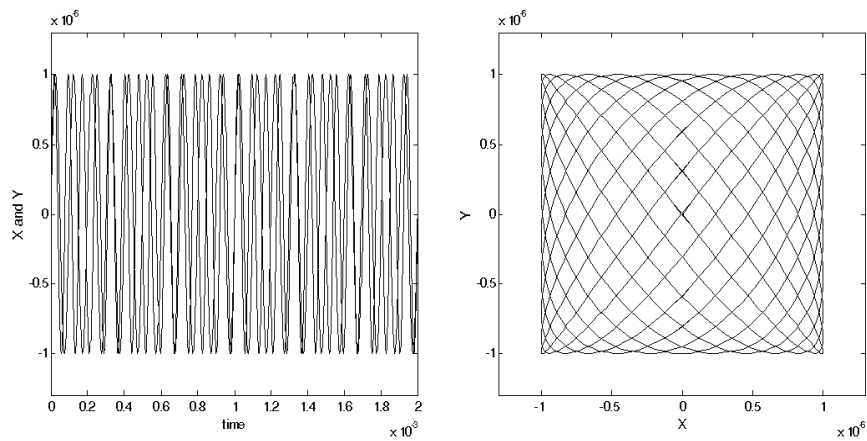
도면2



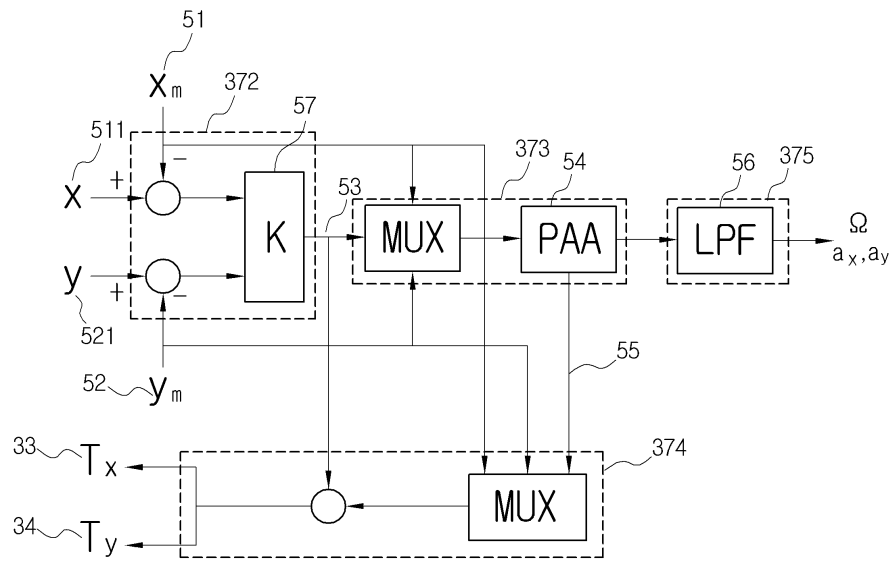
도면3



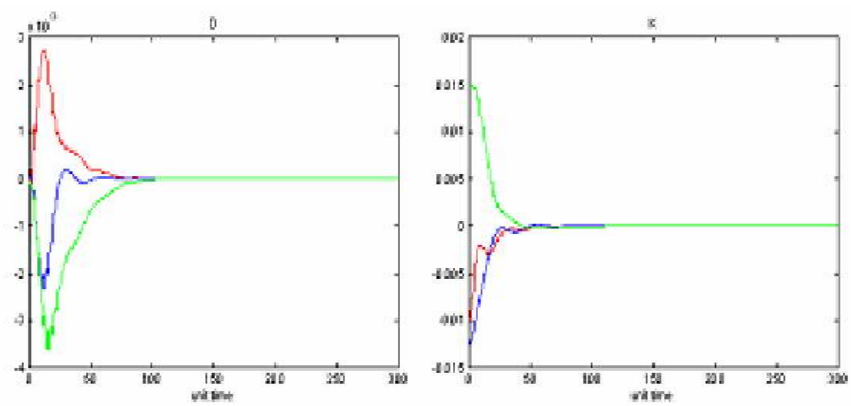
도면4



도면5



도면6



도면7

