

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

| | | | |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|---------------|
| (51) Int. Cl. ⁶ F16C 32/04 | | (45) 공고일자 1999년07월 15일 | |
| | | (11) 등록번호 10-0210655 | |
| | | (24) 등록일자 1999년04월27일 | |
| (21) 출원번호 | 10-1995-0048884 | (65) 공개번호 | 특1997-0055098 |
| (22) 출원일자 | 1995년12월12일 | (43) 공개일자 | 1997년07월31일 |
| (73) 특허권자 | 김종원 서울특별시 강남구 수서동 현대아파트 110동 402호 유선중 | | |
| (72) 발명자 | 김종원 서울특별시 강남구 수서동 현대아파트 110동 402호 유선중 | | |
| (74) 대리인 | 김순영 서울특별시 송파구 문정동 웨일리아파트 215동 703호 | | |

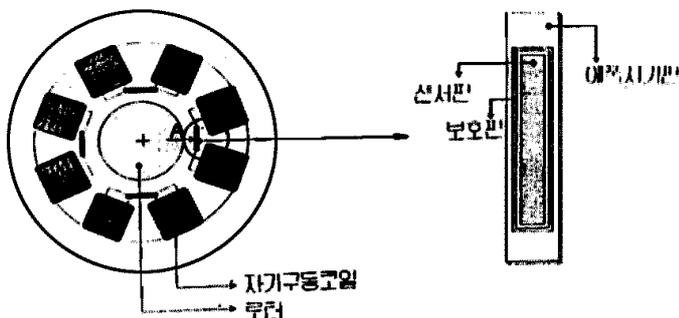
심사관 : 이기현

(54) 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법 및 그 장치

요약

본 발명은 축전센서를 이용하는 자기베어링의 제어방법 및 그 장치에 관한 것으로서 특히 자기베어링에 일체형으로 장착할 수 있는 동위형 축전센서를 사용하여 자기력의 작용점과 변위센서의 측정점의 불일치를 해소하여 자기베어링 지지 축계의 안정성을 도모한 동위형 축전센서를 이용한 자기 베어링의 제어방법 및 그 장치이다.

대표도



명세서

[발명의 명칭]

동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법 및 그 장치

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링의 개략도.

제2도는 본 발명의 실시예로서 설계된 동위형 축전센서의 상세평면도.

제3도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서를 위한 센서 구동부의 블록도.

제4도는 C/V 및 S/H부(10)의 상세회로도.

제5도는 제4도에서의 스위칭신호와 센서전압의 파형도.

제6도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서의 변위 민감도를 측정한 결과를 나타내는 그래프.

제7도는 본 발명에 의한 축전센서의 주파수 특성을 측정하기 위한 로터의 평면도.

제8도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험하기 장치의 개략도.

제9도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험 결과를 나타내는 그래프.

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

10 : C/D 및 S/H부 20 : 저역통과필터
 30 : 제1오프셋 및 이득 조정부 40 : 차등증폭부
 50 : 제2오프셋 및 이득 조정부

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 축전센서를 이용하는 자기베어링의 제어방법 및 그 장치에 관한 것으로서 특히 자기베어링에 일체형으로 장착할 수 있는 동위형 축전센서를 사용하여 자기력의 작용점과 변위센서의 측정점의 불일치를 해소하여 자기베어링지지 축계의 안정성을 도모한 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법 및 그 장치이다.

자기베어링은 전자기력을 능동적으로 제어함으로써 물리적인 접촉 없이 회전축을 지지할 수 있는 기계요소이다. 자기베어링은 구를 접촉식 베어링에 비하여 윤활, 시일, 마모 등의 문제가 없고, 특히 회전축의 진동을 능동적으로 억제할 수 있어서 고속의 회전축을 지지할 필요가 있는 곳에서 광범위하게 사용되고 있다.

전자기적 견인력을 이용하는 자기베어링 시스템은 음의 강성을 가지게 되어 시스템이 불안정하므로 시스템의 안정성을 위하여 일반적으로 로터의 변위를 측정하여 궤환제어하는 페루프시스템을 사용한다.

로터의 변위를 측정하기 위한 종래의 방법으로는 와전류형 변위센서가 있다. 그러나 와전류형 변위센서는 자기베어링이 발생시키는 자기장의 영향을 받기 때문에 자기베어링으로부터 일정한 거리를 두고 설치하여야 하므로 변위 측정 위치와 자기력 작동점 위치가 불일치하게 되어 연성축계의 경우 고속회전시 불안정성을 유발할 수 있다.

로터의 변위를 측정하기 위한 또 다른 종래의 방법으로는 자기장의 영향을 받지 않는 축전센서를 사용하는 방법이 있다.

그러나, 종래의 축전센서들은 센서 구조상의 문제로 인하여 로터의 변위 측정 위치와 자기력 작동점 위치가 일치하지 않는 문제점은 여전히 가지고 있다.

본 발명의 목적은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 자기베어링과 일체형으로 장착되어 로터의 변위 측정 위치와 자기력 작동점 위치를 일치되도록 한 동위형 축전센서를 제공하는 데 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 상기의 동위형 축전센서에 의한 로터의 변위 측정을 포함한 페루프시스템을 사용하여 자기베어링지지 축계의 안정성을 도모한 자기베어링의 제어방법 및 그 장치를 제공하는데 있다.

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어장치는 로터의 변위에 따라서 전기용량이 달라지는 축전센서로서 자기베어링과 일체형으로 장착될 수 있는 동위형 축전센서; 상기동위형 축전센서를 구동하여 로터의 변위에 해당하는 신호를 제어기에 인가하는 센서 구동부; 및 상기 센서 구동부로부터 출력되는 로터의 변위에 따라서 궤환 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이하에서 첨부된 참조하면서 본 발명을 상세하게 설명하기로 한다.

제1도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링의 개략도이다.

제1도에 의하면 본 발명에 의한 동위형 축전센서는 자기베어링에 일체형을 장착되어 있고 자기베어링의 구동코일의 위치와 센서의 위치가 로터 축방향으로 동일한 위치에 설치되어 있다. 이를 위하여, 본 발명에 의한 동위형 축전센서는 자기베어링의 자극 사이에 설치될 수 있는 형상을 가져야 한다. 따라서, 본 발명에 의한 동위형 축전센서는 에폭시기판에 구리막을 입힌 것으로 실제 피측정물체와의 거리를 측정하는 내부의 센서판과 내부 센서판의 전하누설을 방지하기 위한 외부의 보호판으로 구성되어 있다.

제2도는 본 발명의 일실시예로서 설계된 동위형 축전센서의 상세평면도이다.

동위형 축전센서는 자기베어링의 자극과 동위하게 배치될 수 있도록 센서판의 폭은 자기베어링의 인접한 자극간의 거리보다 작게 설계하여야 하고 거리에 대한 민감도를 크게 하기 위하여 축전판의 면적은 보호판보다 가능한 크게 설계한다.

본 발명에 의한 동위형 축전센서는 에폭시 기판(FR4PCB)을 소재로 하여 원하는 형상을 쉽게 제작할 수 있도록 하였으며, 변위를 측정하기 위하여 전하가 충전전되는 센서판과 전기장의 왜곡을 방지하기 위한 보호판은 에폭시 기판위에 0.1mm의 두께의 구리막을 입혀 제작한다. 로터의 표면으로부터 기준간극(0.325mm)의 거리에 위치한 경우 센서의 전기용량은 2.4pF이다. 그리고 센서의 표면은 자기베어링의 제어실형 중 일어날 수 있는 센서면과 로터의 통전을 방지하기 위하여 절연제로 코팅처리하였다.

제3도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서를 위한 센서 구동부의 블록도이다.

센서의 구동회로는 로터의 변위에 비례하는 전압을 출력하는 C/V 및 S/H회로부(10), 노이즈 성분을 제거하기 위한 저역통과필터부(20), 센서의 특성에 따라서 신호의 이득 및 오프셋을 조정할 수 있는 제1이득 및 오프셋 조정부(30), 양방향 센서로부터 차등신호를 구하는 차등증폭부(40), 및 차등증폭부의 출력의 이득 및 오프셋을 조정할 수 있는 제2이득 및 오프셋 조정부(50)를 포함한다.

회전축의 각축의 변위를 한 개의 센서만으로 측정하는 경우, 온도, 습도등의 외부의 환경 변화에 의하여 변위 신호 전압이 변동될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 제3도에서 보이는 바와 같이, 회전축을 중심으로 마주보는 방향에 두 개의 동일한 센서를 설치하여 각각의 변위 신호를 차분하여 제어기에 입력되는 변위신호로서 사용한다.

제4도는 C/V 및 S/H부(10)의 상세회로도이고, 제5도는 제4도에서의 스위칭신호와 센서전압의 파형도이다.

축전센서에서는 센서면과 로터 사이의 전기용량이 양자간의 거리의 함수라는 원리를 이용하는 축전센서의 구동을 위해서는 전기용량을 전압으로 변환해주는 C/V(Capacitance to Voltage Circuit)회로가 필요하다. C/V

회로는 정전센서에 일정한 주기로 전류를 충방전시켜서 계속적으로 변화하는 변위에 비례하는 전압을 측정할 수 있도록 한 회로이다.

한편 일정한 시간간격으로 충방전 되는 축전센서면의 전압을 충방전주기의 끝단에서 샘플링하여 다음의 샘플링까지 동일한 값을 유지시켜주는 S/H(Sample Hold)회로가 필요하다. S/H회로는 C/V회로와 같은 주기로 작동하고 센서판의 전압을 샘플링하여 충방전되는 한주기동안 유지시켜주는 역할을 한다.

센서의 주기적인 작동은 제5도의 스위칭 신호에 의하여 구동되는데 여기서 V_{00} 는 충방전 스위칭 신호, V_{SH} 는 충출과 유지 스위칭 신호를 각각 나타내고, V_p 는 이때 센서에 인가되는 전압의 파형을 각각 나타낸다. C/V회로에서 센서에 충방전 전류를 공급하는 전원부는 제4도에서와 같이 정전류 회로로 구성되어 센서의 선형성을 향상시킨다.

상기와 같은 C/V 및 S/H부(10)에서 만들어지는 변위신호에는 충방전주기에 해당하는 스위칭 노이즈가 포함되어 있으므로 차단주파수가 1kHz인 저역통과 필터부(20)를 사용하여 노이즈를 제거한다.

제10이득 및 오프셋 조정부(30)는 저역통과필터부의 출력부에 위치하고, 센서 회로의 소자들이 가질 수 있는 오차를 보정하기 위한 것으로서 각센서의 변위 신호 전압의 오프셋값과 이득을 조정할 수 있다.

차등증폭부(40)는 양방향 센서로부터 차등신호를 구하는 역할을 하는데, 차등증폭부(40)에 의하여 한 축에 대한 변위신호는 양방향 센서로부터의 차등신호로부터 얻어진다. 이는 한방향 센서를 사용하였을 경우보다 출력값이 2배가 되고 노이즈가 줄어드는 효과를 볼 수 있다. 제3도에서와 같이 증폭기의 조합으로 구성된 차등증폭기를 X방향과 Y방향에 각각 하나씩 배치한다.

제20이득 및 오프셋 조정부(50)는 최종적인 출력인 차등증폭기의 차분 신호의 이득과 오프셋을 조정하여 센서 회로의 소자들의 오차를 보정할 수 있도록 한다.

제10이득 및 오프셋 조정부(30)와 제20이득 및 오프셋 조정부(50)는 X방향 또는 Y방향의 양방향 센서들의 센서 특성을 보정하기 위한 것으로서 제10이득 및 오프셋 조정부(30)와 제20이득 및 오프셋 조정부(50)를 모두 사용하거나, 차등증폭부의 출력단에 위치한 제20이득 및 오프셋 조정부(50)만을 사용할 수도 있다.

상기 센서 구동부로부터 출력되는 로터의 변위에 따라서 쉐한 제어하는 제어부는 일반적인 제어부를 사용할 수 있으며 대표적인 것으로는 PID제어기와 PD제어기 등이 있다.

상기한 바와 같은 센서구동회로를 사용하여 본 발명에 의한 동위형 충전센서의 민감도와 주파수 특성을 조사하였다.

제6도는 본 발명에 의한 동위형 충전센서의 변위 민감도를 측정한 결과를 나타내는 그래프이다.

센서의 민감도란 거리의 변화에 따른 센서의 출력전압의 변화량으로 정의되며 본 출원인들은 97 μ s와 675 μ s의 두가지의 충방전주기에 대하여 각각의 경우 충방전 전류를 변화시켜가며 본 발명에 의한 동위형 충전센서의 민감도를 측정하였다.

제6도에서 보는 바와 같이, 센서의 민감도는 충전전류량에 비례하여 증가하고, 충방전주기가 길어지면 증가하는 결과가 나왔다. 그러나 변위가 0.2mm이상에서는 출력전압의 포화가 생겨서 민감도가 감소함을 알 수 있다. 이는 변위가 큰 구간에서는 센서판에 충방전하는 전하가 외부의 누설량이 커져서 더 이상 보호판으로도 전류의 누설을 억제할 수 없기 때문에 전압의 증가폭이 감소하는 것이다. 제6도에서 보는 바와 같은 센서의 민감도 자료는 자기베어링을 제어하기 위한 표(look-up table)로 작성되어 실시간으로 센서의 출력전압에 해당하는 회전축의 변위를 구할 수 있게 한다.

제7도는 본 발명에 의한 축전센서의 주파수 특성을 측정하기 위한 로터의 평면도이다.

제6도에서의 정적이 정적인 상태에서 센서의 출력을 구하여 이를 자기베어링의 제어에 필요한 기초자료로서 이용하는 것을 설명하였다. 회전축이 회전하는 동적인 상태에서도 이러한 민감도 자료가 타당한가를 확인하기 위하여 제7도에서 보는 바와 같이, 원주방향으로 8개의 볼록한 면이 있는 로터를 로터에 부착하여 회전축의 회전 속도에 따른 센서의 출력전압 변화를 측정하였다. 로터의 원주면의 8곳을 0.2mm 씩 평평하게 가공한 로터를 축에 장착하면 축의 1회전당 8개의 정현함수의 변위신호를 얻을 수 있다. 회전을 12,000rpm까지 회전시키면 1.6kHz까지의 정현파 변위신호를 만들 수 있고 이때 각 주파수에 대하여 센서의 출력전압의 크기와 위상을 측정하여 센서의 주파수 특성을 측정할 수 있다.

실험 결과 본 발명에 의한 축전센서의 주파수 대역은 센서 구동 회로의 충방전 주기가 짧을수록 커지고, 센서에 충방전되는 전류의 크기에는 무관함을 알 수 있다. 또한, 크기가 다른 두 센서가 같은 주파수 특성을 보이는 것도 확인 할 수 있다. 이는 축전센서의 주파수 특성이 축전센서 자체의 특성에 의존하는 것이 아니라 센서 구동회로의 특성에 의존하는 것임을 알 수 있다. 제어실험에서 사용되는 충방전 주기가 97 μ s인 센서의 주파수 대역은 1kHz이다.

본 출원인들은 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험하기 위하여, 자기베어링에 의하여 지지되는 로터계를 다음과 같이 모델링하였다.

자기베어링의 제어실험에 사용되는 로터는 수직형이며 하단부는 볼베어링에 의하여 지지되고 상단부는 자기베어링에 의하여 지지되는 구조이다. 로터는 그 전체 길이에 비해 반경이 상당히 크므로 로터를 강제로 모델링한다. 볼베어링의 상성은 자기베어링의 강성에 비해 매우 크므로 볼베어링의 강성은 모델링하지 않고 단지 로터의 하단부는 볼조인트로 연결된 것으로 가정한다. 하단부가 구속된 로터는 두 개의 자유도를 가질 수 있으므로 자기베어링지지 로터계의 운동방정식은 다음의 두 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} M\ddot{x} + G\dot{y} &= F_{mx} + \frac{l_b}{l} F_{dx} + \frac{1}{l} T_{dy} \\ M\ddot{y} + G\dot{x} &= F_{my} + \frac{l_b}{l} F_{dy} - \frac{1}{l} T_{dx} \end{aligned} \quad (1)$$

상기의 식(1)에서 x , y 는 자기베어링 위치에서의 로터의 변위를, M 은 로터의 등가질량을, G 는 로터의 자이로스 코픽 효과를 나타내는 항이다. 그리고, F_{dx} , F_{dy} , T_{dx} , T_{dy} 는 로터의 질량 중심에 가해지는 외란을 나타내며, l 은 로터의 유효길이를 l_b 는 로터의 질량중심으로부터 볼베어링까지의 거리를 나타낸다. 한편, 자기베어링의 자기력 F_{mx} 와 F_{my} 는 로터 변위 x, y 와 코일에 공급되는 점동전류 I_{px} , I_{py} 의 선형화된 식으로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} F_{mx} &= K_m x + K_i I_{px} \\ F_{my} &= K_m y + K_i I_{py} \end{aligned} \quad (2)$$

상기의 식(2)에서 K_m 과 K_i 는 각각 자기베어링의 위치강성과 전류이득이다.

식(1)과 식(2)을 이용하여 자기베어링 지지 로터계의 상태방정식을 표현하면 다음의 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}} &= \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u} + \underline{D} \underline{w} \\ \underline{y} &= \underline{C} \underline{x} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 출력벡터 y 는 센서 위치에서 측정된 로터의 변위이다.

본 출원인들은 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험하기 위한 시뮬레이션과 자기베어링의 제어실험에 PD제어기를 사용하였다.

$$G_e(S) = K_p + K_d S \quad (4)$$

식(3)의 모델링을 이용하여 제어기의 변수를 결정된 후 후방변환방법에 의하여 이산화시킨다. 이산화된 제어기는 DSP보드내에서 구현되어 자기베어링의 제어에 이용된다. 다음의 식(5)은 이산화된 PD제어기의 식으로서 u 는 제어기 입력을, y 는 제어기 출력을 그리고 T 는 디지털제어기의 샘플링 시간 간격이다.

$$y_k = \left(K_p + \frac{K_d}{T} \right) u_k - \frac{K_d}{T} u_{k-1} \quad (5)$$

다음의 표1에는 모델링 변수 및 제어기 이득의 값이 제시되어 있다.

[표 1]

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| 로터의 등가질량 | $M=0.5951$ kg |
| 로터의 자이로스코픽 항 | $G=4.2994$ Ns/m |
| 로터의 유효길이 | $l=133$ mm |
| 로터의 질량중심으로부터 볼베어링의 길이 | $l_b=90.7$ mm |
| 자기베어링의 위치강성 | $K_m=172000$ N/m |
| 자기베어링의 전류이득 | $K_i=21.3$ N/A |
| PD 제어기의 이득값 | $K_p=5400$ $K_d=3$ |

제8도는 본발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험하기 장치의 개략도이다. 수직으로 설치된 로터의 상단부는 자기베어링의 지지하고 하단부는 볼베어링이 지지하고 있다. 로터를 구동하는 모터는 최고속도 20,000rpm의 블러쉬리스 DC모터로서 수직으로 설치된 로터와는 커플링으로 연결되어 있고 모터의 회전속도는 모터에 내장되어 있는 엔코더를 이용하여 측정한다. 축의 상단부에 설치되어 있는 백업베어링은 시험 중에 축이 자기베어링과 충돌하는 것을 방지하는 역할을 한다. 디지털 제어기는 텍사스 인스트루먼트사의 TMS320C40이 내장되어 제어연산처리를 하는 DSP보드와 12-비트 A/D변환기, 12-비트D/A변환기로 구성되

어 있다. 제어출력신호는 PWM전류 증폭기로 입력되어 자기베어링 시스템을 구동하도록 되어 있다. 486PC에서는 DSP보드의 제어기의 내부변수를 듀얼-포트 RAM을 통해 모니터링한다.

제9도는 본 발명에 의한 동위형 축전센서가 장착된 자기베어링 시스템의 성능을 시험 결과를 나타내는 그래프로서, 로터 회전 속도5,000rpm에서의 동위형 축전센서로 측정된 로터의 중심궤적이다. 제10도에 의하면, 로터의 중심이 지름 30 μ 정도도로 제어되고 있음을 알 수 있다.

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면 자기베어링과 일체형으로 장착되어 로터의 변위의 측정 위치와 자기력 작동점 위치를 일치되도록 한동위형 축전센서에 의하여 축전센서를 사용한 자기베어링지지 축계의 안정성을 도모하여 자기베어링을 더욱 효과적으로 제어할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

축전센서를 이용하는 자기베어링의 제어방법에 있어서, 자기베어링의 구동 코일의 위치와 로터 축방향으로 동일한 위치에 위치하도록 하기 위하여, 구동 코일 사이에 PCB기판을 이용한 동위형 축전센서를 로터의 회전축을 중심으로 양방향으로 장착하는 단계; 및 상기 양방향의 동위형 축전센서로부터의 차등신호에 의하여 한 축에 대한 변위를 측정하는 단계를 포함하는 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 동위형 축전센서는 PCB판에 구리막을 입힌 것으로서 실제 피측정물체와의 거리를 측정하는 내부의 센서판과 내부 센서판의 전하누설을 방지하기 위한 외부의 보호판으로 구성되어 있는 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 동위형 축전센서는 자기베어링의 자극과 동위하게 배치될 수 있도록 상기 내부의 센서판의 폭은 자기베어링의 인접한 자극간의 거리보다 작게 설계하여야 하고 거리에 대한 민감도를 크게하기 위하여 축전판의 면적은 상기의 외부의 보호판보다 크게 설계된 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어방법.

청구항 4

축전센서를 이용하는 자기베어링의 제어장치에 있어서, 자기베어링의 구동 코일의 위치와 로터 축방향으로 동일한 위치에 위치되는 PCB기판을 이용한 동위형 축전센서; 상기 동위형 축전센서를 구동하여 로터의 변위에 해당하는 신호를 제어기에 인가하는 센서 구동부; 및 상기 센서 구동부로부터 출력되는 로터의 변위에 따라서 궤환 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 동위형 축전센서는 PCB판에 구리막을 입힌것으로서 실제 피측정물체와의 거리를 측정하는 내부의 센서판과 내부 센서판의 전하누설을 방지하기 위한 외부의 보호판으로 구성되어 있는 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어장치

청구항 6

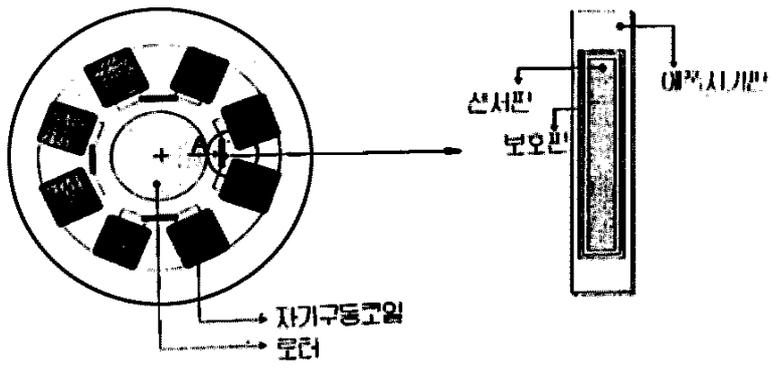
제5항에 있어서, 상기 동위형 축전센서는 로터의 한 축에 대하여 양방향으로 장착되어 있는 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어장치.

청구항 7

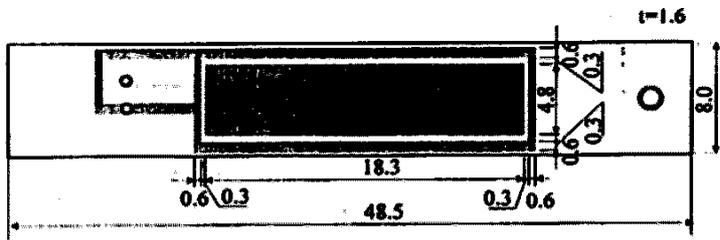
제6항에 있어서, 상기 센서 구동부는 로터의 변위에 비례하는 전압을 출력하고 샘플링 기간동안 전압을 유지해주는 C/V 및 S/H부; 상기 C/V 및 S/H부로부터 출력되는 신호로부터 총반전되는 주기에 해당하는 노이즈 성분을 제거하기 위한 저역통과필터부; 상기 저역통과필터부로부터 출력되는 각 센서의 신호로부터 한 축에 대한 양방향 센서의 차등신호를 구하는 차등증폭부; 및 센서의 특성에 따라서 차등증폭부의 출력의 이득 및 오프셋을 조정할 수 있는 이득 및 오프셋 조정부를 포함하는 것임을 특징으로 하는 동위형 축전센서를 이용한 자기베어링의 제어장치.

도면

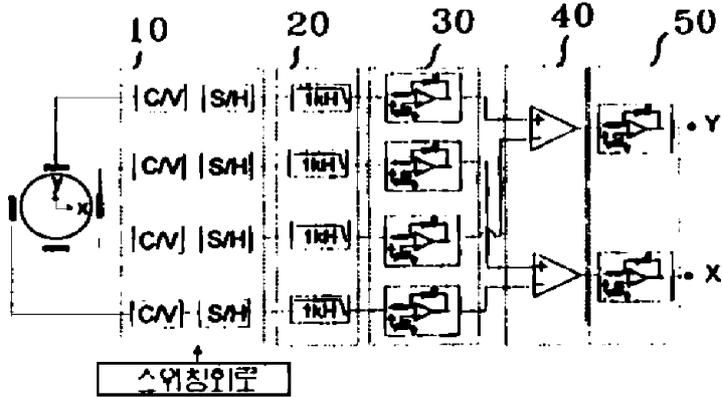
도면1



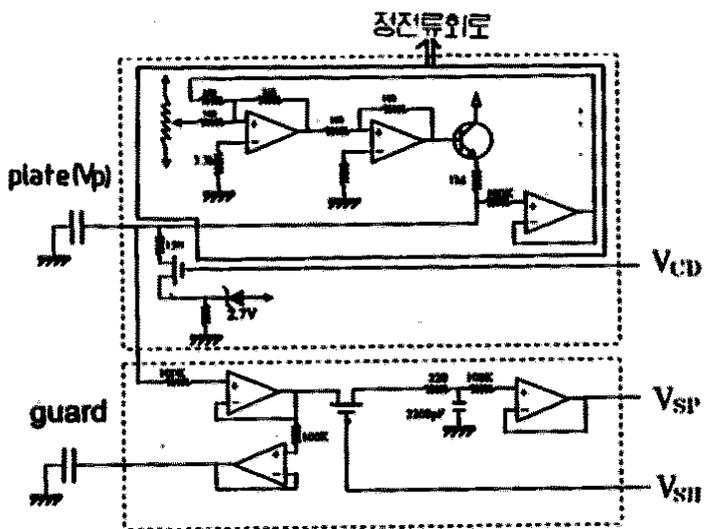
도면2



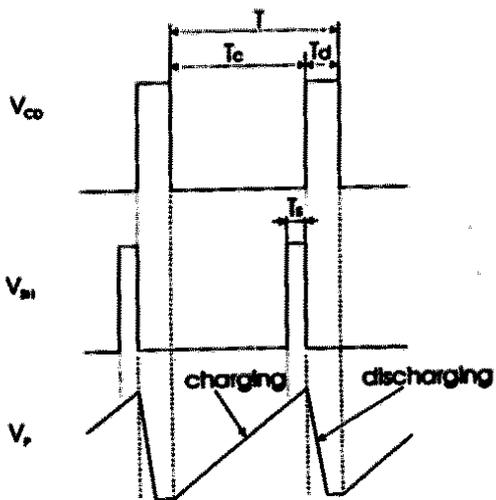
도면3



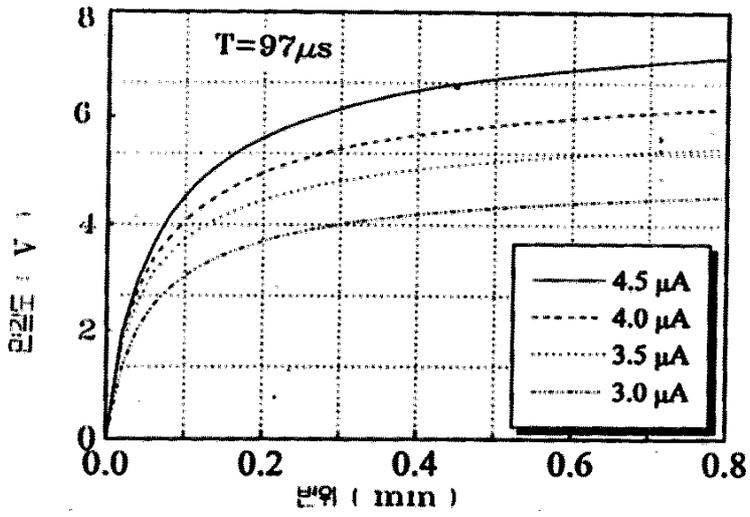
도면4



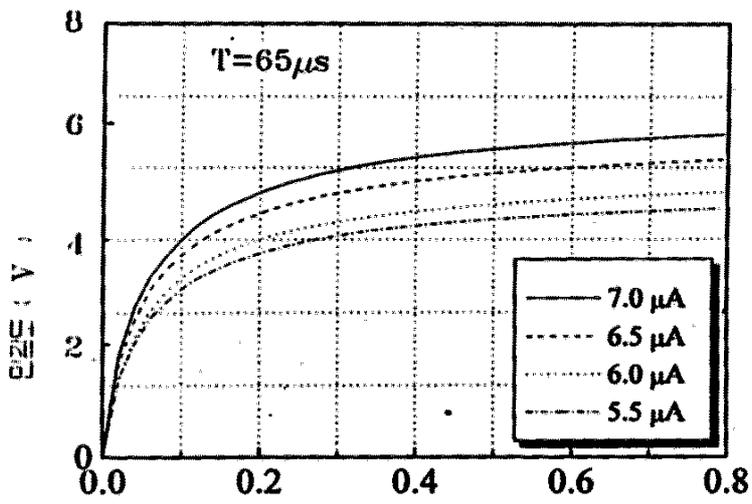
도면5



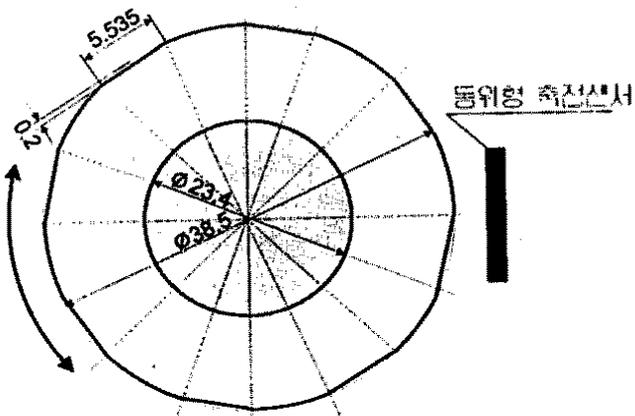
도면6a



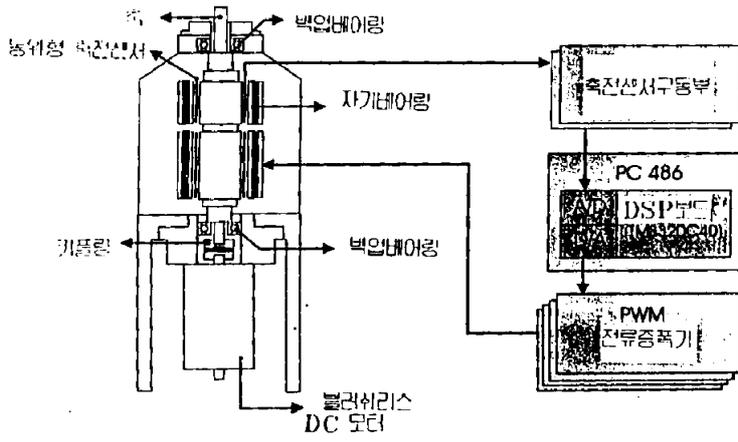
도면6b



도면7



도면8



도면9

