

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. ⁶ G05D 19/00	(11) 공개번호 특 1999-0077460	(43) 공개일자 1999년 10월 25일
(21) 출원번호 10-1999-0006079		
(22) 출원일자 1999년 02월 24일		
(30) 우선권주장 (71) 출원인	9/050,858 1998년 03월 30일 미국(US) 인터내셔널 비지네스 머신즈 코퍼레이션 포만 제프리 엘	
(72) 발명자	미국 10504 뉴욕주 아몬크 후앙푸잉 미합중국 95131 캘리포니아주 산호세 딜루카 드라이브 1586 이마이노 웨인이 사미 미합중국 95139 캘리포니아주 산호세 스틸워터 레인 198 리프란시스시. 미합중국 95120 캘리포니아주 산호세 폭스허스트웨이 1112	
(74) 대리인	김성기, 송병옥	
심사청구 : 없음		

(54) 서보제어식 액추에이터 시스템을 안정화시키기 위한 활성 제어 방법 및 장치

요약

본 발명은 액추에이터의 암 어셈블리의 진동 모드를 보상함으로써 데이터 기록 디스크 드라이브 내의 액추에이터 시스템과 같은 서보 제어식 액추에이터 시스템을 안정화시키기 위한 활성 제어 메카니즘(active control mechanism) 및 방법에 관한 것이다. 제어 메카니즘은 하나 이상의 개별 센서를 포함할 수 있는 감지 배열을 가지며, 이 개별 센서는 암 어셈블리의 진동 모드, 특히 모든 주 진동 모드와 위상이 일치하는 신호를 발생시키는 위치에서 액추에이터에 부착된다. 제어 메카니즘은 상기 신호로부터 강성 보정, 활성 댐핑 보정 및 관성 축소 보정의 3개의 보정 항목으로 구성되는 조정 신호를 유도해 내며 조정 신호는 피드백 제어 루프 내에 사용되어 액추에이터 시스템을 안정화시킨다.

대표도

도 3

색인어

활성 제어 메카니즘, 액추에이터 시스템 안정화 방법, 데이터 기록 디스크 드라이브

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명에 따른 암 어셈블리를 갖는 액추에이터 시스템의 사시도.
- 도 2는 도 1의 시스템에 대한 암 어셈블리의 평면도.
- 도 3은 본 발명에 따른 활성 제어 시스템의 블록 다이어그램.
- 도 4는 코일 지지부 상에서 센서의 위치를 예시하는 개략적인 도면.
- 도 5는 순 동일평면 요동 변형(net in-plane sway deformation)에 대해 스트레인 센서 출력 및 주 진동 모드 사이의 동일평면 관계를 예시하는 표.
- 도 6은 스트레인 센서를 사용하는 경우 조정 신호의 계산을 도시하는 블록 다이어그램.
- 도 7은 스트레인 속도 센서(strain rate sensor)를 사용하는 경우 조정 신호의 계산을 도시하는 블록 다이어그램.
- 도 8은 스트레인 가속도 센서를 사용하는 경우 조정 신호의 계산을 도시하는 블록 다이어그램.
- 도 9는 활성 보상을 갖는 아이비엠 세일핀(IBM Sailfin) 액추에이터 및 활성 보상이 없는 아이비엠 세일핀 액추에이터에 속하는 하나의 암 어셈블리의 전달 함수의 그래프.

- 도 10은 활성 보상이 활성 강성으로 구성되는 경우 아이비엠 세일핀 액추에이터의 전달 함수의 그래프.
- 도 11은 활성 보상이 활성 대량 축소로 구성되는 경우 아이비엠 세일핀 액추에이터의 전달 함수의 그래프.
- 도 12는 어떠한 댐핑 보상도 없는 아이비엠 세일핀 액추에이터의 전달 함수의 그래프.
- 도 13은 중간 레벨의 댐핑 보상을 갖는 아이비엠 세일핀 액추에이터의 전달 함수의 그래프.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 액추에이터 시스템의 다중 진동 모드를 안정시키기 위한 활성 제어(active control) 장치 및 방법에 관한 것이다.

서보-제어식 액추에이터 시스템에서는 기계적인 액추에이터 공진으로 인해 심각한 문제가 발생된다. 이러한 진동 모드는 액추에이터의 자연 모드(natural mode) 및 임의로 개재되는 기계적 구성 요소(intervening mechanical components)의 자연 모드를 포함한다. 기계적 복잡성이 증가되는 경우, 임의의 소정 액추에이터 시스템의 진동 모드는 예측하기 어려워진다. 액추에이터 시스템의 동작 주파수가 증가됨에 따라 문제가 더욱 복잡된다. 진동 모드는 서보 시스템의 제어 루프 이득(control loop gain)을 제한하거나 서보 시스템의 대역폭을 감소시키고, 또는 양자를 모두 감소시킨다. 이것은 변환기 헤드와 같은 피제어 소자로 하여금 위치 지정, 외란(disturbance)에 대한 불량한 응답, 불량한 트래킹 능력 또는 이러한 것들의 임의의 조합 후 과도한 안정 시간을 겪도록 한다.

종래 기술의 시스템은 제어 루프를 안정화시킴으로써 액추에이터 시스템의 안정적인 작동을 확보하려고 노력해 왔다. 이것은 제어 루프 경로 내의 전자 노치 필터(electronic notch filter)와 같은 이득 안정화 필터를 삽입시킴으로써 수행되었다. 이러한 필터는 제어 루프의 하류(downstream) 부분에 배치되어 노치의 대역 거부 주파수(band reject frequency) 범위 내의 신호 정보를 필터링함으로써 이러한 액추에이터의 진동 모드의 여진(excitation)을 최소화시키도록 돕는다.

노치 필터를 사용하는 기술은 서보 제어식 시스템이 약간 댐핑되는 구조로 된 액추에이터 공진을 효과적으로 무시하도록 해준다. 공진시 서보 제어기는 거의 제어 작용을 하지 않는다.

이러한 기술의 단점은 진동 모드의 주파수를 정확하게 예측하는 것이 설계자의 능력에 따라 좌우된다는 것이다. 이것은 서보 시스템이, 예측하지 못한 진동 모드를 여진하는(excite) 다수의 예측하지 못한 외란(disturbance)에 노출되기 때문에 고정밀 체계(regimes)에서 더욱 어려워진다. 예를 들어, 하드 드라이브 액추에이터에서 상기 외란은 서보 증폭기 포화(saturation) 및 왜곡(distortion), 예를 들어 탐색 활성과 같은 것으로 인한 암 어셈블리 상의 외력, 난기류 및 정지 마찰력(striction) 등을 포함한다. 상기 외란은 이득 안정화 필터(gain stabilizing filter)가 제어 루프 내에 존재하는 경우 보정이 불가능한 제어 경로 내의 지점에서 통상적으로 발생된다. 결과적으로, 노치 필터가 서보 제어식 시스템의 예측되는 공진을 감소시키는데 유용하다 하더라도 서보 제어 루프 외부의 에이전트에 의한 다른 진동 모드의 여진(勵振)을 금지하지 않는다.

서보 제어식 시스템의 댐핑(damping) 진동 모드에 대한 또 다른 기술은 1997년 7월 20일부터 23일까지 일본 도쿄에서 개최된 '정보 및 정밀 장비용 마이크로메카트로닉스에 관한 국제 회의'에서 '섹터 서보 시스템용 MR-46 캐리지 가속도 피드백 다중-감지 제어기(MR-46 Carriage Acceleration Feedback Multi-Sensing Controller for Sector Servo System)'에 마사히토 고바야시(Masahito Kobayashi) 등에 의해 발표되었다. 제안된 상기 다중 감지-제어 시스템은 가속도계 (accelerometer)를 사용하여 가속도 피드백을 생성한다. 가속도 피드백 제어기는 피드백 신호를 수신하고 서보를 보상하여 기계적인 공진 모드를 제거한다.

고바야시의 기술이 실연(實演)되었다 하더라도, 이 기술은 노치 필터의 사용없이 효율적으로 구현될 수 없다. 또한, 피드백 제어기를 설계하는 것이 설계자가 서보 제어식 시스템의 매우 복잡한 전달 함수 $H_0(S)$ 를 모델링하는 것을 필요로 한다. 이것은 계산하기 힘들고 상당한 양의 처리 시간을 요구한다. 또한, 피드백 제어기에 사용되는 보상기(compensator)의 극(poles) 및 영점(zeros)이 미리 정해될 수 없기 때문에, 안정적인 보상기의 존재를 보증할 수 없다.

또한, 종래 기술은 제어 루프 내의 저역 통과 필터를 통한 이득 안정화를 교시한다. 이러한 접근 방식에서 제어 루프 내에 삽입되는 저역 통과 필터의 차단 주파수(cutoff frequency)는 통상적으로 액추에이터 구조의 임의의 부드럽게 댐핑되는 공진의 주파수보다 낮다. 따라서, 공진 주파수를 갖는 제어 신호의 성분은 액추에이터 구조의 진동 모드를 여진하는 것을 효과적으로 방지한다. 이것은 시스템 안정성을 확보하는데 도움이 되지만, 또한 서보 루프의 단일 이득 교차점(unity gain crossing) 부근의 주파수에서 위상 변이(phase shift)를 증가시킴으로써 서보 시스템의 대역폭을 감소시킨다. 사실상, 이러한 단점이 노치 필터를 포함하는 모든 이득 안정화 필터에 해당된다. 대역폭의 감소는 런아웃(run out)과 외부 여진, 및 위치 지정 동작시의 비선형성으로 인한 외란과 같은 트래킹 성능과 저주파 진동을 보정하기 위한 서보 시스템의 능력을 차례로 감소시킨다.

시드먼(Sidman)등에게 허여된 미국 특허 제5,459,383호는 제어점에서 또는 제어점 근처에서 서보 시스템 내에 위치되는 운동 센서를 사용하는 피드백 루프를 교시한다. 상기 센서는 제어점 또는 제어점 근처에 위치되기 때문에 평행 배치되어 있다(collocated)고 불리운다. 동작하는 동안 센서는 액추에이터의 강

체 운동 및 변형의 양자 모두를 검출한다. 강제 운동으로부터의 신호 성분은 항상 변형으로 인한 것보다 훨씬 크다. 평행 배치된 피드백 루프는 정규 피드백 루프(ordinary feedback loop)와 함께 동작하며 시스템의 기계적 구조가 실제로 처리 되는 것보다 훨씬 기계적인 댐핑을 가지는 것처럼 서보 시스템을 수행시키는 효과를 갖는다.

시드먼의 시스템이 내부 및 외부로 유도된 진동 모드에 대한 위치 제어 및 허용 공차를 개선한다고 하더라도, 여전히 이득 필터에 의존한다. 이러한 필터의 일부 부정적인 효과는 평행 배치된 피드백 루프(collimated feedback loop)에 의해 감소되지만, 대다수 심각한 단점, 특히 엔지니어가 적절한 시스템 설계를 확신하기 위한 시간에 앞서 진동 모드를 알아야 할 필요성이 미연에 방지되지 않는다. 또한, 센서로부터 유도되는 신호는 큰 강제 성분을 포함하는데, 이 성분은 또한 피드백 루프에 의해 처리되며 액추에이터의 강제 운동의 특성에 영향을 준다. 이것은 액추에이터의 강제 특성이 보존되어야 하기 때문에 바람직하지 않다.

따라서, 서보 제어식 액추에이터 시스템을 안정화시키는 문제가 남아 있다. 필터링 기술을 사용하는 해결책은 예를 들어, 고밀도 하드 디스크 드라이브와 같은 고정밀 체계에는 부적합한데, 그 이유는 이들이 시스템의 진동 모드의 종래 지식을 필요로 하기 때문이다. 진동 모드를 결정하는 전달 함수를 푸는 것은 대다수 실제 경우에 계산적으로 실시하기 어렵거나 불가능하다.

마지막으로, 종래 기술의 시스템은 동시에 다중 진동 모드를 활성적으로 보상할 수 없는 제한을 받는다. 구체적으로, 하나의 단일 모드보다 더 많은 모드가 활성 제어 시스템에 대해 선택되는 경우 안정성이 위험하게 된다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

따라서, 본 발명의 주요한 목적은 서보 제어식 액추에이터 시스템을 안정화시키기 위한 활성 제어 메카니즘을 제공하며 종래 기술의 단점을 극복하는 것이다. 구체적으로, 본 발명의 제어 메카니즘은 다중 진동 모드를 활성적으로 보상함으로써 이득 필터링 접근 방식의 제한을 피하며 액추에이터의 전체 동작 범위에 걸쳐 효과적인 피드백을 제공하도록 설계되어 보다 높은 대역폭 동작을 허용한다.

본 발명의 다른 목적은 디지털 서보 제어기에 대해 시스템 진동 모드의 어떤 선형적인 지식도 필요없는 방법으로 제어 메카니즘을 설계하는 것이다.

본 발명의 추가적인 다른 목적은 서보 제어식 시스템의 안정적인 동작의 대역폭을 증가시켜 예를 들어 하드 디스크 드라이브의 분야와 같은 분야에서 더 많은 인치 당 트랙(track per inch: TPI)수를 가진 장치를 설계하도록 해주는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 효율적인 피드백 신호를 생성하도록 본 발명의 시스템을 동작시키는 방법을 제공하는 것이다. 상기 방법은 계산상의 수고를 덜어주고 시스템이 신속하고 신뢰성 있게 진동을 보상한다는 것을 보장한다.

마지막으로, 본 발명의 목적은 전달 함수를 직접 풀어야 하는 필요성을 피하는 것이다.

본 발명의 시스템 및 방법에 의해 달성되는 다수의 개선점과 상기 목적 및 장점은 다음에 기술되어 있다.

이러한 목적 및 장점은 암 어셈블리, 암 어셈블리에 장착되는 피제어 소자, 암 어셈블리를 이동시킴으로써 상기 피제어 소자를 이동시키기 위한 액추에이터 및 예를 들어 피제어 소자 자체와 같은, 피제어 소자의 변위를 표시하는 위치 신호를 발생시키는 위치 센서를 갖는 서보 제어식 액추에이터 시스템을 안정화하기 위한 활성 제어 메카니즘에 의해 달성된다. 암 어셈블리는 활성 제어 메카니즘에 의해 보상되는 동작 중에 진동 모드를 겪는다.

제어 메카니즘은 감지 배열(sensing arrangement)을 가지는데, 이 감지 배열은 액추에이터에 부착되어 진동 모드와 상호 관련되어 있고 위상이 일치하며, 특히 모든 주 진동 모드와 상호 관련되어 있고 위상이 일치하는(in-phase) 신호를 발생시키기 위한 하나 이상의 개별 센서를 포함할 수 있다. 제어 메카니즘은 센서에 연결되어 강성 보정(stiffening correction), 활성 댐핑 보정(active damping correction) 및 관성 축소 보정(inertia reduction correction)의 3가지 보정 항목을 가지는 조정 신호를 센서의 신호로부터 유도한다. 제어 회로, 위치 센서 및 액추에이터에 연결되는 결합 요소는 조정 신호 및 위치 신호를 결합하여 피드백 신호를 생성한다. 이러한 피드백 신호는 결합 요소 및 액추에이터에 연결되어 있는 전류원(current source)을 통해 액추에이터를 구동하는데 사용된다. 통상적으로, 전류원은 단순히 피드백 신호에 비례하는 전류를 액추에이터에 인가한다.

바람직한 실시예에서 액추에이터는 예를 들어, VCM 코일과 같은 코일이며, 센서는 주 진동 모드에 의해 생성되는 코일의 동일평면 요동 변형(in-plane sway deformation)을 검출한다. 본 시스템에 사용하는데 적합한 유형의 센서는 스트레인(strain) 센서, 스트레인 속도 센서 및 스트레인 가속도 센서를 포함한다. 바람직한 센서의 유형은 스트레인 속도 센서이다. 이 경우, 제어 메카니즘은 강성 보정을 이루기 위한 적분기(integrator), 활성 댐핑 보정을 이루기 위한 선형 요소(linear element) 및 관성 축소 보정을 이루기 위한 미분기(differentiator)를 갖는다.

암 어셈블리는 통상적으로 코일이 장착되는 코일 지지부를 가지며 코일의 요동 변형은 센서에 의해 등록되는 코일 지지부의 변형을 생성한다. 실제로, 최선의 결과를 얻기 위해 센서는 코일 지지부에 장착된다. 또한, 센서 신호가 코일의 순 동일평면 요동 변형에 대해 모든 주 모드와 위상이 일치하는 기준을 충족시키는 다른 위치가 존재한다.

하드 디스크 드라이브와 같은 일부 애플리케이션에서, 바람직한 유형의 액추에이터는 회전형 액추에이터이다. 물론, 이러한 경우 피제어 소자는 판독/기록 헤드이다. 다른 애플리케이션은 예를 들어 선형 변

위(linear displacement)와 같은 회전형 조정이 아닌 다른 것을 실행하는 액추에이터를 필요로 하며 다른 유형의 피제어 소자를 사용한다.

구현 방법에 따라 제어 메카니즘은 센서에서 수신되는 신호로부터 원하지 않는 고주파 잡음 성분을 소거하기 위한 저역 통과 필터(low-pass filter)를 필요로 할 수 있다. 또한, 암 어셈블리가 탐색 중 가속되는 동안 인터럽트 회로 또는 장치가 제어 메카니즘에 연결되어 동작을 중단시킬 수 있다.

본 발명의 방법은 진동 모드와 상호 관련되어 있으며 진동 모드와 대략적으로 위상이 일치하는 신호에 의존함으로써 액추에이터 어셈블리를 활성적으로 안정화시킨다. 실제로, 진동 모드는 주 모드(major mode) 및 부 모드(minor mode)로 구성되며 센서는, 주 모드에 상호 관련되어 있으며 주 모드와 대략적으로 위상이 일치하는 신호를 발생시켜야 한다. 이것은 센서의 적절한 배치에 의해 확인된다. 이러한 배치는 경험적인 방법 또는 계산적인 방법에 의해 확인될 수 있다.

경험적인 방법에서, 센서는 검사 위치에서 액추에이터 또는 코일 지지부에 제거 가능하게 고정된다. 그 다음, 검사 위치는 센서에 의해 전달되는 신호가 주 진동 모드와 위상이 일치하는 최종 위치에 도달하거나 또는 배치될 때까지 조정된다. 그 다음에 센서는 최종 위치에 영구적으로 부착된다. 계산적인 방법은 액추에이터의 진동 모드를 분석하는 단계 및 이러한 분석을 기초로 하여 최종 위치를 결정하는 단계를 포함한다.

3가지의 보정 항목은 신호를 미분, 곱셈 및 적분함으로써 신호로부터 유도된다. 각 보정을 유도하는데 필요한 동작은 사용되는 센서가 스트레인(strain) S 및 스트레인 속도(strain rate) S'를 측정하는지 또는 스트레인 가속도 S''를 측정하는지의 여부에 좌우된다. 바람직한 실시예에서 센서는 스트레인 속도 S'를 측정하며 감성 보정은 스트레인 속도 신호를 적분함으로써 유도되고, 활성 댐핑 보정은 신호에 상수를 곱함으로써 유도되며, 관성 축소 보정은 신호를 미분함으로써 얻어진다.

발명의 구성 및 작용

본 발명의 구체적인 내용은 첨부된 도면을 참조하여 하기와 같이 기술된다.

도 1은 하드 디스크 드라이브용 서보 제어식 액추에이터 시스템(10)의 바람직한 실시예를 예시한다. 액추에이터 시스템(10)은 이러한 경우 관동/기록 헤드인 피제어 소자(14)를 구비한 암 어셈블리(12)를 갖는다. 암 어셈블리(12)는 메인 암(16) 및 접합부(20)에 의해 메인 암(16)과 결합되는 제2 암(18)을 갖는다. 전체 암 어셈블리(12)는 허브(30)에 장착된다. 헤드(14)는 동심 데이터 트랙(24)을 갖는 디스크(22) 상에 위치되어 있고, 허브(30) 둘레를 선회(pivoting)하거나 회전(rotating)함으로써 동작 중에 여러 트랙(24)을 액세스한다. 암 어셈블리(12)의 이러한 일반적 구성은 하드 디스크 드라이브의 해당 기술 분야에 잘 알려져 있다.

이러한 경우 예를 들어 VCM 코일과 같은 코일인 액추에이터(26)는 헤드(14)의 반대쪽에 위치하는 크레이들(cradle) 또는 코일 지지부(28)에 장착된다. 액추에이터(26)는 암 어셈블리(12)를 허브(30)의 둘레로 회전시킴으로써 이동시킨다. 따라서, 액추에이터(26)도 또한 회전형 액추에이터로 알려져 있다. 회전량은 코일(26)을 통해 통과되는 전류 형태의 피드백 신호(50)(도 3 참조)에 의해 제어된다. 피드백 신호(50)은 후술되는 바와 같이 본 발명의 방법에 따라 얻어진다.

도 2의 평면도에 더 잘 예시되어 있는 바와 같이, 두 개의 센서(32) 및 (34)는 코일(26)의 양 측면을 따라 크레이들(28) 상의 암 어셈블리(12)에 부착된다. 이러한 위치에서, 센서(32) 및 (34)는 코일(26)이 겪는 동일평면 요동 변형에 민감하다. 바꾸어 말하면, 동작 중에 암 어셈블리(12)가 진동 모드를 겪는 경우, 센서(32) 및 (34)는 이러한 모드와 상호 관련되는 신호를 발생시킨다. 이것은 코일(26)의 동일평면 요동 변형이 크레이들(28)의 변형으로 전이되기 때문이다.

대부분의 경우에, 경험적인 접근 방법은 암 어셈블리의 진동 모드를 기술하는 전달 함수 H(s)를 얻는데 사용된다. 설명을 위해, 도 9의 그래프는 세일핀(Sailfin)으로 불리는 특정 IBM 액추에이터에 대한 전달 함수를 도시한다. 이러한 액추에이터 배열은 10개의 별도 암 어셈블리를 갖는다. 대다수의 두드러진 진동 모드는 대략 3,500 Hz에 중심이 있는 '나비 모드(butterfly mode)', 대략 4,200 Hz에서의 S 모드, 대략 4,800 Hz에서의 단부 암(end-arm) 모드 및 대략 5,800 Hz에서의 제2 나비 모드이다. '나비 모드'의 이득은 통상적인 암 어셈블리의 동작 대역폭을 제한하는 주요 원인이다.

활성 보상을 필요로 하는 암 어셈블리(12)의 임의의 다른 모드 및 이러한 모드를 적절히 보상하기 위해, 센서(32) 및 (34)는 자신의 신호가 암 어셈블리(12)의 모드와 상호 관련되도록 위치가 지정된다. 임의의 기계적 시스템과 같이, 암 어셈블리(12)가 진동하는 경우 진동이 '모드 형상'으로 불리는 자신의 유일한 진동 형상을 갖는 여러 가지의 진동 모드로 분해될 수 있다. i 번째 모드의 모드 형상 $\bar{\phi}_i$ 는 (x, y, z)의 위치 함수인

$$\bar{\phi}_i = \bar{\phi}_i(x, y, z).$$

로 표현될 수 있다. 그 다음, 코일(26)의 순 동일평면 요동 변형 Δ 동일 평면 은

$$\Delta \text{ 동일 평면} = \int_{\text{코일}} \bar{\phi}_i(x, y, z) \cdot \bar{F}(x, y, z) dx dy dz,$$

로 기술되며, 여기서 \bar{F} 는 코일(26)에 인가되는 힘이다. 따라서, i 번째 진동 모드로 인해 센서(32)가 겪는 스트레인(strain) ϵ_i 도 또한 모드 형상 $\bar{\phi}_i$ 의 함수이며

$$\epsilon_i = \epsilon_i(\bar{\phi}_i)$$

로 표시된다.

요동 변형 Δ 푸딩 평면은 센서(32)의 위치에서 스트레인 ϵ_i 의 신호와 동일하므로 센서(32)에 의해 발생하는 신호는 i 번째 진동 모드와 위상이 일치한다. 센서(32)는 상기 위상이 일치하는 상호 관계가 센서(32)의 신호 및 i 번째 진동 모드 사이에 존재하는 위치에 배치된다. 두 개의 센서(32) 및 (34)가 이러한 특정 실시예에 사용되기 때문에, ϵ_i 는 센서 양자의 위치 상의 가중 계수(factor)가 곱해진 스트레인의 합계에 의해 대체된다.

센서(32) 및 (34)의 적절한 배치는 도 4 및 도 5에 더욱 상세히 도시된다. 설명을 단순하게 하기 위해, 도 4는 단지 센서(32)의 3개의 검사 위치 A, B, C만을 도시한다. 전달 함수 $H(s)$ 는 3개가 주 모드이며 활성적으로 보상되어야 하는 모드들의 곱수로 구성되는데, 이들 모드는 모드 i , 모드 j 및 모드 k 이다. 이러한 모드는 제1 나비 모드와 제1 및 제2 단부 암 모드에 대응하며, 이러한 모드의 높은 이득 및/또는 소량의 댐핑(damping) 때문에 서보 성능 및 대역폭을 직접 제한할 수 있다. 나머지 모드는 작은 이득을 가지며 대량으로 댐핑되는 부 모드이며, 매우 작은 이득을 가지며 주로 관심의 범위 밖에 있는 무시해도 좋은 모드이다.

각 위치에서, 센서(32)는 모든 진동 모드를 2개의 그룹으로 효과적으로 분할한다. 하나의 그룹의 모드는 센서(32)의 신호와 위상이 일치하며 다른 그룹의 모드는 위상이 일치하지 않는다. 센서(32)는 최종적으로 모든 주 모드 i , j 및 k 가 센서(32)의 신호와 위상이 일치하도록 위치된다. 부 모드 및 무시해도 좋은 모드에 대한 위상 관계는 중요하지 않으며 이것은 모두 위상이 불일치하는 상태로 분할될 수 있다. 실제로, 부 모드는 일반적으로 최초의 재료 댐핑으로 인해 안정 상태를 유지한다. 도 5의 표는 센서(32)의 출력 신호 및 요동 변형 Δ 푸딩 평면에 대한 주 모드 i , j 및 k 사이의 위상 관계를 도시한다. 위치 A에서 센서(32)의 신호는 모드 i , j 및 k 와 위상이 일치한다. 위치 B에서 센서(32)의 신호는 모드 i 및 j 와 위상이 불일치하며, 위치 C에서 모드 k 와 위상이 불일치한다. 따라서, 센서(32)를 영구적으로 장착하는데 적절한 최종 위치는 A이다.

실제로, 센서(32) 및 (34)에 대한 적절한 최종 위치는 컴퓨터에 의해 실행되는 알고리즘과 같은 경험적인 방법 또는 분석적인 방법으로 알 수 있다. 암 어셈블리(12)의 기계적 구조가 예를 들어 암 어셈블리(12)가 하드 디스크 드라이브에 사용되는 회전형 액츄에이터에 속하는 경우와 같이 특별히 설계되는 경우, 가능한 최종 위치의 일반적인 접근부는 예측하기가 좀 더 용이하므로 경험적인 접근 방법이 사용될 수 있다. 예를 들어, IBM 세일핀 액츄에이터에서 밑에서 2번째 암의 우측은 최종 센서 위치를 찾아내는데 적절한 일반적인 영역이다.

해석적인 접근 방법은 암 어셈블리(12)를 모델링하는 것을 포함한다. 이것은 예를 들어 유한 요소 해석 소프트웨어의 지원을 받아 수행된다. 상기 해석은 센서 신호가 주 모드와 위상이 일치하는 암 어셈블리(12), 특히 크레이들(28) 상의 최종 위치 A를 정확하게 찾아낸다. 이러한 위치는 센서(32) 및 (34)가 영구적으로 부착되는 최종 위치의 집합(set)이다.

도 3의 블록 다이어그램은 시스템(10)의 핵심 부분을 도시하며 이 핵심 부분의 협동 작용을 예시한다. 상술한 소자 이외에, 또한 시스템(10)은 위치 센서(36)을 가지는데, 이 위치 센서(36)은 암 어셈블리(12) 상에 접촉한 상태로 또는 암 어셈블리(12)와 이격된 상태로 장착되며 헤드(14)의 변위 또는 순간적인 위치를 표시하는 위치 신호(38)를 발생시키는 표준 장치일 수 있다. 실제로, 위치 센서(36)은 단순히 헤드 자체일 수 있으며, 위치 신호(38)는 디스크(22) 상에 증착되는 표시부로부터 헤드(14)에 의해 얻어질 수 있고, 특히 트랙(24)에서 발견되는 위치 정보로부터 얻어질 수 있다. 대안적으로, 헤드(14)는 예를 들어 위치 신호(38)를 발생하기 위해 디스크 둘레에 소정 각도로 이격되어 있는 서보 섹터와 같은 디스크(22) 상에 미리 기록된 서보 정보로부터 판독되는 헤드 위치 에러 신호(head position error signal: PES)를 사용할 수 있다.

헤드(14) 또는 위치 센서(36)는 디지털 서보(40)에 접속된다. 디지털 서보(40)는 헤드(14)의 위치를 기초로 하여 액츄에이터(26)의 동작을 제어하기 위한 피드백 루프(42)의 일부이다.

센서(32) 및 (34)는 통상적으로 저역 통과 필터인 선택 사양 필터(optional filter: 46)와 선택 사양 가속도 인터럽트 회로(optimal acceleration interrupt circuit: 48)를 통해 활성 액츄에이터 제어부(44)에 접속되는데, 선택 사양 필터(46)와 선택 사양 가속도 인터럽트 회로(48)는 모두 점선으로 표시된다. 바람직한 실시예에서, 필터(46)가 제공되어 센서(32) 및 (34)에 의해 발생하는 신호(52)로부터 고주파 잡음 성분을 제거한다. 또한, 인터럽트 회로(48)가 바람직한 실시예에 제공되어 암 어셈블리(12)가 가속되는 동안 액츄에이터 제어부(44)를 무능화시킨다(disable). 이것은 예를 들어 헤드(14)가 회전되어 디스크(22) 상의 데이터 트랙(24)을 스윙하는 동안 발생한다.

액츄에이터 제어부(44)는 강성(stiffening) 부분(54), 활성 댐핑(active damping) 부분(56) 및 관성 축소(inertia reduction) 부분(58)을 갖는다. 이러한 부분은 신호(52)로부터 강성 보정, 활성 댐핑 보정 및 관성 축소 보정을 유도해 낸다. 이러한 3개의 결합된 보정 항목은 결합기(combiner) 또는 가산기(adder: 62)로 전송되는 조정 신호(60)를 나타낸다. 실제로, 가산기(62)는 액츄에이터 제어부(44) 뿐만 아니라 디지털 서보(40)에 연결된다. 따라서, 가산기(62)는 서보(40)에 의해 전달되는 것과 같은 위치 신호(38)를 조정 신호(60)에 가산하여 피드백 신호(50)를 생성한다. 피드백 신호(50)는 전류이며 가산기(62)는 코일(26) 내의 전류를 제어하는 전류원(64)에 직접 접속됨으로써 피드백 루프(42)를 완성하는 것이 바람직하다. 물론, 증폭기 및 필터가 피드백 신호(50)를 처리하는데 필요할 수 있다. 피드백 루프(42) 내에서 이러한 요소를 사용하는 것은 용이하며 그 필요성 및 바람직한 위치는 해당 기술 분야의 당업자에 의해 용이하게 결정될 수 있다.

3개의 보정 항목이 계산되는 방법은 도 6의 일반화된 다이어그램을 참조하여 상세히 설명된다. 계산 방법은 임의 번호의 센서 n 뿐만 아니라 센서(32) 및 (34)에 적용된다. 따라서, 상기 다이어그램은 임의 번호 n 의 센서(66)로 대체되는 센서(32) 및 (34)를 도시하며 각 센서는 부분 신호 $a_i S_i$ 를 전달하여 총 신

호(52), 즉 S가

$$S = \sum_{i=0}^n a_i S_i$$

가 되도록 하는데, 여기서 a_i '는 상수 또는 가중 계수이다. 이러한 실시예에서 센서(66)은 스트레인 센서(strain sensor)이므로 부분 신호 S_i 는 사실상 가중 계수 a_i 에 의해 가중된 스트레인 신호 S_i 이다.

총 스트레인 신호 S는 강성 부분(54), 활성 댐핑 부분(56) 및 관성 축소 부분(58)으로 동일하게 전달된다. 강성 부분(54)은 강성 보정을 생성하도록 스트레인 신호 S에 음의 상수 -k를 곱하는 곱셈기 또는 선형 요소이다. 활성 댐핑 부분(56)은 스트레인 신호 S를 미분하여 스트레인 속도(strain rate) DS/dt (S')를 산출하는 미분기와 S' 에 음의 상수 -D를 곱하여 활성 댐핑 보정을 발생시키는 선형 요소를 갖는다. 마지막으로, 관성 축소 부분(58)은 두 개의 미분기 및 선형 요소를 가져 스트레인 신호 S를 2번 미분하고 그 결과 산출된 스트레인 가속도 신호 D^2S/dt^2 (S'')에 양의 상수 I를 곱한다. 선형 요소 및 미분기는 해당 기술 분야에 잘 알려져 있으며, 선형 요소 및 미분기가 3개의 보정 항목의 각각을 발생시키는 데 사용되어야 하는 방법은 해당 기술 분야의 당업자에게 명백히 이해될 수 있다.

상기 보정 항목들은 결합되어 가산기(62)로 전송되는 조정 신호(60)를 산출한다. 가산기(62)에서 조정 신호(60)는 위치 신호(38)와 결합되어 피드백 신호(50)를 생성하며 피드백 신호(50)는 전류원(64)으로 전송된다. 피드백 신호(50)를 증폭하기 위한 선택 사양의 증폭기(68)는 전류원(64)의 이전에 접속된다.

센서(66)는 스트레인 속도 또는 스트레인 가속도 센서로 대체될 수 있다. 실제로, 스트레인 속도 S' 를 등록하는 센서를 사용하는 것이 바람직한데, 그 이유는 이 센서가 액추에이터 제어부(44)에 대한 계산적인 요구 또는 하드웨어에 대한 요구를 감소시키기 때문이다. 이것은 도 7에 도시되고, 도 7에서 신호(52)는 스트레인 속도 신호 S' 이다. 강성 부분(70)은 스트레인 속도 S' 를 적분하는 적분기이며 적분된 스트레인 신호에 음의 상수 -k를 곱하는 선형 요소이다. 활성 댐핑 부분(72)는 -D와 동일한 곱수(multiplier)를 갖는 선형 요소에 의해 대체된다. 관성 축소 부분(74)는 하나의 미분기이며 I와 동일한 상수와 곱수이다. 신호(52)가 스트레인 가속도 S'' 를 나타내는 경우가 도 8에 도시된다. 여기서 강성 부분(76), 활성 댐핑 부분(78) 및 관성 축소 부분(80)은 이중 적분(double integration) 및 곱셈, 적분과 곱셈, 및 곱셈을 각각 수행한다.

IBM 세일핀 유형의 액추에이터에 본 발명의 방법을 적용한 결과가 도 9 내지 도 13의 그래프에 예시된다. 이러한 예에서 센서는 액추에이터의 하부로 부터 제2 암(10개의 어셈블리 내의 제9 암)의 우측에 위치되었다.

도 9에서 그래프(100)는 어떤 활성 보상도 인가되지 않는 경우 제9 암의 전달 함수를 예시한다. 이득 피크는 제1 나비 모드(102), S 모드(104), 제1 단부 암 모드(106), 제2 단부 암 모드(108) 및 제2 나비 모드(110)을 포함하는 모든 주 모드에 대해 관찰된다. 그래프(112)는 액추에이터 제어부(44)가 턴-온되어서 활성 댐핑/강성을 제공하는 경우의 전달 함수를 도시한다. 모드(102)에 대해 30 dB 이상의 강하를 갖는 모든 주 모드(102), (104), (106), (108) 및 (110)에서 명백한 이점이 나타난다.

도 10의 그래프는 액추에이터 제어부(44)가 강성 보정을 인가하는 경우 모든 암에 대한 세일핀 액추에이터의 전달 함수를 도시한다. 도 11의 그래프는 관성 축소 보정이 인가되는 경우 세일핀에 대한 전달 함수를 도시한다.

모든 보정 항목을 사용하는 전체 세일핀 액추에이터 상의 활성 보상의 통상적인 효과가 도 12 내지 도 14에 전달 함수 그래프로 도시된다. 도 12에서는 어떤 활성 보상도 사용되지 않고 있다. 도 13에서 액추에이터 제어부(44)가 턴-온되면 전달 함수는 '나비' 모드의 경우에는 대략 25 dB, S 모드의 경우에는 2 dB 그리고 단부 암 모드의 경우에는 6 dB의 이득 강하를 나타낸다.

3개의 주 모드에 대한 이러한 결과는 이득 필터링을 사용하지 않고 연관된 단점을 초래함이 없이 달성된다. 또한, 시스템 진동 모드에 대한 선형적인 지식이 필요하지 않았으며 전달 함수 H(s)가 계산되어야 할 필요가 없었다. 그러므로 본 발명의 방법은 암 어셈블리(12)의 강제 운동을 감지하지 않고 변형만을 자동적으로 검출함으로써, 피드백 루프에서 강제 신호를 처리해야 하는 것으로 인해 피드백 성능에 영향을 주는 종래 기술의 단점을 극복한다.

따라서, 시스템(10)은 안정적인 동작을 수행하며 하드 드라이브의 설계자가 인치당 트랙(track per inch: PTI) 수를 상당히 증가시키도록 해준다. 물론, 동작 안정성은 또한 다른 액추에이터 시스템의 대역폭 및 응답 특성을 개선시킨다.

상기 실시예는 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 변형될 수 있다. 예를 들어, 센서 신호가 주 모드와 위상이 일치하도록 센서의 신호를 상호 관련시키기 보다는 센서 신호가 모든 주 모드와 위상이 일치하지 않을 수 있다. 상기 경우에 신호는 단순히 계수 -1이 곱해져 피드백 루프에서 처리하기 위한 적절한 동일 위상 신호를 얻는다.

당업자는 상기 교시 내용에 의거하여 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 추가적인 변경을 행할 수 있다. 따라서, 본 발명의 범위는 첨부되는 청구범위 및 법률상 균등물에 의해 결정되어야 한다.

발명의 효과

본 발명에 따른 방법 및 장치는 다중 진동 모드를 활성적으로 보상함으로써 이득 필터링 접근 방식의 제한을 피하며 액추에이터의 전체 동작 범위에 걸쳐 효과적인 피드백을 제공하도록 설계되어 보다 높은 대역폭 동작을 허용하는 효과가 달성된다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

진동 모드를 겪는 암 어셈블리, 피제어 소자—여기서 피제어 소자는 상기 암 어셈블리 상에 장착되며, 자신의 변위를 표시하는 위치 신호를 발생함— 및 상기 암 어셈블리를 이동시킴으로써 상기 피제어 소자를 이동시키기 위한 액추에이터를 갖는 액추에이터 시스템을 안정화시키는 활성 제어 메카니즘에 있어서,

a) 상기 액추에이터에 부착되어 상기 진동 모드에 상호 관련되는 신호를 발생시키기 위한 감지 수단;

b) 상기 감지 수단에 접속되어 상기 신호로부터

i) 강성 보정;

ii) 활성 댐핑 보정; 및

iii) 관성 축소 보정

을 포함하는 조정 신호를 유도하기 위한 제어 수단; 및

c) 상기 액추에이터를 구동하기 위한 피드백 신호를 생성하기 위하여 상기 제어 수단, 피제어 소자 및 액추에이터에 접속되어 상기 조정 신호 및 상기 위치 신호를 결합하는 결합 소자

를 포함하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 수단이 상기 진동 모드와 위상이 일치하는 상기 신호를 발생시키는 활성 제어 메카니즘.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 액추에이터는 코일을 포함하고,

상기 감지 수단은 상기 진동 모드에 의해 생성되는 상기 코일의 요동 변형을 검출하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 감지 수단이 적어도 하나의 스트레인 속도 센서를 포함하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제어 수단이 상기 강성 보정을 발생시키기 위한 적분기, 상기 활성 댐핑 보정을 발생시키기 위한 선형 요소, 및 상기 관성 축소 보정을 발생시키기 위한 미분기를 포함하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 암 어셈블리는 코일 지지부를 포함하고,

상기 코일은 상기 코일 지지부 내에 장착되어 상기 코일의 요동 변형이 상기 코일 지지부의 변형을 생성하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 감지 수단이 상기 코일 지지부 상에 장착되어 코일 지지부의 상기 변형을 등록하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 결합 소자 및 상기 액추에이터에 접속되는 전류원을 추가로 포함하고,

상기 전류원은 상기 피드백 신호를 수신하여 상기 액추에이터를 구동하기 위한 비례 전류를 발생시키는 활성 제어 메카니즘.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 감지 수단이 스트레인 센서(strain sensor) 및 스트레인 가속도 센서로 구성되는 군으로부터 선택되는 활성 제어 메카니즘.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 액추에이터가 회전형 액추에이터인 활성 제어 메카니즘.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 감지 수단 및 제어 수단에 연결되어 상기 신호로부터 고주파 성분을 필터링하기 위한 필터를 추가로 포함하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 12

제1항에 있어서,
상기 제어 수단에 연결되어 상기 암 어셈블리가 가속되는 경우 상기 제어 수단의 작동을 인터럽트하기 위한 인터럽트 수단(interrupt means)을 추가로 포함하는 활성 제어 메카니즘.

청구항 13

제1항에 있어서,
상기 제어 소자는 판독/기록 헤드이고,
상기 액추에이터는 하드 드라이브 액추에이터 시스템인 활성 제어 메카니즘.

청구항 14

진동 모드를 겪는 암 어셈블리, 피제어 소자—여기서 피제어 소자는 상기 암 어셈블리 상에 장착되며, 자신의 변위를 표시하는 위치 신호를 발생함— 및 상기 암 어셈블리를 이동시킴으로써 상기 피제어 소자를 이동시키는 액추에이터를 갖는 액추에이터 시스템을 안정화시키기 위한 방법에 있어서,

- a) 상기 진동 모드에 상호 관련되는 신호를 발생시키는 단계;
 - b) 상기 신호로부터 강성 보정, 활성 댐핑 보정 및 관성 축소 보정을 포함하는 조정 신호를 유도해 내는 단계;
 - c) 상기 조정 신호 및 상기 위치 신호를 결합하여 피드백 신호를 생성하는 단계; 및
 - d) 상기 피드백 신호로 상기 액추에이터를 구동시키는 단계
- 를 포함하는 액추에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,
상기 진동 모드가 주 모드를 포함하는 액추에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,
상기 발생시키는 단계가 상기 진동 모드와 위상이 일치하는 상기 신호를 발생시키는 단계를 포함하는 액추에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,
상기 발생시키는 단계가 상기 진동 모드와 위상이 일치하지 않는 상기 신호를 발생시키는 단계를 포함하는 액추에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 18

제14항에 있어서,
상기 암 어셈블리가 가속되는 경우 상기 구동시키는 단계를 인터럽트하는 단계를 추가로 포함하는 액추에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 19

- a) 검사 위치에서 상기 감지 수단을 상기 액추에이터에 제거 가능하게 부착시키는 단계;
- b) 상기 신호가 최종 위치에서 상기 진동 모드와 상호 관련될 때까지 상기 검사 위치를 조정하는 단계; 및

c) 상기 최종 위치에서 상기 감지 수단을 영구적으로 부착시키는 단계를 추가로 포함하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 20

제14항에 있어서,

- a) 상기 암 어셈블리의 상기 진동 모드를 분석하는 단계;
- b) 상기 신호가 상기 진동 모드와 상호 관련되는 최종 위치를 결정하는 단계; 및
- c) 상기 최종 위치에서 상기 감지 수단을 영구적으로 부착시키는 단계를 추가로 포함하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 21

제14항에 있어서,

상기 신호가 전류인 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 22

제14항에 있어서,

상기 감지 수단이 스트레인 S 및 상기 스트레인 S에 대응하는 상기 신호를 측정하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 강성 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호에 상수를 곱하는 단계를 포함하고,
 상기 활성 댐핑 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호를 미분하는 단계를 포함하고,
 상기 관성 축소 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호를 두 번 미분하는 단계를 포함하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 24

제14항에 있어서,

상기 감지 수단이 스트레인 속도 S' 및 상기 스트레인 속도 S'에 대응하는 상기 신호를 측정하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 강성 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호를 적분하는 단계를 포함하고,
 상기 활성 댐핑 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호에 소정의 상수를 곱하는 단계를 포함하고,
 상기 관성 축소 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호를 미분하는 단계를 포함하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 26

제14항에 있어서,

상기 감지 수단이 스트레인 가속도 S'' 및 상기 스트레인 가속도 S''에 대응하는 상기 신호를 측정하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 27

제26항에 있어서,

상기 강성 보정을 유도하는 상기 단계 상기 신호를 두 번 적분하는 단계를 포함하고,
 상기 활성 댐핑 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호를 적분하는 단계를 포함하고,
 상기 관성 축소 보정을 유도하는 상기 단계는 상기 신호에 상수를 곱하는 단계를 포함하는 액츄에이터 시스템 안정화 방법.

청구항 28

복수의 데이터 트랙을 갖는 회전 가능한 데이터 디스크; 진동 모드를 경험하는 암 어셈블리를 구비한 액츄에이터 시스템; 상기 암 어셈블리 상에 장착되고, 상기 데이터 디스크로부터 데이터를 판독하거나 상기 데이터 디스크에 데이터를 기록하며, 상기 데이터 디스크 상의 원하는 데이터 트랙에 대한 상기 판독-기록 헤드의 변위를 표시하는 위치 신호를 발생시키기 위한 판독-기록 헤드; 및 상기 액츄에이터

시스템을 안정화시키며,

a) 상기 액츄에이터에 부착되어 상기 진동 모드와 상호 관련되는 신호를 발생시키기 위한 감지 수단;

b) 상기 액츄에이터에 연결되어 상기 신호로부터

i) 강성 보정;

ii) 활성 댐핑 보정; 및

iii) 관성 축소 보정

을 포함하는 조정 신호를 유도하기 위한 제어 수단; 및

c) 상기 제어 수단, 상기 판독-기록 헤드 및 상기 액츄에이터에 연결되어 상기 조정 신호 및 상기 위치 신호를 결합하여 상기 액츄에이터를 구동시키기 위한 피드백 신호를 생성하는 결합 소자

를 포함하는 활동 제어 메카니즘

을 구비한 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 29

제28항에 있어서,

상기 제어 수단이 상기 진동 모드와 위상이 일치하는 상기 신호를 발생시키는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 30

제28항에 있어서,

상기 액츄에이터는 코일을 포함하며,

상기 감지 수단은 상기 진동 모드에 의해 생성되는 상기 코일의 요동 변형을 검출하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 31

제30항에 있어서,

상기 감지 수단이 적어도 하나의 스트레인 속도 센서를 포함하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 제어 수단이 상기 강성 보정을 발생시키기 위한 적분기, 상기 활성 댐핑 보정을 발생시키기 위한 선형 요소 및 상기 관성 축소 보정을 발생시키기 위한 미분기를 포함하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 33

제30항에 있어서,

상기 암 어셈블리는 코일 지지부를 포함하고,

상기 코일은 상기 코일 지지부 내에 장착되어 상기 코일의 상기 요동 변형이 상기 코일 지지부의 변형을 생성하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 34

제33항에 있어서,

상기 감지 수단이 상기 코일 지지부 상에 장착되어 상기 코일 지지부의 상기 변형을 등록하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 35

제30항에 있어서,

상기 결합 소자 및 상기 액츄에이터에 접속되는 전류원—여기서 전류원은 상기 액츄에이터를 구동시키기 위해 피드백 신호를 수신하고 비례 전류(proportional current)를 발생시킴—을 추가로 포함하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 36

제28항에 있어서,

상기 감지 수단이 스트레인 센서 및 스트레인 가속도 센서로 구성되는 군으로부터 선택되는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 37

제28항에 있어서,

상기 액츄에이터가 회전형 액츄에이터인 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 38

제28항에 있어서,

상기 감지 수단 및 상기 제어 수단에 연결되어 상기 신호로부터 고주파 성분을 필터링하기 위한 필터를 추가로 포함하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 39

제28항에 있어서,

상기 제어 수단에 연결되어 상기 암 어셈블리가 가속되는 경우 상기 제어 수단의 작동을 인터럽트하기 위한 인터럽트 수단을 추가로 포함하는 데이터 기록 디스크 드라이브.

청구항 40

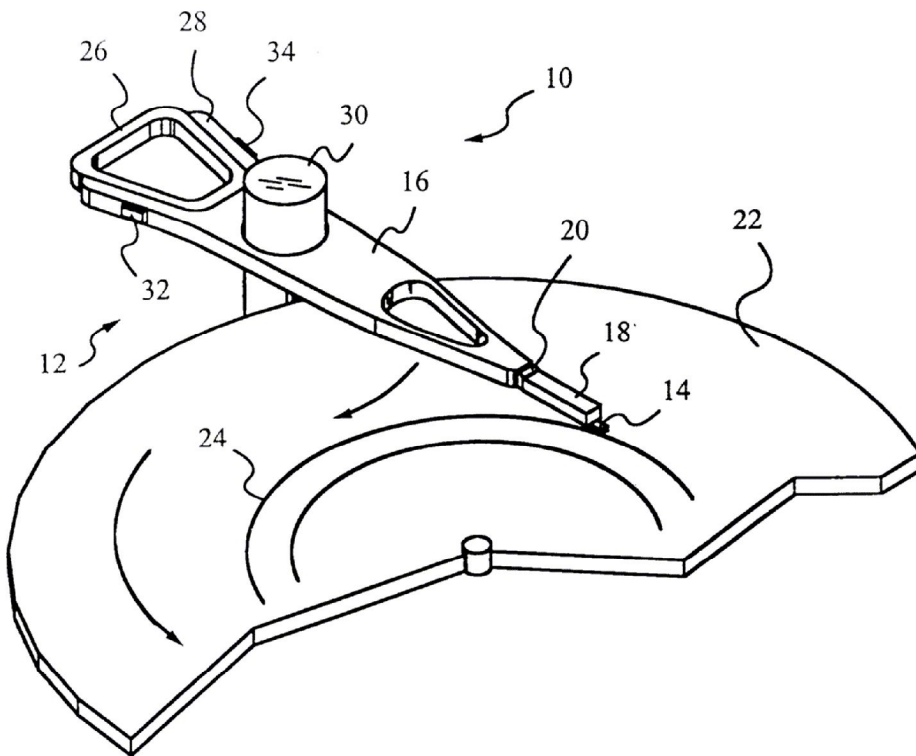
제28항에 있어서,

상기 피제어 소자는 판독/기록 헤드이고,

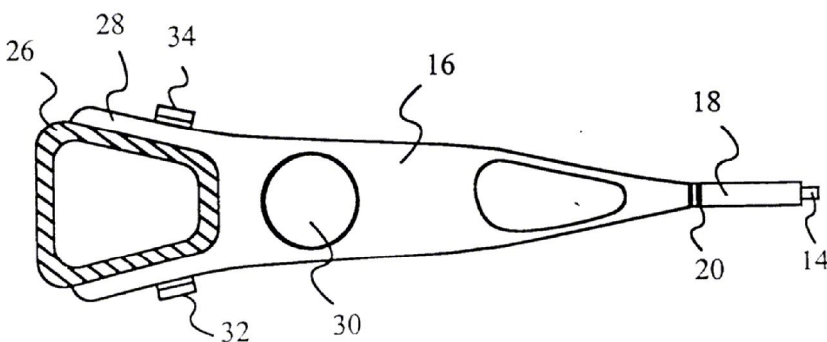
상기 액츄에이터는 하드 드라이브 액츄에이터 시스템인 데이터 기록 디스크 드라이브.

도면

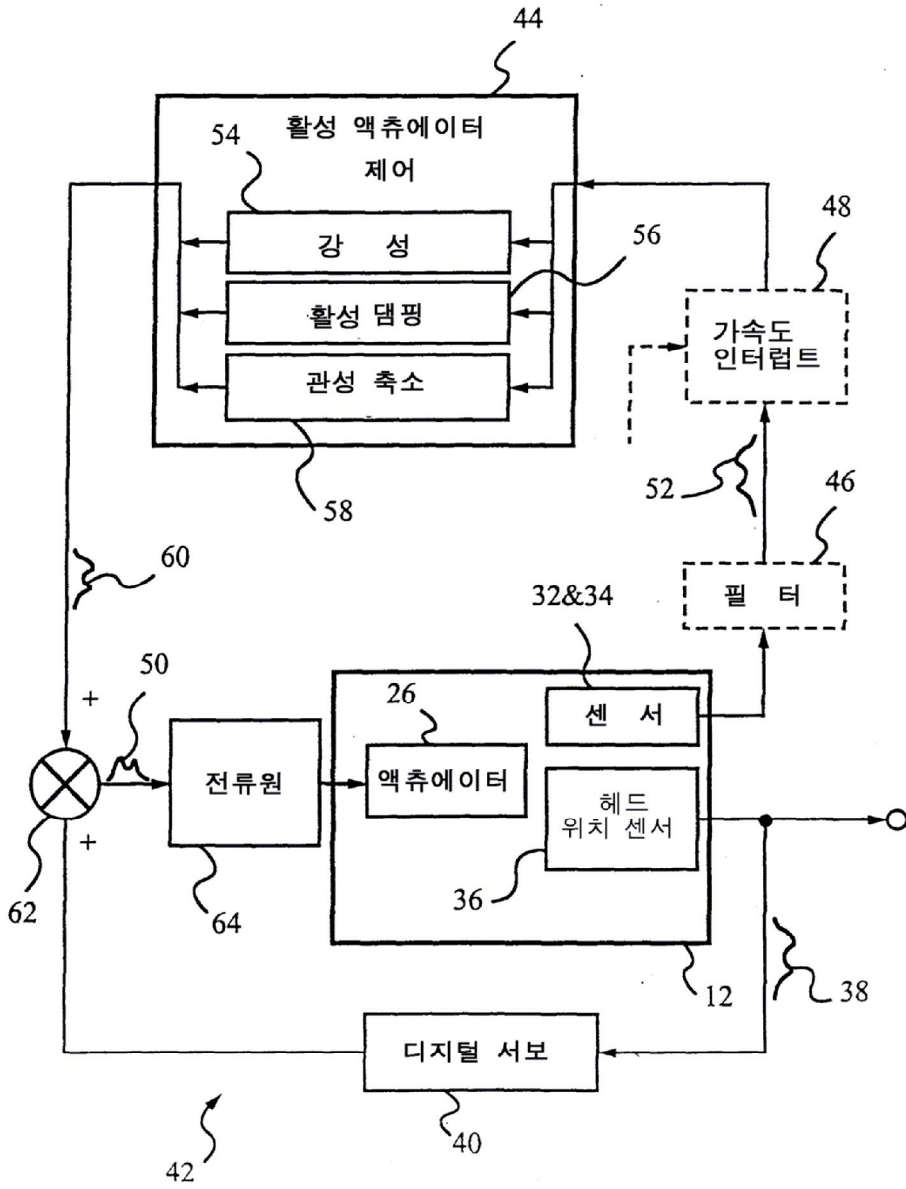
도면1



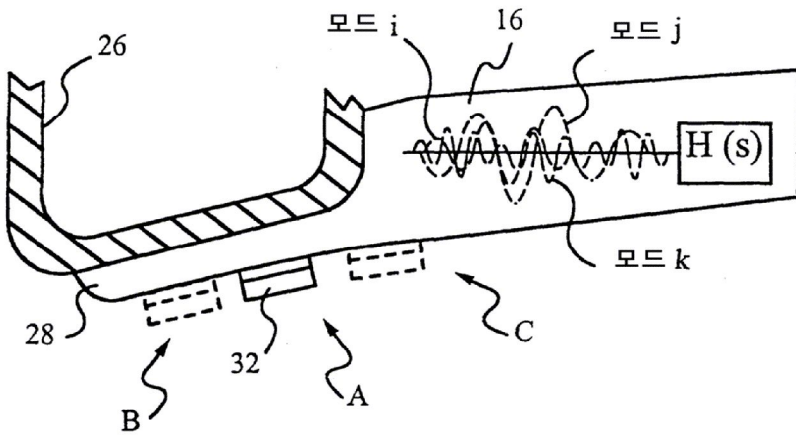
도면2



도면3



도면4



도면5

	모드 i	모드 j	모드 k	...
Δ 동일 평면의 신호	+	-	+	...
센서 위치 A에 대한 ϵ_i 의 신호	+	-	+	...
센서 위치 B에 대한 ϵ_i 의 신호	-	+	+	...
센서 위치 C에 대한 ϵ_i 의 신호	+	-	-	...

도면6

