(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[6]
B60L 13/00
B60L 13/06

(45) 공고일자 1997년03월27일
(11) 공고번호 특1997-0004334
(24) 등록일자 1997년03월27일

(21) 출원번호 특1993-0026772
(22) 출원일자 1993년12월07일
(65) 공개번호 특1994-0013986
(43) 공개일자 1994년07월16일

(30) 우선권주장 92-351167 1992년12월07일 일본(JP)

(73) 특허권자 가부시끼가이샤 도시바 사또 후미오
일본국 가나가와껭 가와사끼시 사이와이구 호리가와쪼오 72
(72) 발명자 모리시따 밈페이
일본국 가나가와껭 가와사끼시 사이와이구 고무까이 도시바 쪼오 1 가부시끼가이샤 도시바 겐뀨가이하쓰센터 내
(74) 대리인 문기상, 조기호

심사관 : 김영진 (책자공보 제4914호)

(54) 자기부상장치

요약

없음

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

자기부상장치

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명의 일실시예에 의한 자기부상장치에 있어서의 요부사시도.

제2도는 동요부의 종단면도.

제3도는 동요부의 일부를 절결한 측면도,

제4도는 동장치에 있어서의 자기지지유니트의 종단면도.

제5도는 동장치에 있어서의 제어장치의 블록구성도.

제6도는 동제어장치에 있어서의 제어전압 연산회로의 구성을 나타낸 블록도.

제7도는 동장치에 있어서의 자기부상제어방식을 나타낸 제어블록도.

제8도는 자기지지유니트와 가이드레일간의 공극길이와 자기지지유니트의 영구자석에 기인되는 흡인력과의 관계를 나타낸 도면.

제9도는 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기부상장치에 있어서의 사시도.

제10도는 동장치에 있어서의 제어장치의 블록구성도.

제11도는 동제어장치에 있어서의 상하동모드제어전압 연산회로의 구성을 나타내는 블록도.

제12도는 동장치에 있어서의 상하동모드의 자기부상제어방식을 나타내는 제어블록도.

제13도는 동제어장치에 있어서의 피치모드제어전압 연산회로의 구성을 나타낸 블록도.

제14도는 동장치에 있어서의 피치모드의 자기부상제어방식을 나타낸 제어블록도.

제15도는 동제어장치에 있어서의 트위스트모드제어전압 연산회로의 구성을 나타낸 블록도.

제16도는 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기부상장치에 있어서의 요부사시도.

제17도는 동장치에 있어서의 제어장치의 블록구성도.

제18도는 동장치에 있어서의 요-모드(yaw-mode) 자기부상제어방식을 나타낸 제어블록도.

제19도는 동제어장치에 있어서의 요-모드제어전압 연산회로의 구성을 나타낸 블록도.

제20도는 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 평면도.

제21도는 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 평면도,

제22도는 본 발명의 또다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 평면도.

제23도는 본 발명의 또다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 종단면도.

제24도는 본 발명의 또다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 종단면도.

제25도는 동장치에 있어서의 제어장치의 블록구성도.

제26도는 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기부상장치를 나타낸 종단면도.

제27도는 제어전압 연산회로의 변형예의 일부를 나타낸 블록도.

제28도는 동연산회로에 있어서의 트위스트모드 제어전압 연산회로의 블록구성도.

제29도는 동연산회로를 구비시킨 자기부상제어계의 제어블록도.

[발명의 상세한 설명]

본 발명의 자기흡인력으로 부상체(반송차)를 완전 비접촉으로 부상시키는 자기부상장치에 관한 것이며 특히 자이의 보수성 향상을 도모하도록한 자기부상장치에 관한 것이다.

최근 팩토리오토메이션의 일환으로써 건물내의 복수의 지점간에서 반송장치를 사용하여 반제품이나 자료를 이동시킴이 널리 행해지고 있다. 이와같은 용도의 반송장치에는 반송물을 신속히 또한 조용히 이동시키는 것이 요구된다. 또 클린룸등의 초청공간에서 사용되는 반송장치에 있어서의 동작중에 먼지를 발생시키지 않는 것이 요구되고 있다.

이때문에 이 종류의 반송장치에 있어서는 가이드레일에 연하여 반송차를 비접촉 주행시키는 방식이나 채용되고 있다. 그들중에서도 반송차를 자기흡인력으로 비접촉으로 지지하는 방식은 가이드레일에 대한 추종성이나 소음, 먼지발생을 방지하는 효과 즉 발진방지효과가 우수하다.

그런데 반송차를 자기흡인력에 의해서 지지하는 방식에서는 지지에 필요한 자기력 모두를 전자석으로 주려고 하면 전자석을 상시 통전시킬 필요가 있으므로 필연적으로 소비전력이 많아진다.

그리하여 본 출원인은 앞서 전자석과 영구자석으로 자기 지지유니트를 구성하고 비접촉지지에 필요한 자기력의 대부분을 영구자석으로 제공함으로써 소비전력의 저감화를 도모한 소위 제로파워 피드백제어방식(이하 제로파워제어라고 함)의 부상식 반송장치를 제안했다(일본국 특개소 61-1021105호 공보).

제로파워 제어방식을 채용한 부상식 반송장치를 안정주행시키려면 하나의 자기지지유니트으로 반송차를 지지하기 곤란하여 통상 2개 이상의 수, 예를들면 반송차의 전후좌우의 4개소에 합계 4개의 자기지지유니트를 설비할 필요가 있다. 이와같이 4개의 자기지지유니트를 설비한 경우에 부상부전체의 중량이 자기지지유니트에 상시 1/4씩 가해지는 것이 바람직하나, 실제로는 언밸런스가 생긴다. 이 언밸런스는 다음과 같은 문제를 초래한다.

즉 4개의 자기지지유니트를 모두 반송차에 고정되어 있다. 이 때문에 4개의 자기유니트중 3개 자기지지유니트가 이들 유니트의 일부를 구성하고 있는 영구자석의 자기력으로 지지가능한 중량과 같은 흡인력을 발생하는 공극길이를 취하면 이들 3개의 자기지지유니트의 위치에 의해서 나머지 1개의 자기지지유니트의 공극길이가 기하학적으로 결정되어 버린다. 따라서 나머지 1개의 자기지지유니트의 실제의 공극길이와 그 유니트가 본래에 그 지지분담중량을 지지하기 위한 흡인력을 발생시키는 공극길이가 반드시 일치되지 않게 된다.

예를 들면 본래에 2kg 지지할 수 있는 공극길이여야 할 것이 강제적으로 즉, 기하학적인 조건에 의하여 3kg을 지지하는 공극길이로 변경된다. 이 때문에 이들 공극길이의 차이를 상쇄시키기 위하여 상기 자기유니트의 전자석이 필요이상으로 통전되어 전자석 전체에 부여하는 전력이 증대된다. 따라서 대용량의 전원을 탑재할 필요가 있고 결국 장치전체의 대형화를 초래하게 된다.

그리하여, 본 출원인은 자기지지유니트를 적어도 4개 배치하도록 한 자기부상장치에 있어서 2개의 자기지지유니트를 1조로 하여 각조를 별개의 분할판으로 지지하고 이들 분할판을 가이드레일의 하면에 수직인 평면내에서 서로 회전가능하게 하는 연결기구로 연결하고 또 반송차를 한쪽 분할판에 고정, 또는 분할판에 대응시켜서 분할함으로써 각 자기지지유니트에 공극길이방향으로의 이동의 자유를 갖게 하고 이에 의해서 각각의 공극길이를 각 자기지지유니트가 본래 분담해야 할 지지중량에 알맞는 흡인력을 발생시키는 값으로 자동조절가능한 구조를 제한했다(일본국 특개평 1-45734호 공보).

그러나 이와같은 공극가변기구를 구비한 것이라도 다음과 같음 문제가 남아 있다. 즉 공극가변기구를 구비한 부상식 반송장치의 반송차에 하나의 강체로 간주되는 적하를 적재하였을때에는 적하와 중량이 많아야 3개의 자기지지유니틀 분배되는 것에 불과하다.

그것은 이하의 이유때문이다.

제로파워제어를 실시했을때에 각 자기지지유니트와 가이드레일간의 공극길이는 각 자기지지유니트이 자중과 각 자기지지유니트에 가해지는 부하중량과의 합계치와 각각의 영구자석에 의한 흡인력이 같아지는 값으로 된다. 각 자기지지유니트와 가이드레일간의 공극길이는 제8도에 나타낸 바와같이 지지중량이 증가하면 감소되고 지지중량이 감소하면 증가된다.

이제 공극가변기구를 구비하고 또 4개의 자기지지유니트를 구비한 반송차에 하나의 강체로 간주되는 적하를 적재한 경우를 생각해 본다. 이때에 적하자체의 중심이 편심이 있든지 차량에 외력이 가해지면 4개의 자기지지유니트에 가해지는 부하중량이 증감된다.

부하중량이 증가된 자기지지유니트에서는 이 유니트와 가이드레일간의 공극길이가 감소된다. 또 부하중량이 감소된 자기지지유니트에서는 이 유니트와 가이드레일간의 공극길이가 증가한다. 이 때문에 전자의 자기 지지유니트에 부하중량을 가하고 있었던 지지점은 윗쪽으로 이동하고 후자의 자기지지유니트에 부하중량을 가하고 있었던 지지점은 아랫쪽으로 이동한다.

부하중량 전체는 불변이고 또 자기지지유니트와 가이드레일간의 자기흡인력을 공극길이의 자승에 반비례한다. 이 때문에 윗쪽으로 이동된 지지점은 이제까지 아랫쪽으로 이동한 지지점이 지지하고 있었던 중량이 새로 가해지고 또 아랫쪽으로 이동된 지지점에서는 윗쪽으로 이동된 지지점에 새로 가해진 만큼 적하의 부하중량이 경감된다. 이렇게 되면 부하중량이 증가된 자기지지유니트의 공극길이는 더 감소되고 이 자기지지유니트에 부하중량을 가하고 있었던 지지점은 더 윗쪽으로 이동한다. 또 부하중량이 감소된 자기지지유니트의 공극길이는 더 증가하고 이 자기지지유니트에 부하중량을 가하고 있었던 지지점은 더 아랫쪽으로 이동한다.

이와같은 과정이 반복되어 결과로써 강체를 지지하는데 최소한 필요한 많아야 3개의 자기지지유니트에만 적하의 부하중량이 지지되게 된다.

이와같이 공극가변기구를 구비하고 4개 또는 그 이상의 자기지지유니트를 갖는 반송차에 적하를 탑재하여도 적하의 강성이 높으면 그 부하중량을 많아야 3개의 자기지지유니트에만 배분되게 된다. 이 때문에 어느 3개의 자기지지유니트로도 적재물의 중량을 충분히 지지가능하도록 각 자기지지유니트를 대형화하든지 또는 1개의 적하를 분할하여 중량을 분산시키든지 하는 것이 필요하게 된다.

그러나 적하중에는 분할할 수 없는 것도 있으므로 이와같은 적하에 대처하기 위해서는 자기지지유니트를 대형화하지 않을 수 없고 그 결과 반송차의 중량의 증가를 초래하고 이에 수반되어 가이드레일이나 궤도도 대형화되고 결국 장치전체의 대형화를 초래하는 문제가 있었다.

그리하고 본 출원인은 상술한 공극가변기구에 탄성체를 개재시켜 적하지지점을 고정된 상태로 자기지지유니트에 하중을 가했을때의 당해 자기지지유니트의 탄성체의 탄력에 기인하는 공극길이의 단위중량당 변형량의 역수기 전자석의 여자전류가 영이고 또한 반송차가 공차상태일때의 자기지지유니트의 공극길이방향의 흡인력을 공극길이로 미분한 값의 절대치와 동일치 또는 그보다도 적은 값으로써 각 자기지지유니트의 부하중량의 자동분산이 가능한 구조를 제안했다(일본국 특개소 61-170206호 공보).

그러나 이와같은 부하중량의 자동분산기구를 구비한 것에 있어서도 다음과 같은 문제가 있었다. 즉 상술한 탄성체의 탄력이 반송차의 적하지지점을 고정한 상태로 자기지지유니트에 하중을 가했을때의 당해 자기지지유니트의 탄성체의 탄력에 기인하는 공극길이의 단위중량당의 변형량의 역수가 전자석의 여자전류가 영이고 또한 공차상태에 있을때의 자기지지유니트의 공극길이 방향의 흡인력을 공극길이로 미분한 값의 절대치와 동일치 또는 그보다도 작은 값이기 때문에 반송차를 가이드레일로부터 떼어내는 경우에 분할구조의 반송차에 있어서는 반송차의 분할판이 상기 연결기구로 자기지지유니트의 흡인력에 의해서 회전하고 자기지지유니트가 가이드레일에 충돌하여 장치의 파손을 초래하는 일이 있었다. 또 자기지지유니트를 탄성체를 거쳐서 차체에 부착한 반송차에 있어서는 차체를 눌러내려도 자기지지유니트가 가이드레일에 대해서 흡인력을 작용시키고 있기 때문에 탄성체가 과도하게 변형되어 장치의 파손을 초래하는 일이 있었다. 이 때문에 보수점검등으로 반송차를 가이드레일로부터 떼어내는 경우에는 분할판이나 모든 자기지지유니트를 차체에 고정하든지 모든 자기지지유니트를 눌려내려서 반송차를 가이드레일로부터 떼어내지 않으면 안되고 결국 장치의 보수성의 악화를 초래하고 있었다.

이상과 같이 종래에는 반송차의 적하지지점을 고정한 상태로 자기지지유니트에 하중을 가했을때의 당해 자기지지유니트의 탄성체의 탄력에 기인하는 공극길이의 단위중량당의 변형량의 역수가 전자석의 여자전류가 영이고 또한 반송차가 공차상태에 있을때의 자기지지유니트의 공극길이방향의 흡인력을 공극길이로 미분한 값의 절대치와 동일값 또는 그보다도 작은 값 즉 자기지지유니트에 작용하는 기계적인 탄력이 공차시의 자기지지유니트에 작용하는 자기적인 탄력보다도 약하기 때문에 반송차를 가이드레일로부터 떼어낼때에 장치가 손상되지 않도록 분할판이나, 모든 자기지지유니트를 차체에 고정하든지, 모든 자기지지유니트를 밀어 내리지 않으면 안되고 가이드레일로부터 떼어내어 반송차 전체의 보수를 실시하기 어려웠다. 또 가이드레일로부터 반송차를 떼어내지 않는 경우에는 가이드레일 등의 궤도구조물이 장해로 되고 반송차전체의 보수가 불가능했다.

따라서 본 발명은 가이드레일로부터 용이하게 떼어낼 수 있고 장치를 손상시키지 않고 떼어낼 수 있고, 따라서 보수성이 우수한 자기부상장치의 제공을 목적으로 한다.

상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 자기부상장치는 적어도 일부가 강자성체로 형성된 가이드레일과 이 가이드레일에 대해서 비접촉지지되는 부상체와 이 부상체에 공극을 거쳐서 상기 가이드레일에 대향하는 관계로 탑재되어 전자석 및 영구자석을 자기력원으로 하여 상기 전자석, 영구자석, 상기 공극, 상기 가이들 레일을 경유하는 자리회로도 상기 부상체를 자기력부상시키는 복수의 자기지지유니트와 상기 각 자기회로의 상태를 검출하는 센서부와 이 센서부의 출력에 따라서 상기 각 전자석의 여자전류를 대략 영으로 하는 상태로 상시 상기 각 자기회로를 안정화시키는 제로파워 부상제어수단을 구비하고 상기 제로파워제어수단이 상기 반송차의 중심의 상하방향 및 피치방향의 각 부상제어에 기옇는 소정의 각 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 영으로 수속시키는 제1제로파워제어루프를 갖는 동시에 상기 2방향이외의 각 전자석의 부상제어에 있어서는 상기 2방향의 소정의 각 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차와 상기 2방향이외의 각 전자석여자전류의 합계치 또는 차로 개개의 전자석전류를 산출할 수 있는 소정의 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 영으로 수속시키는 제2제로파워제어루프를 갖고 상기 제1제로파워제어루프로 도입되는 상기 제로파워부상제어에 관한 상태량 또는 그 추정치를 입력신호로 한 경우의 당해 입력신호에 대한 상기 제1제로파워제어루프의 출력이 상기 입력신호가 정(부)의 값이 되는 스텝신호이면 정(부)의 값으로 되고 상기 제2방향이외의 적어도 1조의 상기 전자석 여자전류의 합계치 또는 차에 관한 상기 제2제로파워제어루프로 도입되는 상기 제로파워부상제어에 관한 상태량 또는 그 추정치를 입력신호로 한 경우의 당해 입력신호에 대한 상기 제2제로파워제어루프의 출력이 상기 입력신호가 정(부)의 값이 되는 스텝신호이면 부(정)의 값으로 되는 것을 특징으로 하는 것이다.

본 발명을 설명함에 있어서 먼저 본 장치에 있어서의 제어방식이 어느 근거에 따르는 것인지를 설명하겠다.

제1도~제3도에는 본 장치에 있어서의 부상체의 대표적인 구성을 나타내었다.

이들 도면에 있어서 12a, 12b는 가이드레일을 나타내고 15는 부상체를 나타내고 부상체(15)의 일부를 구성하고 있는 기대(25)의 내귀퉁이 위치에는 공극가변기구(101)를 거쳐서 자기지지유니트(31a~31d)가 부착되어 있다. 이들 자기지지유니트(31a~31d)가 발생하는 자기 흡인력에 의해서 부상체(15)가 비접촉지지된다.

자기지지유니트(31a~31b)가 제2도에 나타낸 것과 같이 영구자석(53)과 서로 발생하는 자속을 강하게 합쳐지도록 결선되어 영구자석(53)의 양쪽에 배치된 전자석(51, 52)으로 구성되어 전자석(51, 52)의 여자전류를 제어하여 영구자석(53)에 기인하는 자기지지유니트들(31a~31d)의 자기흡인력을 제어한다. 또 자기지지유니트들(31a~31d)은 제2도에 나타낸 것과 같이 가이드레일들(12a~12b)에 대해서 외측으로 엇갈린 상태로 대향하고 있고 부상제(15)에 대해서 부상력과 안내력을 작용시킬 수 있는 배치로 되어 있다.

공극가변기구(101)는 자기지지유니트들(31a~31d)가 부착되는 단면 L자상의 대좌(102)와 기대(25)의 상면의 네귀퉁이에 고정된 배면판(103)과 대좌(102)와 배면판(103)의 측면을 핀으로 회전가능하게 연결하여 평행링크기구를 구성하는 4개의 봉상부재(104)와 대좌(102)의 하면부와 기대(25)의 상면부에 고정된 2개의 오일댐퍼(105)와 대좌(102)의 하면부와 기대(25)의 상면부간에서 2개의 오일댐퍼(105)간에 끼워있는 코일스프링(106)으로 구성되어 있다.

코일스프링(106)은 기대(25)를 고정시켜 자석유니트에 하중을 가했을때의 코일스프링(106)의 탄력에 기인하는 상기 공극의 단위 중량당의 변형량의 역수(K)가 상기 전자석의 여자전류가 영이고 또 상기 부상체가 최대 적재의 상태에 있을때의 상기 자석유니트의 공극가변방향의 흡인력을 그때의 공극길이로 미분한 값의 절대치보다도 큰값으로 되어 있다. 여기서는 간단히 하기 위하여 K를 스프링정수라 한다.

부상체(15)는 후에 설명하는 여러가지 구성요소에 의해서 구성되어 있으나 간단히 하기 위하여 여기서는 설명을 생략한다.

이제 부상체(15)가 최대 적재중량의 적하를 탑재하여 부상하고 있는 상태를 생각한다.

부상체(15)의 중심이 부상체(15)의 중앙에 있다고 가정하여 제1도중의 좌표계에 의해서 부상체(15)의 운동방정식 및 자기지지유니트들(31a~31d)의 전자석에 인가되는 여자전압의 전압방정식을 정상부상상태 근방에서 선형화 하고 중심의 상하동(z방향), 중심둘레의 롤링(g방향), 중심둘레의 피칭(h방향), 자기지지유니트(31a~31d)의 선단이 만드는 면의 비틀림운동(g_1방향), 4종의 모드로 분해하여 기술하면 (1)식 및 (2)식의 좌표변환에 의해서 식(3)~(4)식이 도출된다.

$$\begin{cases} \Delta z=\frac{1}{4}(\Delta z_a+\Delta z_b+\Delta z_c+\Delta z_d) \\ \Delta z_L=\frac{1}{4}(\Delta z_{La}+\Delta z_{Lb}+\Delta z_{Lc}+\Delta z_{Ld}) \\ \Delta g=\frac{1}{q_g}(\Delta z_a-\Delta z_b-\Delta z_c+\Delta z_d) \\ \Delta g_L=\frac{1}{2q_g}(\Delta z_{La}-\Delta z_{Lb}-\Delta z_{Lc}+\Delta z_{Ld}) \\ \Delta h=\frac{1}{2q_h}(-\Delta z_a-\Delta z_b+\Delta z_c+\Delta z_d) \\ \Delta h_L=\frac{1}{2q_h}(-\Delta z_{La}-\Delta z_{Lb}+\Delta z_{Lc}+\Delta z_{Ld}) \\ \Delta g_j=\frac{1}{q_g}(\Delta z_a-\Delta z_b+\Delta z_c-\Delta z_d) \end{cases} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\begin{cases} \Delta i_z=\frac{1}{4}(\Delta i_a+\Delta i_b+\Delta i_c+\Delta i_d) \\ \Delta i_g=\frac{1}{q_g}(\Delta i_a-\Delta i_b-\Delta i_c+\Delta i_d) \\ \Delta i_h=\frac{1}{2q_h}(-\Delta i_a-\Delta i_b+\Delta i_c+\Delta i_d) \\ \Delta i_{gj}=\frac{1}{q_g}(\Delta i_a-\Delta i_b+\Delta i_c-\Delta i_d) \end{cases} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\begin{cases} 4m\Delta\ddot{z}=4\left(\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)-k\right)\Delta z+4k\Delta z_L-4\gamma\Delta\dot{z}+4\gamma\Delta\dot{z}_L+4\left(\frac{\partial F_z}{\partial i}\right)\Delta i_z+4u_z \\ M\Delta\ddot{z}_L=4k\Delta z-4k\Delta z_L+4\gamma\Delta\dot{z}-4\gamma\Delta\dot{z}_L+u_L \\ L_{z0}\Delta\dot{i}_z=-N\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)\Delta\dot{z}-R\Delta i_z+e_z \end{cases} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\begin{cases} mq_g\Delta\ddot{g}=\left(\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)q_g-q_gk\right)\Delta g+2q_gk\Delta g_L-q_g\gamma\Delta\dot{g}+2q_g\gamma\Delta\dot{g}_L+\left(\frac{\partial F}{\partial i}\right)q_g\Delta I_g+q_gu_g \\ I_g\Delta\ddot{g}_L=\frac{1}{2}q_g^2\Delta g-q_g^2k\Delta g_L+\frac{1}{2}q_g^2\gamma\Delta g-q_g^2\gamma\Delta\dot{g}_L+T_g \\ L_{z0}q_g\Delta\dot{i}_g=-N\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)q_g\Delta g-Rq_g\Delta i_g+q_ge_g \end{cases} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\begin{cases} mq_h\Delta\ddot{h}=\left(\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)q_h-q_hk\right)\Delta h+q_hk\Delta h_L-q_h\gamma\Delta\dot{h}+q_h\gamma\Delta\dot{h}_L+\left(\frac{\partial F_z}{\partial i}\right)q_h\Delta i_h+q_hu_h \\ I_h\Delta\ddot{h}_L=q_h^2k\Delta h-q_h^2k\Delta h_L+q_h^2\gamma\Delta\dot{h}-q_h^2\gamma\Delta\dot{h}_L+T_h \\ L_{z0}q_h\Delta\dot{i}_h=-N\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)q_h\Delta\dot{h}-Rq_h\Delta i_h+q_he_h \end{cases} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\begin{cases} mq_g\Delta\ddot{g}_j=\left(\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)q_g-q_gk\right)\Delta g_j-q_g\gamma\Delta\dot{g}_j+\left(\frac{\partial F_z}{\partial i}\right)q_g\Delta i_{gj}+q_gu_{gj} \\ L_{z0}q_g\Delta\dot{i}_{gj}=-N\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)q_g\Delta\dot{g}_j-Rq_g\Delta i_{gj}+e_{gj} \end{cases} \quad \cdots\cdots(6)$$

여기서 첨자 a~d는 자기지지유니트들(31a~31d)에 대응하고 있고 △는 정상부상상태로부터의 편차를 나타낸다 또 Z_i(i=a~d)는 부상갭길이, i_1(i=a~d)는 자기지지유니트의 여자전류, Z는 가이드레일들(12a, 12b)의 하면에서 자기지지유니트들(31a~31d)의 선단을 연결하여 만들어지는 면의 중심위치까지의 높이(Z_L)는 가이드레일(12a, 12b)의 하면으로부터 자기지지유니트(31a~31d)의 아래에 위치하고 있는 기대(25) 상면위치까지의 거리, g는 자기지지유니트(31a, 31b)의 선단을 연결하는 직선과 자기지지유니트들(31c, 31b)의 선단을 연결하는 직선롤각의 합계치, g_L는 기대(25)의 롤각, g_j 는 자기지지유니트들(31a, 31b)의 선단을 연결하는 직선과 자기지지유니트들(31c, 31b)의 선단을 연결하는 직선의 롤각의 차, h는 자기지지유니트들(31a, 31d)의 선단은 연결하는 직선과 자기지지유니트들(31b, 31c)의 선단을 연결하는 직선의 각각의 피치각의 평균치, h_L은 기대(25)의 피치각을 나타낸다.

m은 각 자기지지유니트들(31a~31d)의 질량, M은 각 자기지지유니트들(31a~31d)을 제외한 부상체(15)의 질량, I_g는 X축 둘레의 관성모멘트, I_h는 y축 둘레의 관성모멘트, q_g, q_h는 각각 자기지지유니트(31a~31d)의 y축 및 x축에 평행인 간격, k는 공극가변기구(101)의 스프링정수(k>0), γ는 공극가변공구(11)의 감쇠정수(γ>0), f_Z는 각각 자기지지유니트(31a)의 z축 방향의 흡인력, ψ는 자기지지유니트(31a~31d)의 주자속, $\partial/\partial V$(V=z, i)는 변수(V)에 대한 함수의 편미분 오퍼레이터이고 ($\partial/\partial V$)는 부상체(15)의 정상부상상태에 있어서의 함수의 편미분치를 나타낸다. 또 L_{Z0}, R는 각각 부상체의 설계치의 공극길이로 부상하고 있을때의 코일(56)의 자기인덕턴스 및 전기저항값, U_Z는 자기지지유니트(31a~31d)에 가해지는 Z축에 평행인 외력, U_L은 자기지지유니트들(31a~31d) 이외의 부분에 가해지는 Z축에 평행인 외력, q_gU_g, q_hU_h는 각각 자기지지유니트들(31a~31d)에 가해지는 x축 둘레의 토오크외란 및 y축 둘레의 q_{gj}, U_{gj} 는 자기지지유니트들(31a~31d)의 선단이 만드는 면의 비틀림운동에 기여하는 x축 둘레의 토오크외란, 기호(·)는 1계의 시간미분을 나타내고 있다.

여기서는 (3)식을 Z-모드, (4)식을 g모드, (5)식을 h모드, (6)식을 gj 모드라 한다.

(3)식~(5)식, (6)은 다음 상태 방정식으로 정리될 수 있다. 즉 상태벡터들(X_3, X_5)을

$$X_3 = (\triangle g_j \quad \triangle \dot{g}_j \quad \triangle i_{gj})^T$$

$$X_5 = (\triangle z \quad \triangle z_L \quad \triangle \dot{z} \quad \triangle \dot{z}_L \quad \triangle i_z)^T$$

$$(\triangle g \quad \triangle g_L \quad \triangle \dot{g} \quad \triangle \dot{g}_L \quad \triangle i_g)^T$$

$$(\triangle h \quad \triangle h_L \quad \triangle \dot{h} \quad \triangle \dot{h}_L \quad \triangle i_h)^T \text{ 또한.}$$

라고하면, X_3, X_5에 대해서

$$\dot{x}_3 = A_3x_3 + b_3e_3 + D_3d_3 \quad \cdots\cdots (7)$$

$$\dot{x}_5 = A_5x_5 + b_5e_5 + D_5d_5 \quad \cdots\cdots (8)$$

의 2형태의 상태 방정식을 얻을 수 있다.

여기서, A_3, b_3, D_3, d_3, A_5, b_5, D_5, d_5는,

여기서, A_3, b_3, D_3, d_3, A_5, D_5, d_5는,

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{44} & a_{47} \\ 0 & a_{74} & a_{77} \end{pmatrix},\ b_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ b_{71} \end{pmatrix},\ d_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ d_{41} \\ 0 \end{pmatrix},\ d_3 = u_{gj}$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} & a_{45} & a_{47} \\ a_{51} & a_{52} & a_{54} & a_{55} & 0 \\ 0 & 0 & a_{74} & 0 & a_{77} \end{pmatrix},\ b_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{71} \end{pmatrix},\ D_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ d_{41} & 0 \\ 0 & d_{52} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$d_5 = \begin{pmatrix} u_g \\ T_g \end{pmatrix} \text{ or } \begin{pmatrix} u_h \\ T_h \end{pmatrix}$$

의 행렬을 나타낸다. e3, e5는 각각의 모드를 안정화하기 위한 제어전압

$$e_3 = e_{gj}$$

$$e_5 = e_g,\ e_g,\ e_h$$

이고, 각 자기지지유니트 31a~31d의 개개의 제어전압은 (9)식으로 주어진다.

$$\begin{cases} e_a = e_z + \frac{q_g}{4}e_g + \frac{q_g}{4}e_{gj} - \frac{q_h}{2}e_h \\ e_b = e_z - \frac{q_g}{4}e_g - \frac{q_g}{4}e_{gj} - \frac{q_h}{2}e_h \\ e_c = e_z - \frac{q_g}{4}e_g + \frac{q_g}{4}e_{gj} + \frac{q_h}{2}e_h \\ e_d = e_z + \frac{q_g}{4}e_g - \frac{q_g}{4}e_{gj} + \frac{q_h}{2}e_h \end{cases} \quad \cdots\cdots (9)$$

자기지지유니트들(31a~31d)의 여자전류를 영으로 수속시키면서 부상체(15)의 자기부상상태를 안전화시키기 위하여 일본국 특개소 61-102105호 공보에도 나타나 있는 제로파워제어를 각 모드에 행한다.

여기서는 간단히 하기 위하여 전류적분형제어를 사용한 경우를 생각한다.

제7도에 제어블록도를 나타냈다. 여기서 F는 피드백게인보상기, K는 적분보상기를 나타내고, g_j 모드에서는

$F=(F_{1gj}, F_{4gj}, F_{7gj})(g_j$ 모드)

$K=(0, 0, K_{7gj})(g_j$ 모드)

모드에는,

$F=(F_{1i}, F_{4i}, F_{7i})(i=z, g, h)$

$K=(0, 0, K_{7j})(i=z, g, h)$

이고 출력행렬(C)은 gj 모드에서는 차수와 같은 단위행렬로 한다. 다른 모드에서는

$$C=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

로 된다.

또, A, b, y는 각각 $A=A_3$, A_5, $b=b_3$, b_5, $y=Cx(x=x_3, x_5)$을 나타낸다. 마찬가지로 이하에서는 $D=D_3$, D_5, $d=d_3$, d_5, $e=e_3$, e_5로 한다.

상술한 제로파워제어를 각 모드에 행한 경우에 I를 해당하는 각 모드의 차수와 같은 차수의 단위행렬로써 각 모드가 안정되기 위해서는

$$\det[sI-A+bFC+bKC/s]s=0 \quad \cdots\cdots (10)$$

로 표시되는 s의 특성 방정식중 좌변의 s의 다항식의 정수항이 정일 것이 필요조건으로 된다.

각 모드마다 계산기(10)식의 s의 다항식의 정수항은 이하와 같이 된다.

$$z\text{모드}:-\frac{4k}{mML_{zo}}K_{7z}\cdot\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right) \quad \cdots\cdots (11)$$

$$g\text{모드}:-\frac{q_g^2k}{mIgL_{zo}}K_{7g}\cdot\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right) \quad \cdots\cdots (12)$$

$$h\text{모드}:\frac{q_h^2k}{mI_hL_{zo}}K_{7h}\cdot\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right) \quad \cdots\cdots (13)$$

$$g_j\text{ 모드}:\frac{1}{mL_{zo}}\left(k-\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)\right)K_{7gj} \quad \cdots\cdots (14)$$

이때 $(\partial f_z/\partial_z)>0$이므로, z, g 및 h의 각 모드에 있어서는

$$K_{7i}(i=z,g,h)<0 \quad \cdots\cdots (15)$$

인 것이 필요하고, b, g_j 모드에서는

$$k>(\partial f_z/\partial z) \quad \cdots\cdots (16)$$

이기 때문에

$$K_{7gj}>0 \quad \cdots\cdots (17)$$

인 것이 필요하게 된다.

또 자석유니트들(31a~31d)이 직접 기대(25)에 고정되어 있는 경우에도 $K\rightarrow\infty$로 간주하면 마찬가지 필요조건이 된다.

공극가변기구(101)의 스프링정수(K)가 식(16)식이 되도록 구성된 부상체(15)에 있어서는 상술한 제1제로파워피드백루프의 제어정수에도 K_{7z} 및 K_{7h}가 해당되고 상술한 제2제로파워피드백루프의 제어정수에는 K_{7g}

및 K_{7gj}가 해당된다. 제2제로파워피드백루프의 제어정수중 K_{7gj}를 제1제로파워피드백루프의 제어정수의 부호가 상이하도록 설정하여 비로서 부상체(15)의 자기부상상태의 안정화를 도모할 수 있게 된다.

따라서 제7도에서도 명백한 바와 같이 제1 및 제2제로파워피드백루프의 입력이 되는 △iz, △ih 및 △ig가 정(부)의 값이면 (15)식에서 이들의 제로파워피드백루프의 출력도 정(부)의 값으로 된다. 한편 또 하나의 제2제로파워피드백루프의 입력이 되는 △igj는 정(부)의 값이면 (17)식에서 이 제로파워피드백루프의 출력은 부(정)의 값으로 된다.

이에 의해서 자기지지유니트에 작용하는 공극가변기구의 기계적인 탄력을 필요한 만큼 크게 하여도 부상체(15)의 제로파워제어가 가능해지고 모든 자기지지유니트가 독립하여 각각의 부상 갭길이를 변화시킬 수 있는 구성, 예를들면 차체의 분할구조나 공차시의 자기지지유니트에 작용하는 자기적인 탄력보다도 약한 기계적 탄력을 자기지지유니트로 작용시키는 공극가변기구의 사용을 피할 수 있게 된다. 따라서 종래와 같이 부상체를 가이드레일로부터 떼어낼때에 장치가 손상되지 않도록 분할판이나 모든 자기지지유니트를 차체에 고정하든지 모든 자기지지유니트를 밀어내리는 대신에 부상체를 강체로 간주하여 임의의 개소를 잡아 용이하게 가이드레일로부터 떼어낼 수 있게 된다. 이 때문에 자기부상장치의 보수성이 대폭으로 향상된다.

이하 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하겠다.

제1도 내지 제4도에서는 본 발명의 일실시예에 의한 자기부상장치(10)의 주요부가 나타나 있다.

이들 도면에서 11은 단면이 역 U자상으로 형성되고 예를들면 사무실공간에서 장애물을 피하도록 부설된 궤도프레임(11)을 나타낸다. 궤도프레임(11)의 상부벽 하면에는 2개의 가이드레일(12a, 12b)이 평행으로 부설되어 있다.

가이드레일(12a, 12b)은 강자성체로 형성된 평판상부재에 의해서 형성되어 있다.

또 궤도프레임(11)의 측벽내면에는 각각 단면이 ㄷ자상으로 형성된 비상용가이드(14a, 14b)가 서로 해방된 측을 대면시켜서 배치 설비되어 있다.

가이드레일(12a, 12b)의 하측에는 부상체(15)가 가이드레일(12a, 12b)에 연하여 주행자재하게 배치되어 있다, 궤도프레임(11)의 상부벽 하면에서 가이드레일들(12a, 12b)간의 부분에는 제2도 및 제3도에 나타낸 것과 같이 가이드레일들(12a, 12b)에 연하여 소정의 거리를 떨어져 리니어유도전기의 고정자(16)가 배치되어 있다.

부상체(15)는 가이드레일들(12a, 12b)의 하면과 대향하도록 배치된 평판상의 기대(25)를 구비하고 있다. 기대(25)의 상면 네귀퉁이의 위치에는 공극가변기구(101)를 거쳐서 각각 합계 4개의 자기지지유니트(31a~31d)가 탑재되어 있다. 이들 자기지지유니트(31a~31d)에는 각 유니트와 가이드레일들(12a, 12b)의 하면간의 갭길이(공극길이)를 검출하는 광학 갭센서들(34a~34d)이 각각 부착되어 있다.

기대(25)의 하면에는 제3도에서도 나타낸 것과 같이 연결부재(35a, 35b, 36a, 36b)를 거쳐서 반송물을 수납하기 위한 용기(37)가 부착되어 있다.

용기(37)의 상면에는 전술한 4개의 운동모드에 따라서 부상체(15)를 제로파워제어로 자기부상시키기 위한 제어장치(41)와 정전압발생장치(42)와 이들에게 전력을 공급하는 소용량의 전원(43)이 각각 4개로 분할되어 탑재되어 있다.

또 기대(25)의 네귀퉁이 위치에는 각 자기지지유니트(31a~31d)의 자기력상실시등에 있어서 상기 비상용 가이드레일들(14a, 14b)의 상하벽 내면에 접촉되어 부상체(15)를 상하방향으로 지지하기 위한 4개의 종차륜(45a)과 동비상용 가이드레일(14a, 14b)의 측벽 내면에 접촉하여 부상체(15)를 좌우방향으로 지지하여 과대한 횡방향의 외력으로 부상체(15)가 가이드레일들(12a, 12b)로부터 벗어나서 탈락되는 것을 방지하기 위한 횡차륜(45b)이 각각 부착되어 있다. 또, 기대(25)는 전술한 리니어 유도전동기의 가동요소인 2차 도체판을 겸한 것이고 장치의 가동시에는 고정자(16)와 근소한 갭을 거쳐서 대향하는 높이에 위치한다.

각 자기지지유니트(31a~31d)는 제4도에 나타낸 것과 같이 상단부가 가이드레일들(12a, 12b)의 하면에 대해서 외측으로 엇갈려 대향하도록 배치된 2개의 전자석(51, 52)과 이들 전자석(51, 52)의각 하부측면간에 끼워진 영구자석(53)으로 구성되어 있고 전체로써 U자상으로 형성되어 있다. 각 전자석(51, 52)은 강자성체로 형성된 요우크(55)와 이 요우크(55)에 감긴 코일(56)로 구성되어 있다.

각 코일(56)은 전자석(51, 52)에 의해서 형성되는 자속이 서로 가산되는 방향으로 직렬로 접속되어 있다. 그리고 가이드레일들(12a, 12b)의 각각의 폭(L_1)은 자기지지유니트들(31a~31d)의 각각의 폭(L_2)보다도 좁게 설정되어 있다.

공극가변기구(101)는 자기지지유니트들(31a~31d)이 부착되는 단면의 L자상의 대좌(102)와 기대(25)의 상면 네귀퉁이에 고정된 배면판(103)과 대좌(102)와 배면판(103)의 측면을 핀으로 회전가능하게 연결하여 평행링크기구를 구성하는 4개의 봉상부재(104)와 대좌(102)의 하면부와 기대(25)의 상부면에 고정된 2개의 오일댐퍼(105)와 대좌(102)의 하면부와 기대(25)의 상면부간에서 2개의 오일댐퍼(105)간에 끼워져 있는 코일스프링(106)으로 구성되어 있다.

코일스프링(106)은 기대(25)를 고정하여 자석유니트에 하중을 가했을때의 코일스프링(106)의 탄력에 기인하는 상기 공극의 단위중량당의 변형량의 역수(K)가 상기 전자석의 여자전류가 영이고 또한 상기 반송차가 최대 적재상태에 있을때의 상기 자석유니트의 공극가변방향의 흡인력을 그때의 공극길이로 미분한 값의 절대치보다도 큰 값으로 되어 있다.

제어장치(41)는 제1도에 나타낸 것과 같이 분할되어 있기는 하지만 예를들면 제5도에 나타낸 것과 같이 전체로써 하나로 구성되어 있다. 또 이하의 블록도에 있어서, 화살표선은 신호경로를 나타내고 또 굵은선은 코일(56)의 주변의 전력경로를 나타내고 있다. 이 제어장치(41)는 부상체(15)에 부착되어 자기지지유니트를 (31a~31d)에 의해서 형성되는 자기회로중의 기자력 또는 자기저항 또는 부상체(15)의 운동변화를

검출하는 센서부(61)와 이 센서부(61)로부터의 신호에 의해서 각 코일(56)로 공급할 전력을 연산하는 연산회로(62)와 이 연산회로(62)로부터의 신호에 따라서 각 코일(56)로 전력을 공급하는 파워앰프들(63a~63d)로 구성되어 있고 이들로 4개의 자기지지유니트(31a~31d)의 흡인력을 각각 제어하고 있다.

전원(43)은 파워앰프(63a~63d)로 전력을 공급하는 동시에 연산회로(62)및 갭센서들(34a~34d)에 일정전압으로 전력을 공급하는 정전압발생장치(42)에도 전력을 공급하고 있다.

정전압발생장치(42)는 파워앰프들(63a~63d)로의 대전류의 공급등에 의해서 전원(43)의 전압이 변동해도 상시 일정한 전압으로 연산회로(62) 및 갭센서(34a~34d)로 전력을 공급한다. 이때문에 갭센서들(34a~34d) 및 연산회로(62)는 정상으로 동작한다.

센서부(61)는 전술한 갭센서들(34a~34d)과 각 코일(56)의 전류치를 검출하는 전류검출기들(65a~65d)로 구성되어 있다.

연산회로(62)는 제1도에 나타낸 운동좌표마다 부상체(15)의 자기부상제어를 행하고 있다. 여기서는 부상체(15)의 중심의 Z좌표에 관한 자기부상제어계를 Z모드, 부상체(15)의 롤(g방향)에 관한 자기부상제어계를 g모드, 부상체(15)의 피치(h방향)에 관한 자기부상제어계를 h모드, 자기지지유니트들(31a~31d)의 선단이 만드는 면이 비틀림운동(g_j방향)에 관한 자기부상제어계를 g_j 모드로 하여 설명한다.

즉 연산회로(62)는 갭센서들(34a~34d)에서 얻은 갭길이신호(Z_a~Z_d)로부터 각각의 갭길이설계치(Z_{ao}~Z_{do})를 감산하여 얻는 갭길이편차신호들($\triangle Z_a$~$\triangle Z_d$)을 연산하는 감산기들(80a~80d)과 갭길이편차신호들($\triangle Z_a$~$\triangle Z_d$)로 (1) 식중에, z, g, h 및 g_j의 각 편차인 △z, △g, △h 및 △gj 를 연산하는 부상갭길이 편차 좌표변환회로(81)와 전류검출기들(65a~65d)에서 얻은 여자전류검출신호(i_a~i_d)로부터의 각각의 전류설계치(i_{ao}~i_{do})를 감산하여 얻어지는 전류편차신호들($\triangle i_a$~$\triangle i_d$)을 연산하는 감산기들(82a~82d)과 전류편차신호들($\triangle i_a$~$\triangle i_d$)로부터 (2) 식중의 i_z, i_g, i_h 및 i_{gj}의 각 편차인 $\triangle i_z$, $\triangle i_g$,$\triangle i_h$ 및 $\triangle i_{gj}$를 연산하는 전류편차좌표변환회로(83)와 부상갭길이 편차좌표변환회로(81) 및 전류편차좌표변환회로(83)의 출력인 △z, △g, △h 및 $\triangle g_j$, $\triangle i_z$, $\triangle i_g$, $\triangle i_h$ 및 $\triangle i_{gj}$를 도입하여, z, g, h 및 g_j의 각 모드에 있어서 부상체(15)를 안정되게 자기 부상시키는 모드별 전자식 제어전압(e_z, e_g, e_h, e_{gj})을 연산하는 제어전압연산회로(84)와 이 제어전압연산회로(84)의 출력(e_z, e_g, e_h, e_{gj})으로 (9)식에 의해서 자기지지유니트들(31a~31d)의 각각의 전자석 여자전압(e_a~e_d)을 연산하는 제어전압좌표역변환회로(85)로 구성되어 있다. 그리고 제어전압좌표역변환회로(85)의 연산결과, 즉 상술한 e_a~e_d가 파워앰프들(63a~63d)로 제공되어 코일(56)에 전압(e_a~e_d)에 기인하는 여자전류가 공급된다.

제어전압연산회로(84)는 △z와 △iz로 z모드의 전자석 제어전압(ez)을 연산하는 상하동모드제어전압연산회로(86)와 △g와 △ig로 g모드의 전자석 제어전압(eg)을 연산하는 롤모드제어전압연산회로(87)와 △h와 △ih로 h모드의 전자석 제어전압(eh)을 연산하는 피치모드제어전압연산회로(8)와 △gh와 △igj로 gj모드의 전자석 제어전압(egi)을 연산하는 트위스트모드제어전압연산회로(89)로 구성되어 있다.

상하동모드제어전압연산회로(86), 롤모드제어전압연산회로(87), 피치모드제어전압연산회로(88), 트위스트모드제어전압연산회로(89)는 제6도에 나타낸 것과 같이 모두 동일구성 요소로 구성되어 있다.

여기서는 상하동모드제어전압연산회로(86)를 예로들어 제어전압연산회로(84)의 구성을 설명한다.

즉 상하동모드제어전압연산회로(86)는 △z를 도입하여 △z의 시간미분치 △z'(이 명세서의 본문중에서는 시간미분을 나타내는 기호(˚) 대신에 기호(,)를 사용한다)를 연산하여 출력하는 미분기(90)와 △z를 도입하여 제7도에 나타낸 피드백게인(F_{1z})을 △z에 승산하는 게인보상기(91)와 △z를 도입하여 동피드백게인(F_{4z})을 △z에 승산하는 게인보상기(92)와 $\triangle i_z$를 도입하여 동피드백게인(F_{7z})을 $\triangle i_z$에 승산하는 게인보상기(93)와 전류편차목표치발생기(94)와 $\triangle i_z$를 전류편차목표치발생기(94)의 목표치로부터 감산하는 감산기(95)와 이 감산기(95)의 출력치를 적분하여 제7도에 나타낸 피드백게인(K_{7z})을 적분결과에 승산하는 적분보상기(96)와 게인보상기(91~93)의 출력을 입력하고 이들의 총합계를 연산하는 가산기(97)와 가산기(97)의 출력치를 적분보상기(96)의 출력치로부터 감산하는 감산기(98)로 구성되어 있다.

감산기(98)의 출력신호는 e_z로 된다. 그런데 상하동모드제어전압연산회로(86)는 제7도의 z모드의 제어를 실현한다, 여기서 적분보상기(96)의 게인(K_{7z})이 부의 값을 취하는 것은 물론이다.

또 트위스트모드제어전압연산회로(89)는 구성요소가 상하동모드제어전압연산회로(86)와 동일하지만 제7도의 g_j, 모드의 제어를 실현하기 위하여 적분보상기(96)의 게인(K7gj)의 정의 값을 취하는 것은 물론이다.

다음에 상기와 같이 구성된 본 실시예에 의한 자기부상장치의 동작을 설명한다.

장치가 정지상태에 있을때에는 비상용가이드레일(13a, 13b)의 상하벽중 어느한쪽 내면에 부상체(15)의 종차륜(45a)이 접촉되어 있다. 이 상태에서 장치를 기동시키면 제어장치(41)는 각 영구자석(53)이 발생하는 자속과 동일방향 또는 역방향의 자속을 각 전자석(51, 52)에서 발생시키는 동시에 자기지지유니트들(31a~31d)과 가이드레일들(12a, 12b)간의 공극길이를 소정치로 유지하기 위하여 각 여자코일(56)에 흘리는 전류를 제어한다. 이에 의해서 제4도에 자기지지유니트(31a)의 부분만을 대표적으로 나타내도록 영구자석(53)~요우크(55)~공극(P)~가이드레일(12a)~공극(P)~요우크(55)~영구자석(53)의 경로로 되는 자기회로가 형성된다.

공극(P)에 있어서의 갭길이는 가이드레일들(12a, 12b)에 작용하는 각 영구자석(53)의 기자력에 기인하는 자기지지유니트들(31a~31d)의 자기적 흡인력이 적하를 포함하는 부상체(15) 전체의 중량, 적하등에 의해서 발행하는 부상체(15)의 중심을 통하는 x축 둘레의 토오크, 동 y축 두렐의 토오크 및 공극가변기구(101)의 탄력과 각 자기지지유니트(31a~31d)의 중량과의 합력의 모두가 꼭 밸런스되는 길이로 설정된다.

제어장치(41)는 이 갭길이를 유지하기 위하여 각 자기지지유니트들(31a~31d)의 전자석들(51, 52)의 여자전류를 행한다. 이때에 공극가변기구(101)의 스프링정수(K)는 부상체(15)가 최대적재 상태에 있을때에 각 영구자석(53)의 기자력에 기인하는 자기지지유니트들(31a~31d)의 자기적 흡인력을 그때의 부상갭길이로 미분한 값의 절대치, 즉 제8도에 나타낸 접선의 기울기의 절대치, 즉 자기스프링 정수보다도 크게 설정되어 있고 이에 의해서 소위 제로파워제어가 행해지게 된다.

부상체(15)가 리니어유도전동기의 고정자(16)의 바로 아래에 있을때에 고정자(16)에 통전하면 기대(25)가 고정자(16)로부터 추력을 받는다. 그결과 부상체(15)는 자기부상상태로 가이드레일들(12a, 12b)에 연하여 주행을 개시한다. 부상체(15)는 공기저항등의 영향으로 완전히 정지할때까지의 사이에 대차 고정자(16)가 배치되어 있으면 부상체(15)는 재차 추력을 받는다. 따라서 가이드레일들(12a, 12b)에 연한 이동을 지속한다. 이와 같이 부상체(15)를 비접촉상태로 목적지까지 이동시킬 수 있다.

그런데 보수나 점검을 위하여 부상체(15)를 궤도(11)의 단부에서 떼어낼 경우에는 공극가변기구(101)쪽이 자기지지유니트들(31a~31d)의 자기스프링정수보다도 크므로 공극가변기구(101)보다도 아랫쪽 부위 예를들면 연결부재들(35a, 35b, 36a, 36b)이나 용기(37)을 잡고 떼어내거나 가이드레일들(12a, 12b)에 작용하는 흡인력으로 자기지지유니트들(31a~31d)이 가이드레일에 충돌하든지 흡착되는 일은 없다. 따라서 장치를 손상하는 일이 없고 용이하게 부상체(15)를 취급할 수 있다. 이 때문에 자기부상장치의 보수성을 대폭으로 향상시킬 수 있다.

또 상술한 실시예에서는 부상체(15)가 4개의 자기지지유니트와 공극가변기구를 구비하고 있으나 자기지지유니트의 개수나 공극가변기구의 사용 및 이들에 부수되는 제어장치의 구성은 하등 한정되는 것이 아니고 여러가지 변경이 가능하다.

예를들면 제9도에 나타낸 것과 같이 1개의 가이드레일(12c)에 대향하는 3개의 자기지지유니트를 구비한 부상체(15a)에 의해서 자기지지장치(10a)를 구성한 것이라도 하등 지장이 없다.

이 자기지지장치(10a)에서는 궤도(11a)에 연하여 소정 간격으로 배치되어 리니어유도전동기의 2차 도체판을 겸한 용기(37)의 하면과 근소한 갭을 거쳐서 대향하는 높이로 설치된 고정자(16)(도시치 않음)을 여자함으로써 부상체(15a)에 추진력이 제공된다.

이하에는 간단히 하기 위하여 제1도와 동일 구성에는 필요에 따라 첨자가 붙은 동일번호를 부여하고 설명을 생략한다.

자기지지유니트들(31a~31d)은 부상체(15a)위에 있어서 충분히 강성이 높은 기대(25a)에 직접 부착되어 있다.

이 경우에 제어장치(41a)는 제10도에 나타낸 것과 같이 구성된다.

연산회로(62a)는 부상체(15a)의 z모드, h모드의 제로파워제어를 행하는 동시에 자기지지유니트(31a)의 여자전류(i_a)로부터 자기지지유니트들(31b)의 여자전류(i_b)를 감산한 차(i_y)를 영으로 하는 w모드의 제로파워제어를 행하고 있다.

즉 연산회로(62a)는 갭센서들(34a~34c)에서 얻어진 갭길이신호들(z_a~z_c)로부터 각각의 갭길이 설계치들($\triangle Z_{ao}$~$\triangle Z_{co}$)을 감산하여 얻어지는 갭길이편차신호들($\triangle a$~$\triangle c$)을 연산하는 연산기들(80a~80c)과 갭길이 편차신호들($\triangle Z_a$~$\triangle Z_c$)로

$$3\triangle z=(\triangle z_a+\triangle z_b+\triangle z_c)$$

$$q_h\triangle h=\triangle z_a-\triangle z_c \quad \cdots\cdots (18)$$

에 의해서 z 및 h의 각 편차인 $\triangle z$ 및 $\triangle h$를 연산하는 부상갭길이 편차좌표 변환회로(81a)와 전류검출기들(65a~65c)에서 얻어진 여자전류검출신호(i_a~i_c)로부터 각각의 전류설계치(i_{ao}~i_{co})를 감산하여 얻어지는 전류편차신호들($\triangle i_a$~$\triangle i_c$)을 연산하는 감산기들(82a~82c)과 전류편차신호들($\triangle i_a$~$\triangle i_c$)로

$$3\triangle i_z=(\triangle i_a+\triangle i_b+\triangle i_c)$$

$$g_h\triangle i_h=\triangle i_a-\triangle i_c$$

$$\triangle i_w=\triangle ia-\triangle i_b \quad \cdots\cdots (19)$$

에 의해서 i_z, i_h 및 i_w의 각 편차 $\triangle i_z$, $\triangle i_h$ 및 $\triangle i_w$를 연산하여 전류편차좌표변환회로(83a)와 부상갭길이 편차좌표변환회로(81a) 및 전류편차좌표변환회로(83a)의 출력들인 $\triangle z$, $\triangle h$, $\triangle i_z$, $\triangle i_h$ 및 $\triangle i_w$를 도입하여 z, h 및 w의 각 모드에 있어서 부상체(15)를 안정되게 자기부상시키는 모드별 전자석제어전압들(e_z, e_h, e_w)을 연산하는 제어전압연산회로(84a)와 이 제어전압연산회로(84a)의 출력들(e_z, e_h, e_w)로

$$e_a=e_z+\frac{q_h}{3}e_h+\frac{1}{3}e_w$$

$$e_b=e_z+\frac{q_h}{3}e_h-\frac{2}{3}e_w \quad \cdots\cdots (20)$$

$$e_c=e_z+\frac{2q_h}{3}e_h+\frac{1}{3}e_w$$

에 의해서 자기지지유니트들(31a~31c)의 각각의 전자석여자전압들(e_a~e_c)을 연산하는 제어전압좌표역변환회로(85a)로 구성되어 있다.

그리고 제어전압좌표역변환회로(85a)의 연산결과, 즉 상술한 전자석여자전압들(e_a~e_c)이 파워앰프들(63a~63c)로 제공되고, 코일(56)에 전압들(e_a~e_c)에 기인하는 여자전류가 공급된다.

제어전압연산회로(84a)는 △z와 △i로 z모드의 전자석제어전압(e_z)을 연산하는 상하동모드제어전압연산회로(86a)와 △h와 △i_h로 h모드의 전자석제어전압(e_h)을 연산하는 피치모드제어전압연산회로(88a)와 △i_w로 w모드의 전자석제어전압(e_w)을 연산하는 트위스트모드제어전압연산회로(89a)로 구성되어 있다.

여기서 상하동모드제어전압연산회로(86a)는 예를들면 상태관측기에서 자기지지유니트들(31a~31c)에 가해지는 z축 방향의 외력의 평균치(U_z)를 추정하고 이것에다 소정의 게인을 승산하여 전자석여자전압(e_z)에 피드백하는 제로파워제어루프를 구성하고 있다. 또 피치모드제어전압연산회로(88a)는 △h, △h와 △i_h를 각각에 모두가 동시에 영이 아닌 소정의 게인을 승산하여 1차 전달함수를 갖는 필터로 입력하고 동 필터의 출력을 전자석여자전압(e_h)에 피드백하는 제로파워제어루프를 구성하고 있다. 한편 트위스트모드제어전압연산회로(89a)는 △i_w를 소정의 게인을 갖는 적분보상기로 입력하고 동적분 보상기의 출력을 전자석여자전압(e_w)으로 피드백하는 제로파워제어루프를 구성하고 있다.

즉 상하동모드제어전압연산회로(86a)는 제11도에 나타낸 것과 같이 △z 및 △i_z를 도입하고 △z, △z''', △i_z 및 U_z''를 연산하여 출력하는 상태관측기(201)(이 명세서의 본문중에는 추정을 나타내는 하트신호 대신에 기호(')를 사용한다)와 △z를 도입하여 피드백게이(F_{12})을 △z에 승산하는 게인보상기(91)와 △z를 도입하여 동피드백게인(F_{4z})을 △z에 승산하는 게인보상기(92)와 피드백게인(F_{7z})을 △i_z에 승산하는 게인보상기(93)와 피드백게인(F_{8z})을 U_z에 승산하는 게인보상기(203)와 게인보상기들(91~93,203)의 출력을 입력하여 이들의 총합계를 연산하는 가산기(97a)와 가산기(97a)의 출력치를 목표치발생기(94a)의 출력치로부터 감산하는 감산기(98)로 구성되어 있다. 감산기(98)의 출력신호는 e_z로 된다. 그리하여 상하동 모드제어전압연산 회로(86a)는 제12도에 나타낸 제어를 실현한다. 또 제12도중에서,

$$A=\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_{41} & 0 & a_{47} \\ 0 & a_{74} & a_{77} \end{pmatrix},\ B=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ b_{71} \end{pmatrix},\ C=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D=\begin{pmatrix} 0 \\ d_{41} \\ 0 \end{pmatrix},\ \hat{A}=\begin{pmatrix} -\alpha_{11} & d_{41} \\ -\alpha_{21} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{B}=\begin{pmatrix} a_{41}+d_{41}\alpha_{21}-\alpha_{11} & a_{47} \\ -\alpha_{11}\alpha_{21} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{C}=\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},\ \hat{D}=\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \alpha_{11} & 0 \\ 0 & 1 \\ \alpha_{21} & 0 \end{pmatrix}$$

$$X=(\triangle z\ \triangle \dot{z}\ \triangle i_z)^T,\ \hat{Y}=(\triangle z\ \triangle \hat{\dot{z}}\ \triangle i_z\ \hat{u}_z)^T,\ F=(F_{1z}\ F_{4z}\ F_{7z}\ F_{8z})$$

이고, α_{11} 및 α_{21}은 det[sI-A'']=0에 있어서 특성근(s)이 복소평면상에서 좌반면에 위치하도록 적의 결정할 수 있는 정수이다.

이와 같은 z모드의 제로파워제어는 예를들면 일본국 특원소 60-146033호에도 나타나 있어 상세한 설명은 생략한다. 여기서 U_1'를 입력으로하여 이것에 게인(F_{8z})을 승산하여 감산기(98)에서 출력을 얻음으로써 제로파워제어루프를 구성하고 있다. 이때에 F_{8z}는 $F_{8z}=(d_{41}/a_{41})$이기 때문에 F_{8z}는 F_{1z}와 마찬가지로 F_{8z}<0이 된다. 따라서 입력(U_1')이 정(부)이면 출력(e_z)는 정(부)로 되는 것은 물론이다.

피치모드제어전압연산회로(8a)는 제13도에 나타낸 것과 같이 △h를 도입하여 △h의 시간미분치(△h')를 연산하여 출력하는 미분기(90)와 △h를 도입하여 피드백게인(F_{1h})을 승산하는 게인보상기(91)와 △h를 도입하여 피드백게인(F_{4h})을 △h에 승산하는 게인보상기(92)와 △i_h를 도입하여 피드백게인(F_{7h})을 △i_h에 승산하는 게인보상기(93)와 목표치발생기(94a)와 △h를 목표치발생기(94a)의 목표치로부터 감산하는 감산기(95a)와 이 감산기(95a)의 출력치를 입력하는 특정($-\lambda_f$), 게인(P_{1h})의 1차 전달함수를 갖는 필터(211)와

목표치발생기(94aa)와 $\triangle i_h$를 목표치발생기(94aa)의 목표치로부터 감산하는 감산기(95aa)와 이 감산기(95aa)의 출력치를 입력하는 특성근($-\lambda_f$), 게인(P_{7h})의 1차 전달함수를 갖는 필터(212)와 게인보상기들(91~93)의 출력을 입력하고 이들의 총합계를 연산하는 가산기(97)와 필터(211, 212)의 출력을 입력하고 이들의 합계치를 연산하는 가산기(97a)와 가산기(97)의 출력치를 가산기(97a)의 출력치로부터 감산하는 감산기(98a)로 구성되어 있다.

감산기(98a)의 출력신호는 eh로 된다.

이와같이 하여 피치모드제어전압연산회로(88a)는 제14도의 h모드의 제어를 실현시킨다. 또 제14도중

$P=(P_{1h}0P_{7h})$, $T_f=1/\lambda_f$이고

$P_{1H}=-F'_{1h}$, $P_{7h}=-F'_{7h}$ $\lambda_f<0$

이다. 이 때문에 감산기(95a), 감산기(95aa)를 거쳐서 필터(211, 212)로의 입력이 각각 정의 스텝입력이면 eh>0로 된다.

여기서 감산기(95a) 및 감산기(95aa)의 각각의 출력치를 필터(211, 212)를 거쳐서 감산기(98a)에서 출력을 얻음으로써 제로파워제어루프를 구성하고 있는 것은 물론이다.

또 스위스트모드제어전압연산회로(89a)는 제15도에 나타낸 것과 같이 $\triangle$iw를 도입하여 피드백게인(F_{7w})을 $\triangle$iw에 승산하는 게인보상기(93)와 전류편차목표치발생기(94)와 $\triangle$iw를 전류편차목표칩발생기(94)의 목표치로부터 감산하는 감산기(95)와 이 감산기(95)의 출력치를 적분하여 제7도에 나타낸 피드백게인(K_{7w})을 적분결과에 승산하는 적분보상기(96)와 게인보상기(93)의 출력을 입력하고 이것을 적분보상기(96)의 출력치로부터 감산하는 감산기(98a)로 구성되어 있다.

감산기(98a)의 출력신호는 ew로 된다. 이와같이 하여 트위스트모드제어전압연산회로(89a)는 제7도의 gj모드의 피드백게인들(F, K)에 있어서 F=(00F_{7w}), K=(00F_{7w})로 한 경우에 상당하는 제어를 실현시킨다. 여기서 적분보상기(96)의 게인(K_{7w})이 정의 값을 취하는 것은 물론이다.

또 상술한 실시예에서는 부상체의 안내방향의 제어를 행하고 있으나 이것은 안내방향의 제어의 유무를 하등 한정시키는 것은 아니다. 예를들면 제16도에 나타낸 것과 같은 장치라도 하등 지장없다.

이 장치는 제1도에 나타낸 실시예에 관한 자기부상장치(10)의 부상체(15)에 있어서 공극가변기구(101)를 거치지 않고 자기지지유니트들(31a~31d)을 고강성의 기대(25)에 직접 부착하여 부상체(15)를 구성하고 있다.

이 자기부상장치(10b)에 있어서는 본 출원인 등이 앞서 출원한 일본국 특원평 1-53165호에 나타낸 제어장치와 같은 구성의 제어장치(41b)가 사용되고 있다. 제어장치(41b)의 구성을 제17도에 나타냈다.

제어장치(41b)에 있어서 상하동모드제어전압연산회로(221), 롤, 좌우동모드제어전압연산회로(223) 및 피치모드제어전압연산회로(225)는 일본국 특원평 1-53165호에 나타낸 상하동모드제어전압연산회로, 롤, 좌우동모드제어전압연산회로 및 피치모드제어전압연산회로와 같이 구성되어 있다. 부상체(15b)는 기대(25)가 고강성을 갖기 때문에 요-모드(yaw-mode)제어전압연산회로의 구성과 다르다.

부상체(15b)의 중심이 부상체(15b)의 중앙에 있다고 가정하여 제16도중의 좌표계에 따라서 부상체(15b)의 운동방정식 및 자석유니트들(31a~31d)의 전자석에 인가되는 여자전압의 전압방정식을 정상부상상태근방에서 선형화하고 중심의 상하동(z방향), 중심둘레의 롤링(g방향), 중심둘레의 피칭(h방향), 중심둘레의 요잉(yawing)(j방향)의 네가지 모드로 분해하여 기술하면, z, g 및 h의 각 모드에 대해서는 일본국 특원평 1-53165호의 z, Θ 및 ζ의 각 모드의 선형화 미분방정식과 같아진다.

Ij를 부상체(15)의 z축 둘레의 관성모멘트, y를 자석유니트(31a~31d)의 정상부상상태로부터의 y축 방향의 편위, Tj를 부상체(15)에 가해지는 z축 둘레의 토오크외란으로써 각 모드에 대해서 좌표변환

$$\begin{aligned}
&4\triangle z=\triangle z_a+\triangle z_b+\triangle z_c+\triangle z_d\\
&q_g\ \triangle g=\triangle z_a-\triangle z_b-\triangle z_c+\triangle z_d\\
&2q_h\ \triangle h=-\triangle z_a-\triangle z_b+\triangle z_c+\triangle z_d\\
&2q_h\ \triangle j=\triangle y_a+\triangle y_b-\triangle y_c-\triangle y_d
\end{aligned}\quad\cdots\cdots(21)$$

$$\begin{aligned}
&4\triangle i_g=\triangle i_a+\triangle i_b+\triangle i_c+\triangle i_d\\
&q_g\ \triangle i_g=\triangle i_a-\triangle i_b-\triangle i_c+\triangle i_d\\
&2q_h\ \triangle i_h=-\triangle i_a-\triangle i_b+\triangle i_c+\triangle i_d\\
&q_g\ \triangle i_j=\triangle i_a-\triangle i_b+\triangle i_c-\triangle i_d
\end{aligned}\quad\cdots\cdots(22)$$

을 행하면 j모드에 대해서 (23)식이 돌출된다.

$$I_j\ \triangle\ddot{j}=\left(\frac{\partial F_y}{\partial y}\right)q_h^2\ \triangle j+\frac{1}{2}\ q_g\ q_h\left(\frac{\partial F_y}{\partial i}\right)\ \triangle i_j+T_j$$

$$L_{z0}q_g\ \triangle i_j=-2N\left(\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)q_h\ \triangle j-Rq_g\ \triangle i_j+q_g\ e_j\quad\cdots\cdots(23)$$

다른 세가지 모드에 대해서는 일본국 특원평 1-53165호를 참조하기로 하고 설명을 생략한다. 여기서 (21)식의 좌표변환에 수반되어 부상갭길이 편차좌표변환회로(81b)에 있어서는 △z, △g, △h의 3신호가 출력되게 된다. (23)식은 상태벡터를

$$X_3=(\triangle j\ \triangle j'\ \triangle i_j) \quad \cdots\cdots(24)$$

로 하면 (7)식으로 기술할 수 있다.

이때에 e_j를 j모드를 안정화하기 위한 제어전압으로 하면 (7)식중, $e_3=e_j$이고 각 자석유니트(31a~31d)의 개개의 제어전압은 (9)식중의 egj를 ej로 치환하여 주어진다.

j모드에 대해서 (7)식에서 $\triangle i_j$를 사용하여 △j'를 추정하는 상태관측기는 예를들면

$$\hat{A}=\begin{pmatrix}0 & 1-\alpha_{11}a_{74}\\ a_{43} & -\alpha_{21}a_{74}\end{pmatrix},\quad \hat{B}=\begin{pmatrix}\alpha_{21}-\alpha_{11}\alpha_{21}a_{74}-\alpha_{11}a_{77}\\ \alpha_{11}a_{43}+a_{47}-\alpha_{21}^2a_{74}-\alpha_{21}a_{77}\end{pmatrix}$$

$$\hat{C}=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\\ 0 & 0\end{pmatrix},\quad \hat{D}=\begin{pmatrix}\alpha_{11}\\ \alpha_{21}\\ 1\end{pmatrix},\quad \hat{E}=\begin{pmatrix}-\alpha_{11}b_{71}\\ -\alpha_{21}b_{71}\end{pmatrix}$$

와 같이 구성된다. $\triangle i_j$와 추정된 △j' 및 △j'''의 각각을 적당한 게인보상기를 거쳐서 ej로 피드백하는 동시에 $\triangle i_j$를 적당한 적분보상기를 거쳐서 e_j로 피드백하면 (7)식의 j모드의 안정화와 제로파워제어를 달성할 수 있으므로 $\triangle i_j$가 영으로 수속되는 동시에 부상체(15b)의 요잉(yawing)도 신속히 감소된다. 이 경우의 제어블록도를 제18도에 나타낸다.

제18도의 시스템의 안정화에는

$$\det[sI-\hat{A}]\ \det[sI-A+bFI+bKI/s]s=o \quad \cdots\cdots(25)$$

로 표시되는 s의 특성 방정식중 좌변의 s의 다항식의 정수항이 정일 것이 필요조건으로 된다. 제18도중 출력행렬(C), 피드백게인보상기(F) 및 적분보상기(K)는 각각

C=(0 0 1)

$F=(F_{3j}\ F_{6j}\ F_{7j})$

$K=(K_{7j})$

이다.

α_{11}, α_{21}은 상태관측기가 안정되도록 설정되기 때문에 $\det[sI-\hat{A}]$의 s자 0차 항은 정이다.

한편 (25)식중

$$\det[sI-A+bFI+bKI/s]s \quad \cdots\cdots(26)$$

s의 0차 항은

$$-\frac{q_h^2}{I_j L_{zo}}\left(\frac{\partial F_y}{\partial y}\right)K_{7gj} \quad \cdots\cdots(27)$$

로 되지만 자기지지유니트들(31a~31d)은 가이드레일들(12a, 12b)과 나란히 되려고 하기 때문에 상기 $\partial F_y/\partial y<0$이 성립한다. 따라서

$$K_{7j}>0 \quad \cdots\cdots(28)$$

이면 (25)식의 s의 다항식의 정수항은 정으로 된다.

또 상태관측기이외의 z모드와 h모드의 특성 방정식도 (26)식과 같이 되기 때문에 이들의 모드의 s의 0차 항은 각각

$$-\frac{4}{(4m+M)L_{zo}}\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)K_{7z}$$

$$-\frac{q_h^2}{I_h L_{zo}}\left(\frac{\partial F_z}{\partial z}\right)K_{7h} \quad \cdots\cdots(30)$$

로 된다. 이때에 $\partial F_z/\partial y>0$ 이므로 이들의 모드가 안정이면

$$K_{7i}(i=z,h)<0 \quad \cdots\cdots(31)$$

가 성립하고 있다.

제18도의 제어를 실현시키기 위하여 요-모드제어전압연산회로(227)는 제19도와 같이 구성되어 있다.

즉 (22)식으로 표시되는 △ij 및 j모드의 전자석제어장치(ej)을 도입하고 부상체(15b)의 요-각(△j) 및 요-방향 각속도 △j'의 각각의 추정치(△j') 및 추정치(△j''')를 추정하여 △j', △j''' 및 $\triangle i_{gj}$를 출력하는 요-모드상태 관측기(230)와 △j'를 입력하여 피드백게인(F_{3j})을 승산하는 게인보상기(91)와 △j'''를 입력하여 피드백게인(F_{6j})을 승산하는 게인보상기(92)와 $\triangle i_j$를 입력하여 피드백게인(F_{7j})을 승산하는 게인보상기(93)와 전류편차목표치발생기(94)와 $\triangle i_j$를 전류편차목표치발생기(94)의 목표치로부터 감산하는 감산기(95)와 이 감산기(95)의 출력을 적분하여 피드백게인(K_{7j})을 적분결과와 승산하는 적분보상기(96)와 게인보상기들(91~93)의 출력을 입력하고 이들의 총 합계를 연산하는 가산기(97)와 가산기(97)의 출력치를 적분보상기(96)의 출력치로부터 감산하는 감산기(98)로 구성되어 있다.

감산기(98)의 출력신호는 e_j로 된다.

여기서 적분보상기(96)의 게인(K_{7j})이 정의 값을 취하는 동시에 다른 모드의 적분보상기의 게인(K_{7j})(i=z, h)이 부의 값을 취하는 것은 물론이다.

또 상술한 실시예에서는 부상체(15)의 z모드, h모드 이외의 모드에서는 제로파워제어로 하여 자기지지유니트의 여자전류를 적분보상기를 거쳐서 여자전압으로 피드백하고 있으나 이것은 z모드, h모드 이외의 제로파워제어루프의 제어방식을 하등 한정하는 것이 아니다.

예를들면 제어장치(41)의 트위스트모드제어전압연산회로(88)를 제11도에 나타낸 구성으로 해도 좋다.

이와같이 외란을 추정하여 제로파워제어를 행할 경우에 제로파워피드백루프의 게인 F_{gi}(i=z, h, g, g_j)는 g_i 모드에서

$$F_{ggj}=(d_{41}/a_{41})F_{1gj}$$

로 되지만 $F_{1gj}<0$, $a_{41}<0$, $d_{41}>0$이므로 $F_{1gj}>0$으로 된다. 또 트위스트모드제어전압연산회로(88)를 제13도에 나타낸 구성으로 할 수도 있다.

이 경우에 g_i 모드가 안정되기 위해서는

$$(s+i_f)\det[sI-A+BFC+\lambda_f\ BPC/(s+\lambda_f)]=0 \quad \cdots\cdots(32)$$

로 표시되는 s의 특성 방정식중 좌변의 s의 다항식의 정수항인 λ_f, a_{41}, a_{77}이

$$\lambda_f\ a_{41}\ a_{77}>0 \quad \cdots\cdots(33)$$

이 아니면 않된다. (31)식에서는 $a_{41}<0$, $a_{77}<0$이므로 λ_f는

$$\lambda_f>0 \quad \cdots\cdots(34)$$

이 아니면 않된다. 따라서 감산기들(95a, 95aa)의 출력신호가 정의 값으로 되는 스텝신호이면 필터들(211, 212)의 출력은 부의 값으로 되고 g_j모드의 제로파워제어가 가능해진다.

또 상기 각 실시예에서는 자기지지유니트의 수가 강체인 기대를 자기부상시키기 위하여 최저한 필요한 제어모드의 수보다도 1개만 많게 되어 있으나 이것은 기대를 자기부상시키기 위한 제어모드의 수나 자기지지유니트의 개수, 가이드레일의 개수를 하등 한정하는 것이 아니다. 본 발명에 의한 자기부상장치는 용도, 부상체의 형상, 적재중량등에 의해서 특허청구범위내에서 예를들면 제20도~제26도에 나타낸 것과 같이 여러 가지 변형이 가능하다.

제20도는 3개의 가이드레일(12a, 12b, 12c)의 각각에 2조가 대향하도록 기대(25c)에 자기지지유니트들(31a~31f)을 부착하여 부상체(15c)를 구성하고 있다. 이와가은 구성으로 하면 부상체의 총 중량이 각 가이드레일로 분산되기 때문에 가이드레일 1개당 가해지는 부하중량을 작게할 수 있다.

또 제21도에 나타낸 것과 같이 4개의 강자성 가이드들(312a~312d)을 대향시켜서 부상체(15d)를 구성하여도 좋다. 이와같은 구성은 방진대등에 유용하다.

또 제22도는 8개의 자기지지유니트(31a~31h)를 기대(25e)에 부착하여 부상체(15e)를 구성한 예를 나타내고 있다. 이 구성에서는 부상체의 총 중량이 자기지지유니트들로 분산되기 때문에 자기지지유니트 1개당 가해지는 부하중량을 작게할 수 있다.

또 상술한 각 예에서는 자기지지유니트를 수평으로 기대에 부착하고 또 평판상의 가이드레일의 하면에 대향배치시키고 있다.

그러나 본 발명은 이 배치관계나 가이드레일의 단면형상에 한정되는 것이 아니다.

즉 자기지지유니트가 가이드레일로 흡인력을 발생하고 이 흡인력으로 제로파워제어가 실현될 수 있으면

되고 이 조건을 만족시키면 가이드 또는 가이드레일이 어떤 배치 및 단면형상이라도 좋다. 예를들면 제23도~제26도에 나타내 있는 것과 같이 여러가지 변형이 가능하다.

즉 제23도에 나타낸 예에서는 폭이 자기지지유니트들(31a~31d)(단, 유니트들(31c, 31d)은 도시치 않음)의 요우크(55)간의 외측 칫수와 동등한 평판상 가이드레일들(314a, 314b)을 궤도프레임(316)에 경사지워 부착하고 또 자기지지유니트들(31a~31d)을 가이드레일들(314a, 314b)의하면에 대향시키는 동시에 지지방향의 부상갭길이가 검출될 수 있도록 갭센서들(34a~34d)(단, 센서들(34c, 34d)은 도시하지 않음)을 기대(25f)의 상면에 배치하여 부상체(15f)를 구성하고 있다.

이 경우에 자기지지유니트들(31a~31d)과 가이드레일들(314a, 314b)간에 발생하는 흡인력은 지지력(z방향)과 안내력(y방향)으로 분해되기 때문에 강한 안내력을 얻을 수 있다.

제24도에 나타낸 예에서는 단면이 자기지지유니트들(31a~31d)(단 유니트들(31c, 31d)는 도시하지 않음)의 2개의 요우크(55)에 대향하는 U자 형상 가이드레일들(318a, 318b)을 궤도프레임(320)에 종으로 부착하여 H자상의 단면형상을 갖는 기대(25g)의 측면 네귀퉁이에 자기지지유니트들(31a~31d)을 가이드레일들(318a, 318b)에 대향시켜 배치하고 또 안내방향의 갭길이가 검출될 수 있도록 갭센서들(34a~34d)(단 센서들(34c, 34d)은 도시하지 않음)을 자기지지유니트(31a~31d)에 부착하여 부상체(15g)를 구성하고 있다.

또 기대(25g)의 윗쪽에는 제어장치(41c), 전원(43) 및 하대(322)가 배치되어 있다.

여기서 제어장치(41c)는 제25도에 나타낸 것과 같이 구성되어 있다. 즉 제어장치(41c)는 전체로써 제어장치(41)와 같은 구성으로 되어 있으나 제어장치(41)의 부상갭길이 편차좌표변환회로(81)는, 전류편차좌표변환회로(83) 및 제어전압좌표역변환회로(85)의 연산내용을 각각 (35)식, (36)식 및 (37)식의 연산으로 변경되어 있다.

$$\begin{cases} \triangle g=\frac{1}{4}(-\triangle y_a+\triangle y_b+\triangle y_c-\triangle y_d) \\ \triangle g_j=\frac{1}{2q_h}(-\triangle y_a+\triangle y_b-\triangle y_c+\triangle y_d) \\ \triangle z=\frac{1}{4}(\triangle y_a+\triangle y_b+\triangle y_c+\triangle y_d) \\ \triangle h=\frac{1}{2q_h}(-\triangle y_a-\triangle y_b+\triangle y_c+\triangle y_d) \end{cases} \quad \cdots\cdots(35)$$

$$\begin{cases} \triangle i_g=\frac{1}{4}(-\triangle i_a+\triangle i_b+\triangle i_c-\triangle i_d) \\ \triangle i_{gj}=\frac{1}{2q_h}(-\triangle i_a+\triangle i_b-\triangle i_c+\triangle i_d) \\ \triangle i_z=\frac{1}{4}(\triangle i_a+\triangle i_b+\triangle i_c+\triangle i_d) \\ \triangle i_h=\frac{1}{2q_h}(-\triangle i_a-\triangle i_b+\triangle i_c+\triangle i_d) \end{cases} \quad \cdots\cdots(36)$$

$$\begin{cases} e_a=-e_g-\frac{q_h}{2}e_{gj}+e_z-\frac{q_h}{2}e_h \\ e_b=e_g+\frac{q_h}{2}e_{gj}+e_z-\frac{q_h}{2}e_h \\ e_c=e_g-\frac{q_h}{2}e_{gj}+e_z+\frac{q_h}{2}e_h \\ e_d=-e_g+\frac{q_h}{2}e_{gj}+e_z+\frac{q_h}{2}e_h \end{cases} \quad \cdots\cdots(37)$$

제25도중, 각각의 변환회로에는 첨자(c)가 붙어 있다. 이에 수반되어 롤모드제어전압연산회로(87) 및 트위스트모드제어전압연산회로(89)의 각각의 적분보상기(96)의 게인(K_{7g}) 및 게인(K_{7gj})은 어느것이나 부의 값으로 설정되어 있다. 그리고 상하동모드제어전압연산회로(86)의 게이들(F_{1z}, F_{4z}) 및 피치모드제어전압연산회로(88)의 게인들(F_{1h}, F_{4h})의 각 게인은 부상체(15g) 에 공극가변기구가 없기 때문에 제로로 설정되어 있고 또 각각의 적분보상기(96)의 게인(K_{7z}) 및 게인(K_{7h})은 정의 값으로 설정되어 있다. 이 예에서는 요우크(55)가 Z방향으로 엇갈렸을때에 가이드레일들(318a, 318b)에 작용하는 윗쪽 흡인력을 부상체(15g)의 총중량을 지지하고 있기 때문에 요우크(55)와 가이드레일들(318a, 318b)간의 흡입력의 대부분을 안내력에 이용할 수 있다.

제26도에 나타낸 예에서는 갭센서들(34a~34d)(단 센서들(34c, 34d)은 도시하지 않음)이 기대(25g)의 네귀퉁이 하단에 하향으로 부착되어 있는 동시에 제어장치(41)가 제어장치(41b) DP 연결되어 있다.

여기서는 부상체(15h)가 아래쪽으로 이동했을때에 각 자기지지유니트의 갭길이가 감소되므로 이 제어장치(41b)에서의 갭센서들(34a~34d)에 의한 a, g, h의 각 모드의 신호가 입력되는 게인보상기의 모든 게인의 부호가 반전되어 있다. 이 예에서는 부상력에 비하여 매우 강한 안내력이 얻어지는 동시에 부상안내겸용 제어에 의해서 부상체(15h)에 발생된 옆으로 흔들림이나 요잉(yawing)을 신속하게 수속시킬 수 있다.

이에 더하여 상술한 실시예에서는 제로파워피드백루프의 입력을 공극길이의 선형결합, 그 변화속도 또는 코일(56)의 여자전류의 선형결합으로 하고 있으나 이것은 제로파워피드백루프로 입력할 상태량을 하등 한정하는 것은 아니다. 예를들면 제9도에 나타낸 부상체(15a)의 제로파워제어에 있어서 각 모드마다의 여자전압(e_z, e_h, e_v)을 제로파워피드백루프의 입력에 사용해도 좋다.

이와같이 코일(56)의 여자전압을 제로파워피드백루프의 입력으로 하는 제로파워방식에 대해서는 일본국특원평 1-83710호에 공보에 상세히 기재되어 있어 여기서는 상세한 설명은 생략하겠다.

이 경우에 제어전압연산회로(84a)중의 상하동모드제어전압연산회로(86a) , 피치제어저압연산회로(88a) 및 트위스트모드제어전압연산회로(89a)는 제27도 및 제28도에 나타낸 것과 같은 동일 구성요소로 되는 상하동 모드제어전압연산회로(86a'), 피치모드제어전압연산회로(88a') 및 트위스트모드제어전압연산회로(89a')로 바꿔놓인다.

이 자기부상제어계의 블록도를 제29도에 나타냈다.

계의 특성 방정식의 정수항은 Z모드, h모드에서는 $a_{41}\ a_{77}\ K_{7z}\ a_{41}\ a_{77}\ K_{7h}$, W모드에서는 $-a_{77}\ K_{7w}$로 된다. 자기부상계의 특성으로 $a_{41}>0$, $a_{77}<0$이기 때문에 부상체(15a)를 안정되게 부상시키려면 상하동모드제어전압연산회로(86a'), 피치모드제어전압연산회로(88a')의 각각의 적분보상기(96a')의 게인(K_{7z}) 및 게인(K_{7H})은 부, 트위스트모드제어전압연산회로(89a')의 적분보상기(96a')의 게인(K_{7w})은 정이 되는 것은 물론이다.

또 상술한 각 예에서는 제어장치 및 그 동작을 아날로그 제어적으로 표현하고 있으나 이와같은 제어방식에 한정되는 것이 아니고 디지탈 제어방식을 채용해도 좋다.

이와같이 본 발명은 그 요지를 일탈하지 않는 범위에서 여러가지로 변경하여 실시할 수 있다.

이상 설명한 바와같이 본 발명의 자기부상장치에 의하면, 자기지지유니트와 부상체가 독립된 이동을 하는 일이 없기 때문에 부상체의 일부를 잡아 궤도단부로부터 떼어내도 가이드레일에 작용하는 흡인력으로 자기 지지유니트가 가이드레일에 충돌하든지 흡착되는 일이 없고 또한 부상체의 취급자체가 용이해져서 장치의 보수성을 대폭으로 향상시킬 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

적어도 일부가 강자성체로 형성된 가이드레일과 이 가이드레일에 대해서 비접촉으로 지지되는 부상체와 이 부상체에 공극을 거쳐서 상기 가이드레일에 대향하는 관계로 탑재되어 전자석 및 영구자석을 자기력원으로써 상기 전자석, 영구자석, 상기 공극, 상기 가이드레일을 경유하는 자기회로로 상기 부상체를 자기력 부상시키는 복수의 자기지지유니트와 상기 각 자기회로의 상태를 검출하는 센서부와 이 센서부의 출력에 따라서 상기 각 전자석의 여자전류를 대략 영으로 하는 상태로 상시 각 자기회로를 안정화시키는 제로파워부상제어수단을 구비하고 상기 제로파워부상제어수다은 상기 부상체를 강체로 간주한 경우의 적어도 2자유도의 운동을 규정하는 소정의 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 영으로 수속시키는 제1제로파워제어루프를 갖는 동시에 상기 2자유도의 운동을 규정하는 소정의 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차와 상기 2자유도의 운동에 기여하지 않는 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차로부터 개개의 전자석전류를 산출할 수 있는 소정의 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 영으로 수속시키는 제2제로파워제어루프를 갖고 상기 제1제로파워제어루프로 도입되는 상기 제로파워부상제어에 관한 상태량 또는 그 추정치를 입력신호로 한 경우의 당해 입력신호에 대한 상기 제1제로파워제어루프의 출력은 상기 입력신호가 정(부)의 값으로 되는 스텝신호일때에 정(부)의 값으로 되고 상기 2자유도의 운동에 기여하지 않는 적어도 1조의 상기 전자석 여자전류의 합계치 또는 차에 관한 상기 제2제로파워제어루프로 도입되는 상기 제로파워부상제어에 관한 상태량 또는 그 추정치를 입력신호로 한 경우의 당해 입력신호에 대한 상기 제2제로파워제어루프의 출력은 상기 입력신호가 정(부)의 값으로 되는 스텝신호일때에 (정)의 값으로 되는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 2자유도의 운동이 상기 부상체의 중심의 상하방향 및 피치방향의 운동인 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제2제로파워제어루프는 상기 부상체의 롤방향의 부상제어에 기여하는 소정의 각 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 영으로 수속시키는 기능을 갖고 있는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제2제로파워제어루프는 상기 가이드레일에 대해서 부상력과 안내력을 동시에 발생하도록 배치되는 상기 각 자기지지유니트와 상기 부상체의 중심의 상하방향, 피치방향 및 롤방향 이외의 각 저자석 여자전류의 합계치 또는 차로 개개의 전자석 전류를 산출할 수 있는 소정의 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차로 상기 부상체의 요잉(yawing)을 억제하는 부상제어를 행하는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 2자유도의 운동이 상기 부상체의 중심의 좌우방향 및 요-방향의 운동인 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 복수의 자기지지유니트와 상기 가이드레일간의 공극길이를 각각 독립적으로 가변가능하게 하는 공극가변기구를 구비하고 이 공극가변기구는 상기 각 자석유니트로부터 상기 부상체에 적재되는 적하의 피지지면에 이르는 경로의 도중에 탄성체를 갖고 또한 이 탄성체는 상기 피지지면을 고정하고 상기 자석유니트에 하중을 가했을때의 상기 탄성체의 탄력에 기인하는 상기 공극의 단위 중량당의 변형량의 역수가 상기 전자석의 여자전류가 영이고 또 상기 부상체가 최대적재상태에 있을때의 상기 자석유니트의 공극가변방향의 흡인력을 그때의 공극길이로 미분한 값의 절대치보다도 큰 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 공극가변기구는 상기 각 자석유니트를 공통으로 지지하는 동시에 상기 탄성체를 주체로 구성된 상기 부상체의 차체인 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 제1 또는 제2제로파워제어루프는 소정의 전자석 여자전류의 합계치 또는 차를 입력으로 하고 이것에 소정의 게인을 갖게 하여 적분하는 적분보상기를 구비하고 있는 것을 특징으로하는 자기부상장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제1 또는 제2제로파워제어루프는 상기 센서부의 출력치로 소정의 전자석에 작용하는 외력의 합계치 또는 차를 관측하는 상태관측기와, 이 상태관측기의 추정치를 입력으로 하여 이것에 소정의 게인을 승산하는 게인보상기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 제1 또는 제2제로파워제어루프는 소정의 전자석과 상기 가이드레일간의 공극길이의 합계치 또는 차와 이들의 시간변화율 및 상기 각 전자석의 여자전류의 합계치 또는 차를 입력으로 하여 이들에 모두가 동시에 영이 아닌 소정의 게인을 승산하는 1차 전달함수를 갖는 필터를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 11

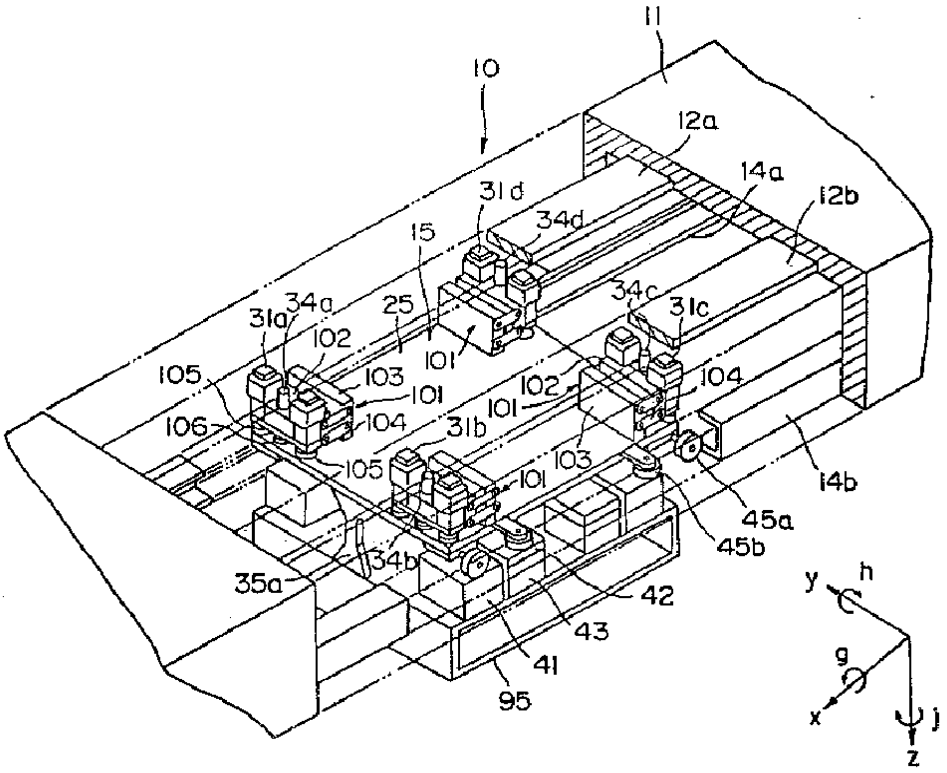
제1항에 있어서, 상기 센서부는 상기 전자석과 상기 가이드레일간의 공극길이, 상기 공극길이의 변화속도, 상기 공극길이의 변화속도 및 상기 전자석의 여자전류중의 적어도 하나의 검출치를 얻는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

청구항 12

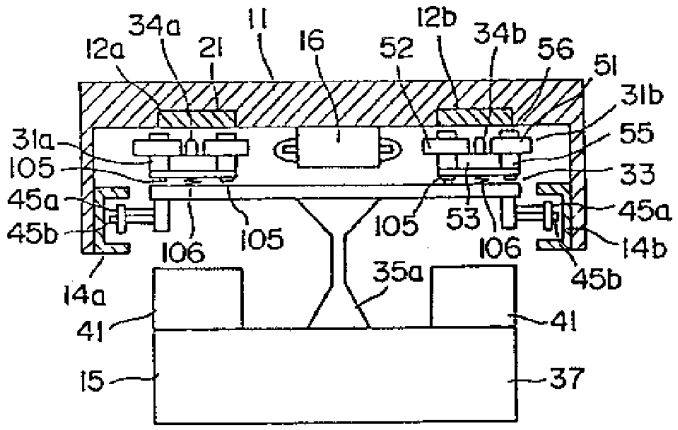
제1항에 있어서, 상기 제1 또는 제2제로파워제어루프는 소정의 각 전자석 여자전압의 합계치 또는 차를 입력으로 하고 이것에 소정의 게인을 갖게 하여 적분하는 적분보상기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 자기부상장치.

도면

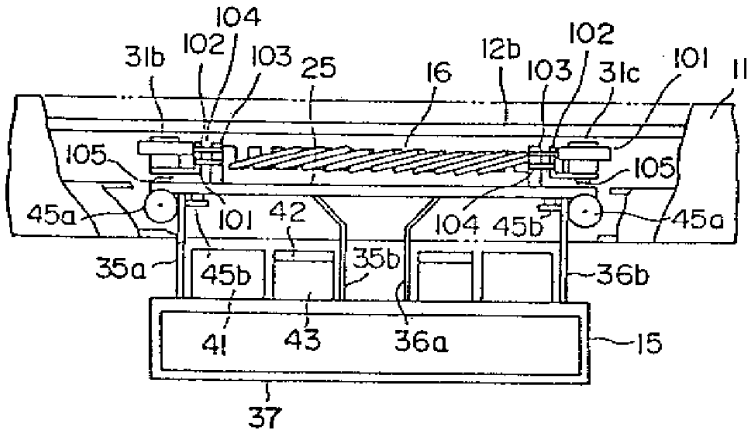
도면1


11
10
12a
14a
12b
31d
34d
15
34a
31a
25
34c
31c
102
101
105
103
101
102
104
106
104
31b
101
103
105
14b
45a
45b
34b
35a
42
43
41
95
y
h
g
x
j
z

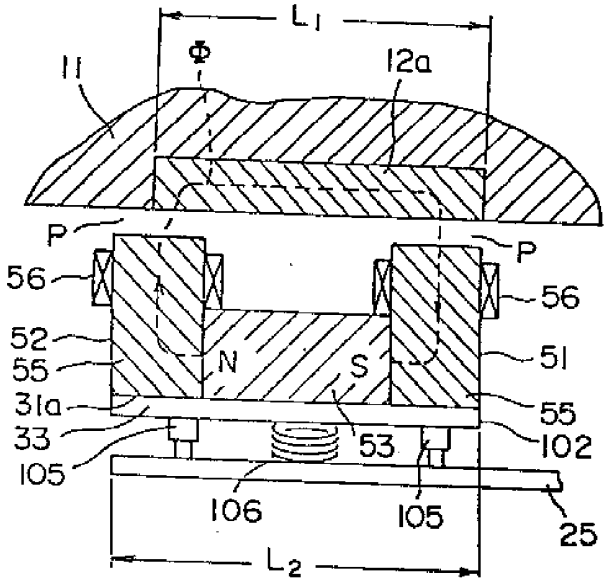
도면2


34a
11
12b
12a
21
16
52
34b
56
51
31b
31a
55
105
33
45a
45b
106
105
105
53
106
45a
14b
45b
14a
35a
41
41
15
37

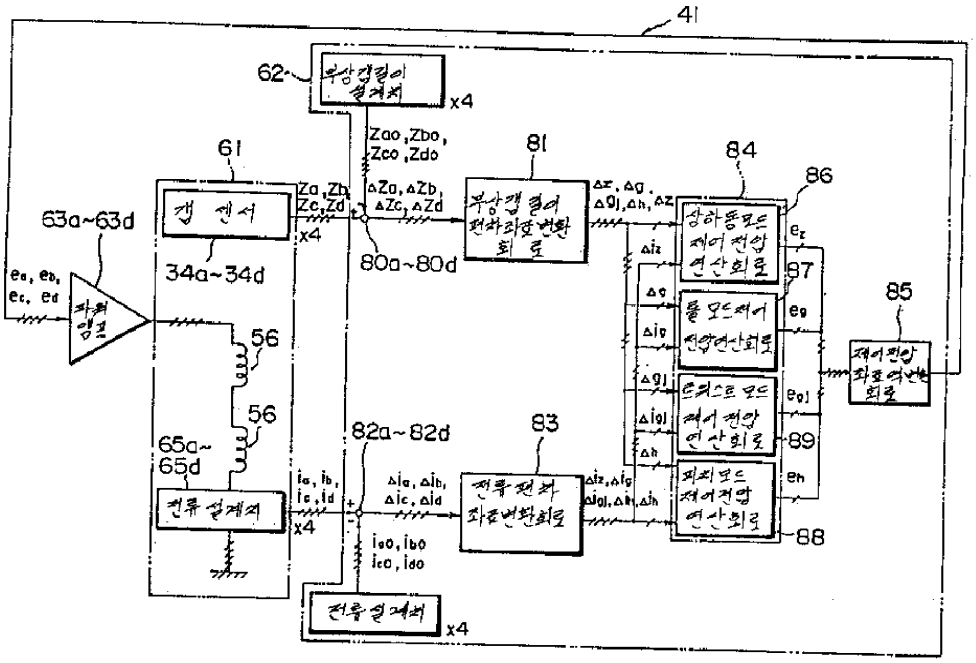
도면3


104
102
31b
103
25
16
12b
102
103
31c
101
11
105
105
45a
101
42
104
45b
45a
35a
45b
35b
36b
41
43
36a
15
37

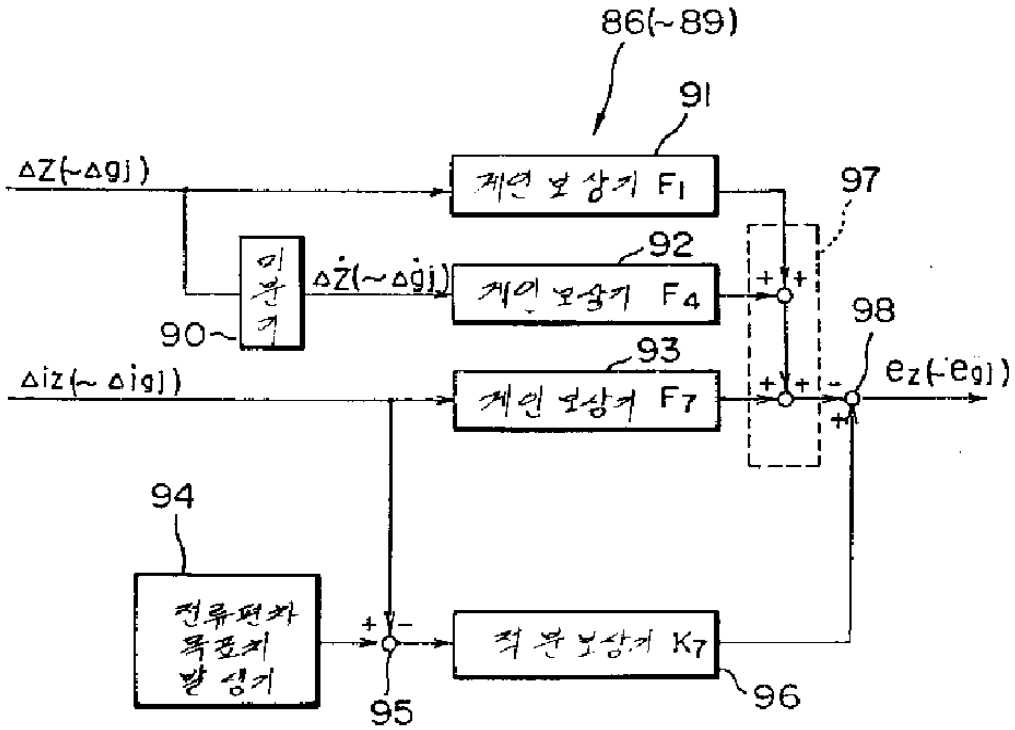
도면4


L1
Φ
11
12a
P
P
56
56
52
55
N
S
51
31a
55
33
53
102
105
106
105
25
L2

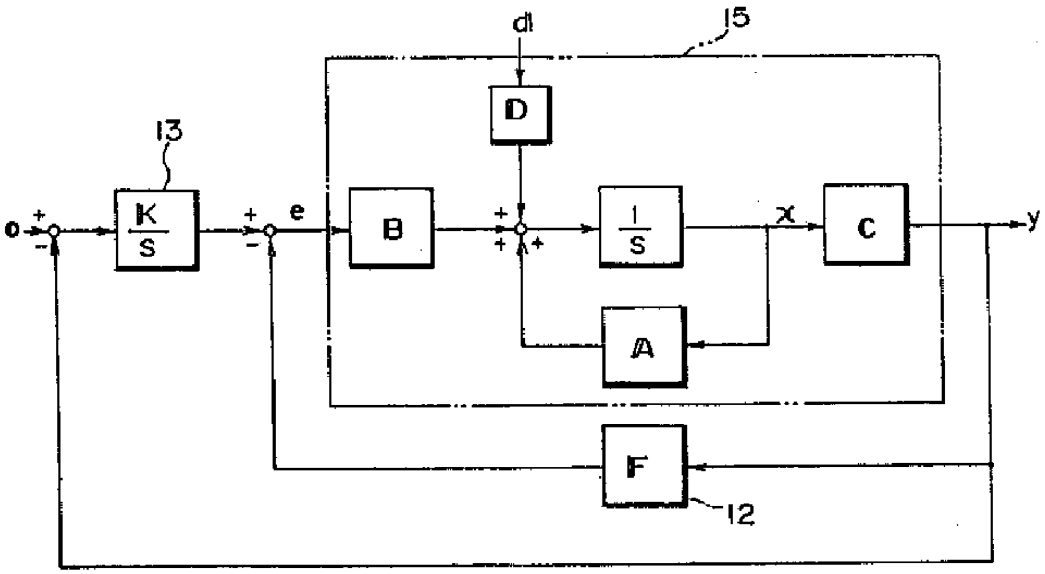
도면5


41
62
부상갭길이 설계치
x4
Zao, Zbo, Zco, Zdo
61
갭 센서
Za, Zb, Zc, Zd
x4
ΔZa, ΔZb, ΔZc, ΔZd
81
부상갭길이 편차좌표변환회로
Δz, Δg, Δgj, Δh, Δz
84
86
상하동모드 제어전압 연산회로
63a~63d
34a~34d
80a~80d
87
롤모드제어 전압연산회로
85
제어전압 좌표역변환회로
56
56
65a~65d
82a~82d
83
89
전류 설계치
x4
전류편차 좌표변환회로
88
전류설계치
x4

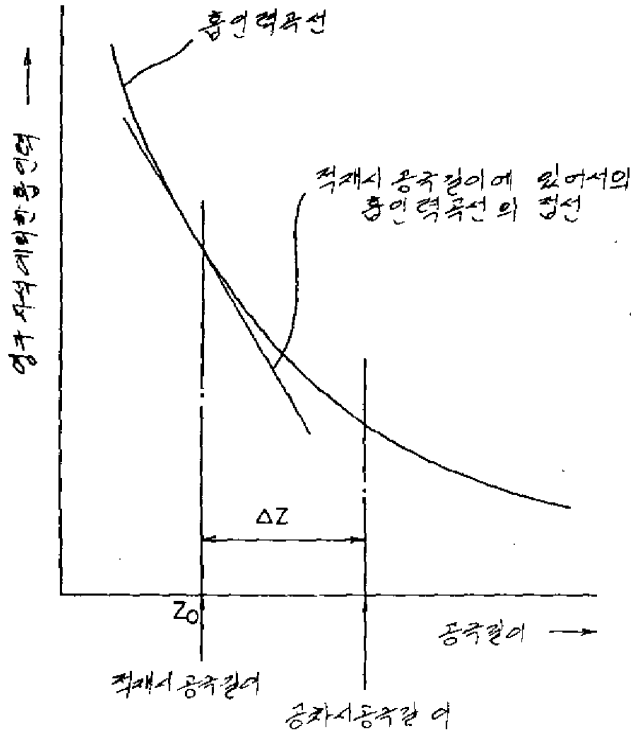
도면6


86(~89)
91
ΔZ(~Δgj)
제인 보상기 F1
97
92
미분기
ΔŻ(~Δġj)
제인 보상기 F4
98
90~
93
Δiz(~Δigj)
제인 보상기 F7
ez(~egj)
94
전류편차 목표치 발생기
적분보상기 K7
95
96

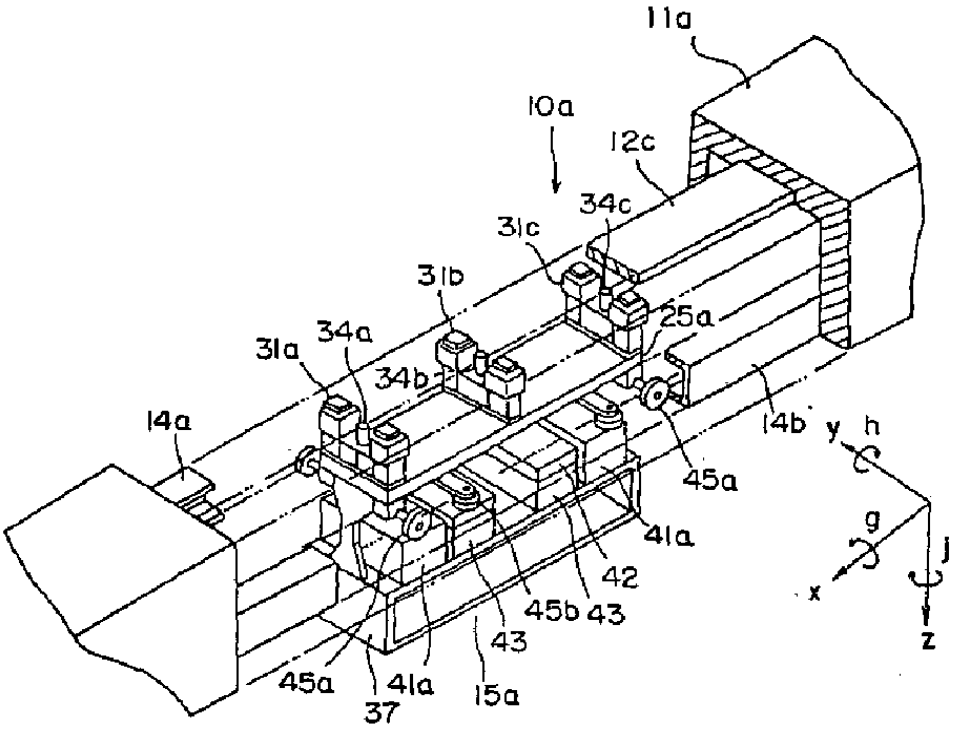
도면7


d1
15
D
13
K
S
e
B
1
S
x
C
y
A
F
12

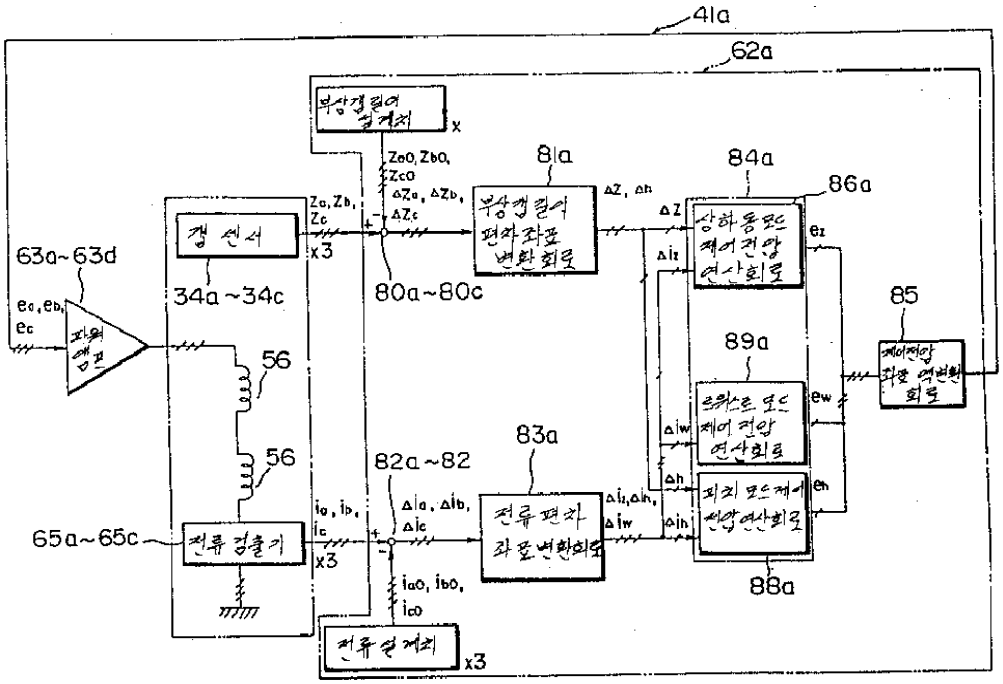
도면8


흡인력곡선
적재시 공작길이에 있어서의
흡인력곡선의 접선
영구자석에의한흡인력
ΔZ
Z0
공작길이
적재시공작길이
공차시공작길이

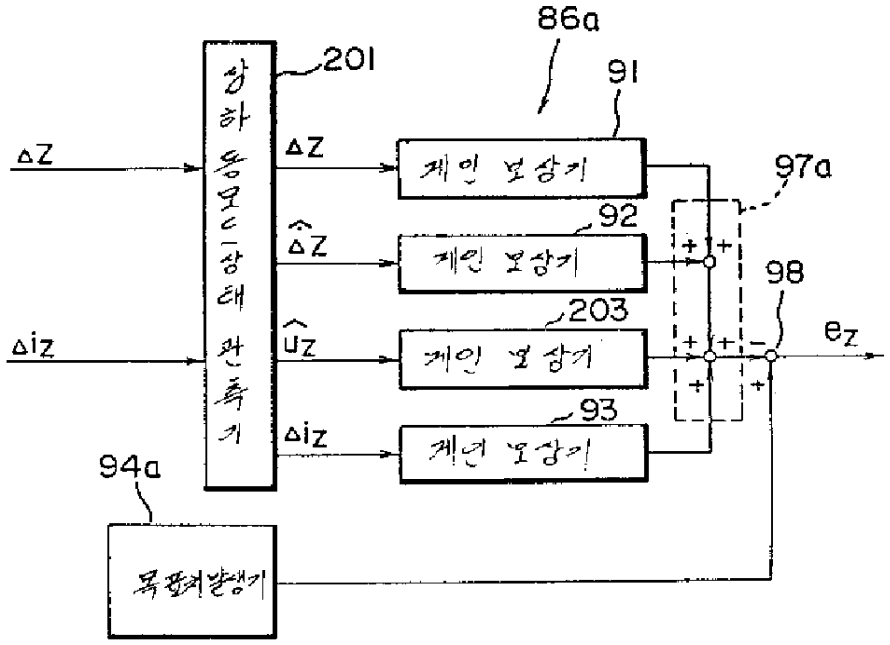
도면9


11a
10a
12c
34c
31c
31b
25a
31a
34a
34b
14a
14b
y
h
45a
41a
g
j
42
x
45b
43
43
z
45a
41a
15a
37

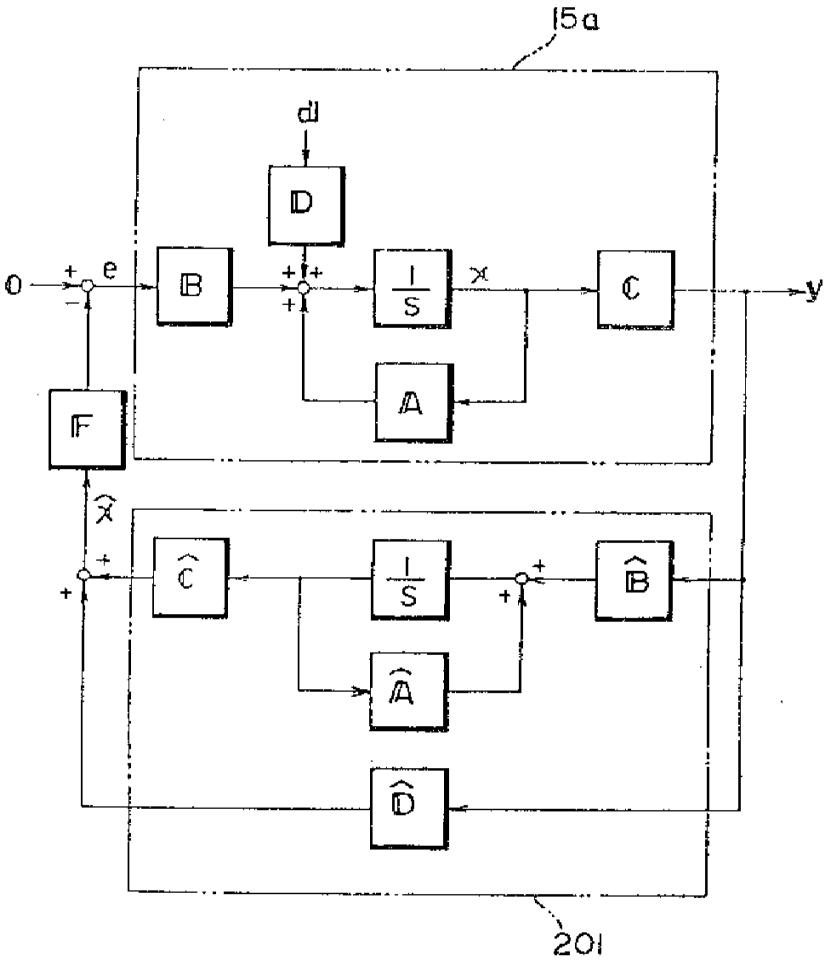
도면10


41a
62a
부상갭길이 설계치
x
81a
84a
86a
부상갭길이 편차좌표 변환회로
상하동모드 제어전압 연산회로
갭 센서
x3
63a~63d
34a~34c
80a~80c
85
56
89a
제어전압 좌표 역변환 회로
56
83a
82a~82
65a~65c
전류 검출기
x3
전류편차 좌표변환회로
피치 모드제어 전압연산회로
88a
전류설계치
x3

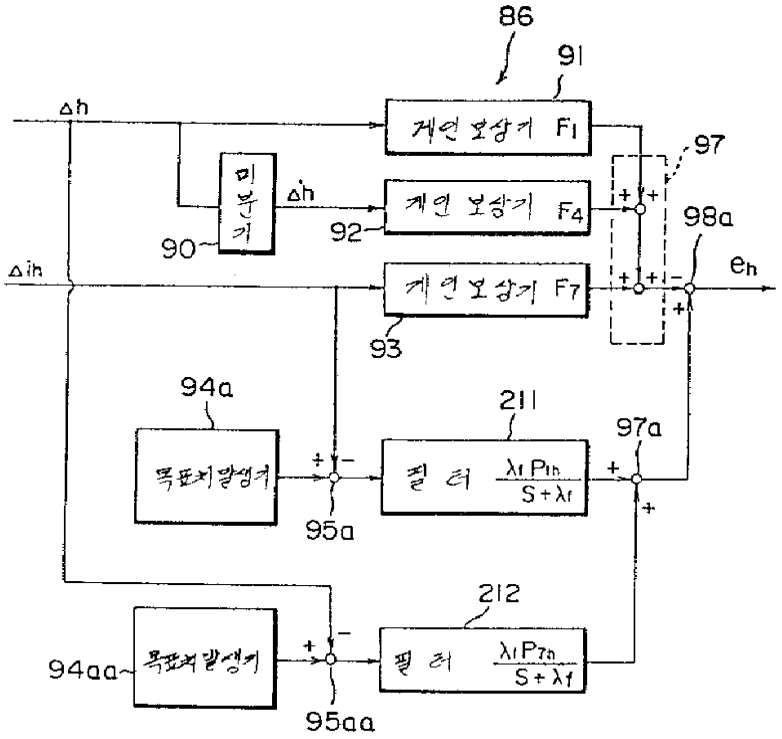
도면11


86a
91
201
상하동모드상태관측기
ΔZ
ΔZ
제인 보상기
97a
92
$\hat{\Delta}Z$
제인 보상기
98
203
Δiz
$\hat{u}_Z$
제인 보상기
e_Z
93
Δiz
제인 보상기
94a
목표치발생기

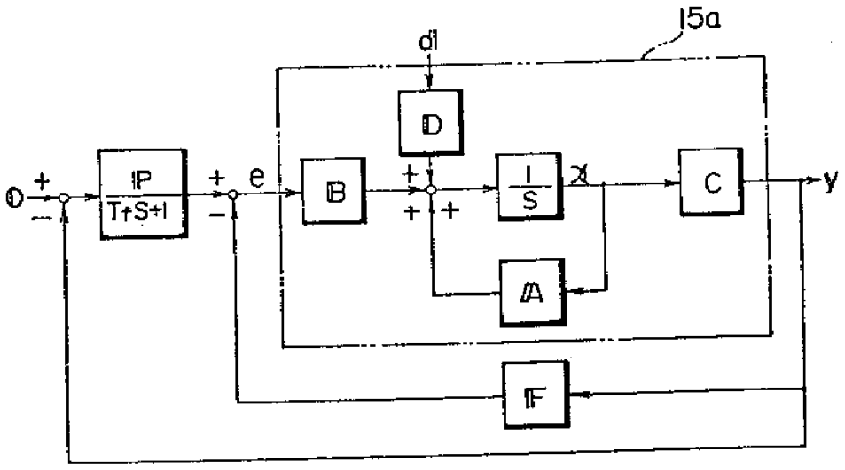
도면12


15a
d
D
0
e
B
1/S
x
C
y
A
F
$\hat{x}$
$\hat{C}$
1/S
$\hat{B}$
$\hat{A}$
$\hat{D}$
201

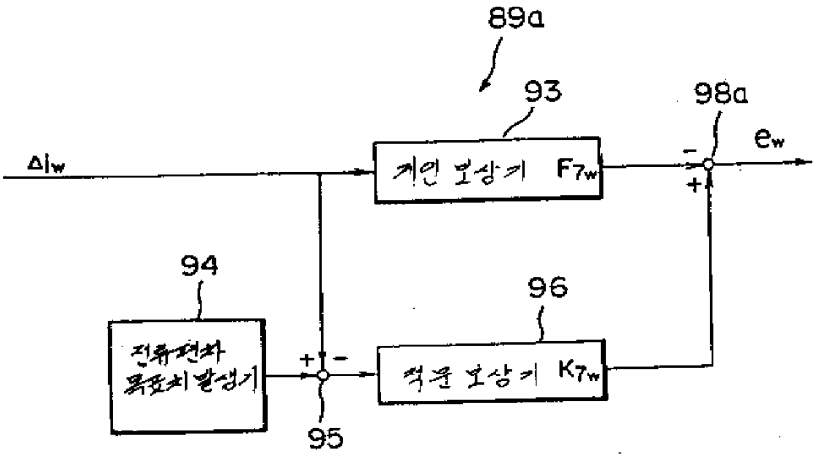
도면13


86
91
Δh
제어 보상기 F1
97
미분기
Δ'h
제어 보상기 F4
90
92
98a
Δih
제어 보상기 F7
eh
93
94a
211
97a
목표치발생기
필 터
95a
212
94aa
목표치발생기
필 터
95aa

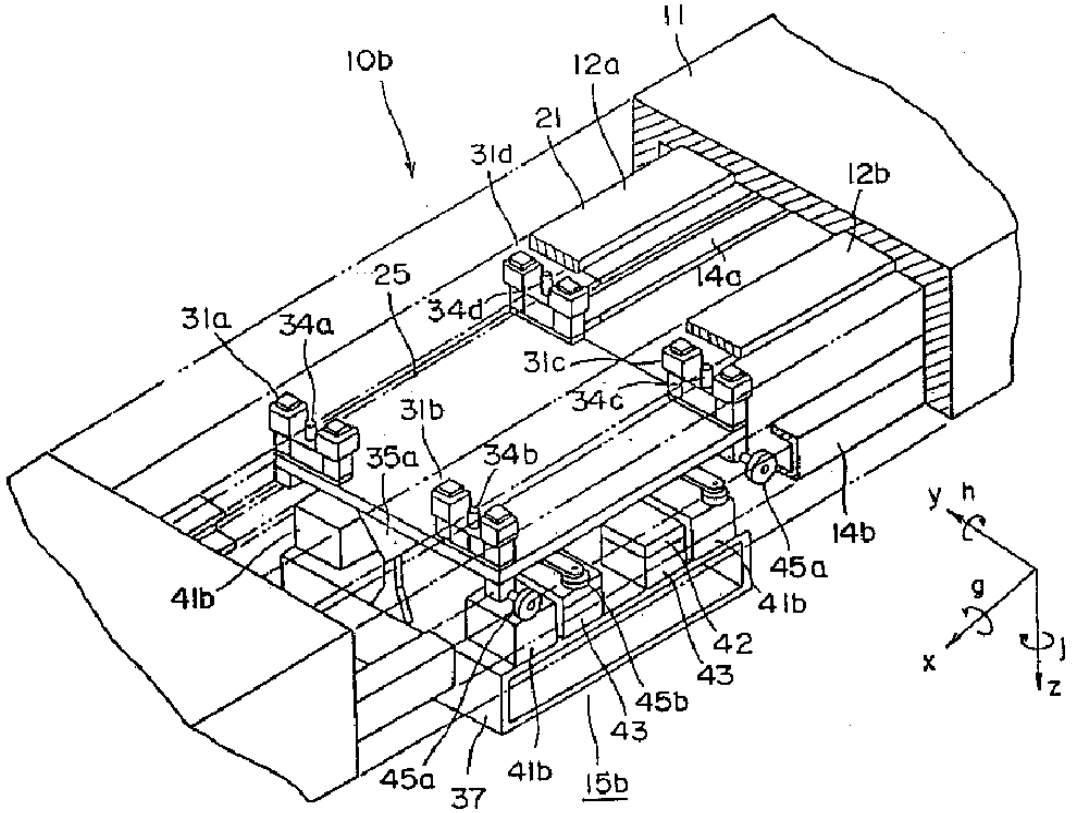
도면14


15a
dl
D
0
IP
T+S+1
e
B
I
S
C
y
A
F

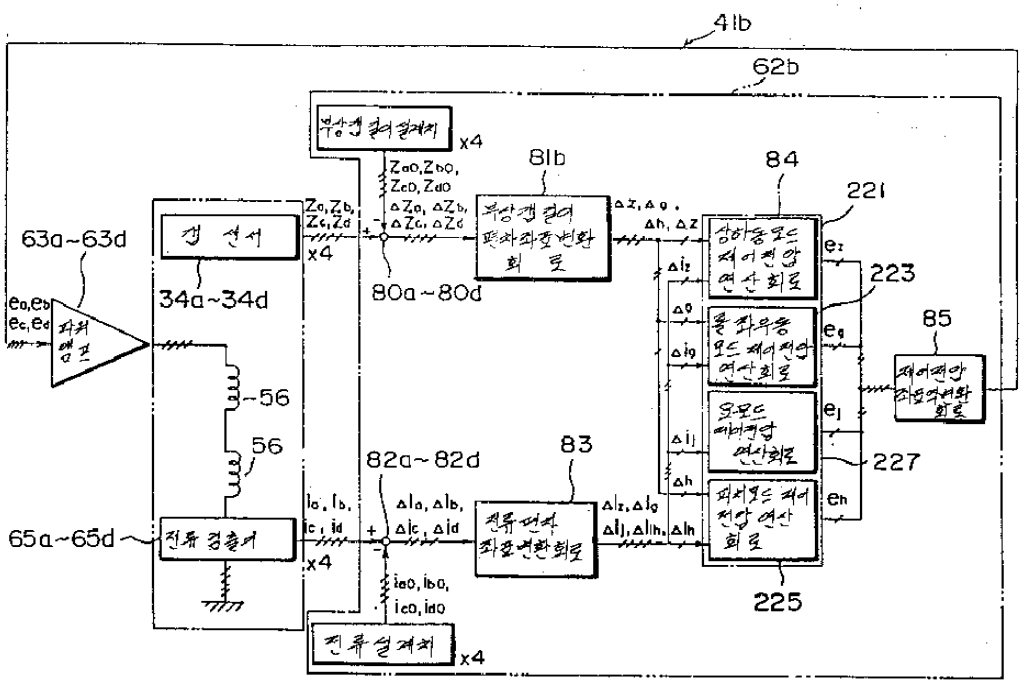
도면15


89a
93
98a
Δiw
게인 보상기 F7w
ew
94
96
전류편차 목표치 발생기
적분 보상기 K7w
95

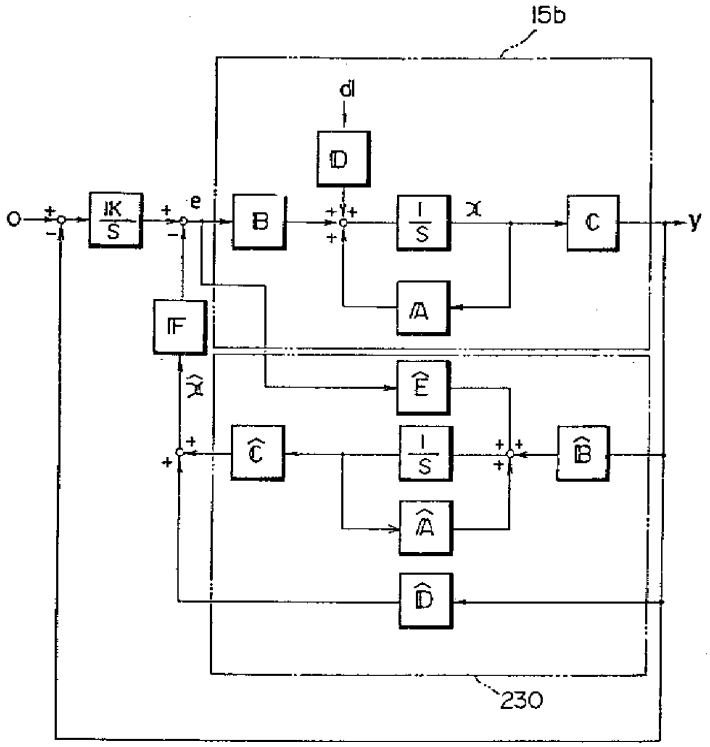
도면16


11
10b
12a
21
31d
12b
25
14a
31a
34a
34d
31c
34c
31b
35a
34b
14b
45a
41b
42
43
45b
43
45a
37
41b
15b
y
h
g
x
z

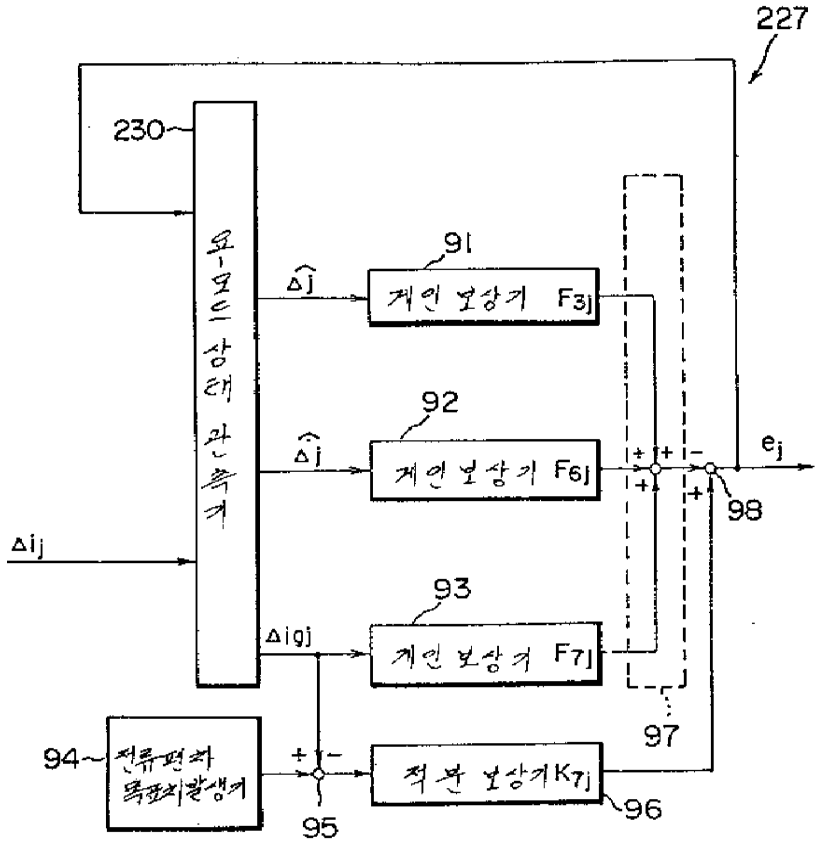
도면17


41b
62b
81b
84
221
223
85
227
225
83
82a~82d
80a~80d
63a~63d
34a~34d
56
65a~65d
x4

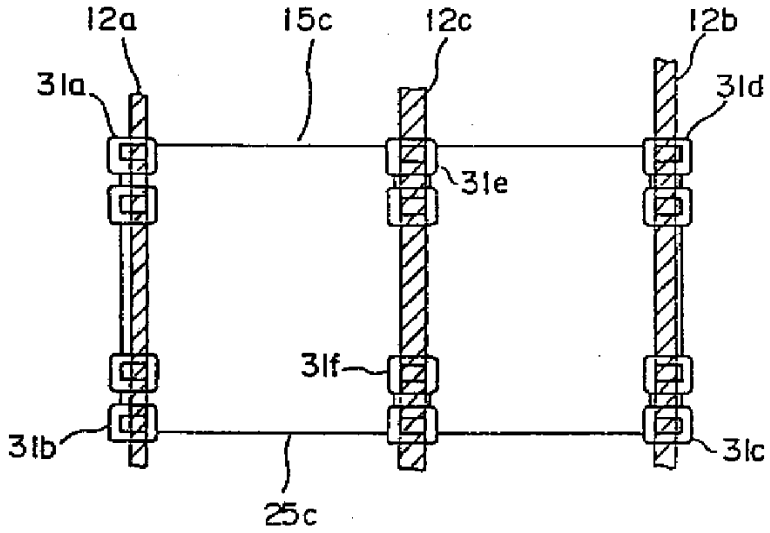
도면18


15b
230

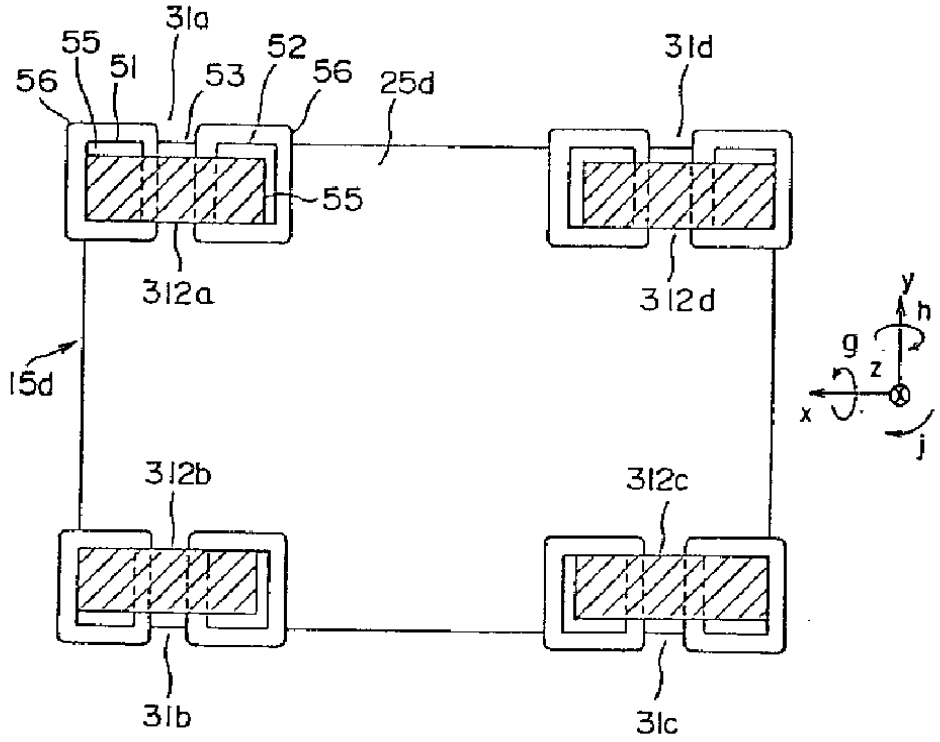
도면19


227
230
요-모드 상태 관측기
91
계인 보상기 F3j
92
계인 보상기 F6j
93
계인 보상기 F7j
98
97
94
전류편차 목표치발생기
95
적분 보상기 K7j
96
Δij

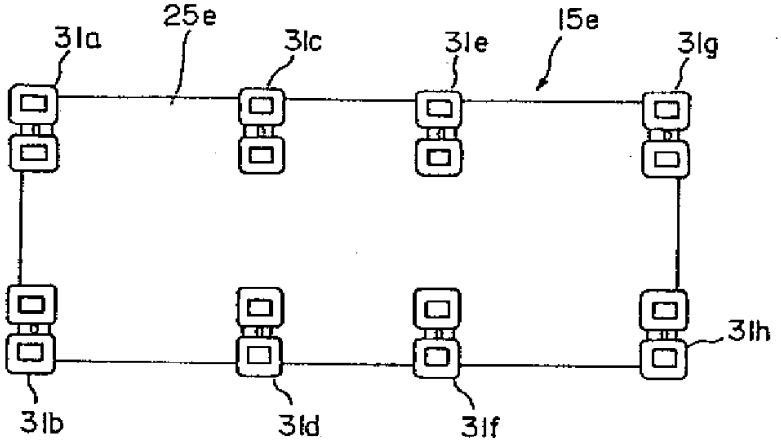
도면20


12a
15c
12c
12b
31a
31d
31e
31f
31b
31c
25c

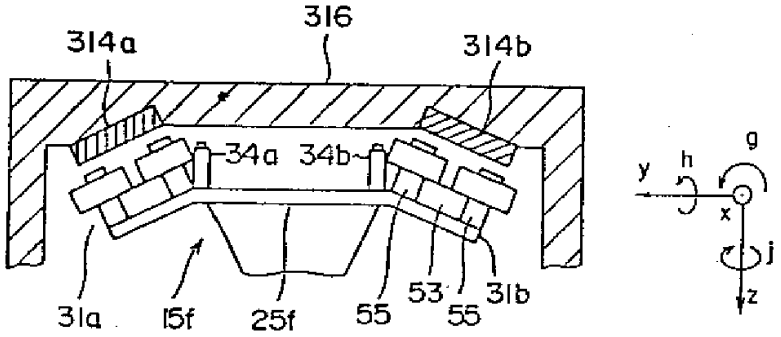
도면21


31a
55
56
51
53
52
56
25d
31d
55
312a
312d
15d
y
h
g
z
x
j
312b
312c
31b
31c

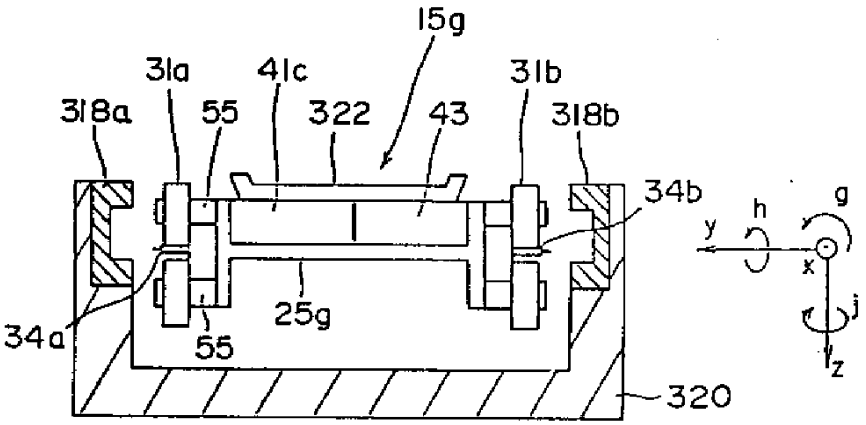
도면22


31a
25e
31c
31e
15e
31g
31h
31b
31d
31f

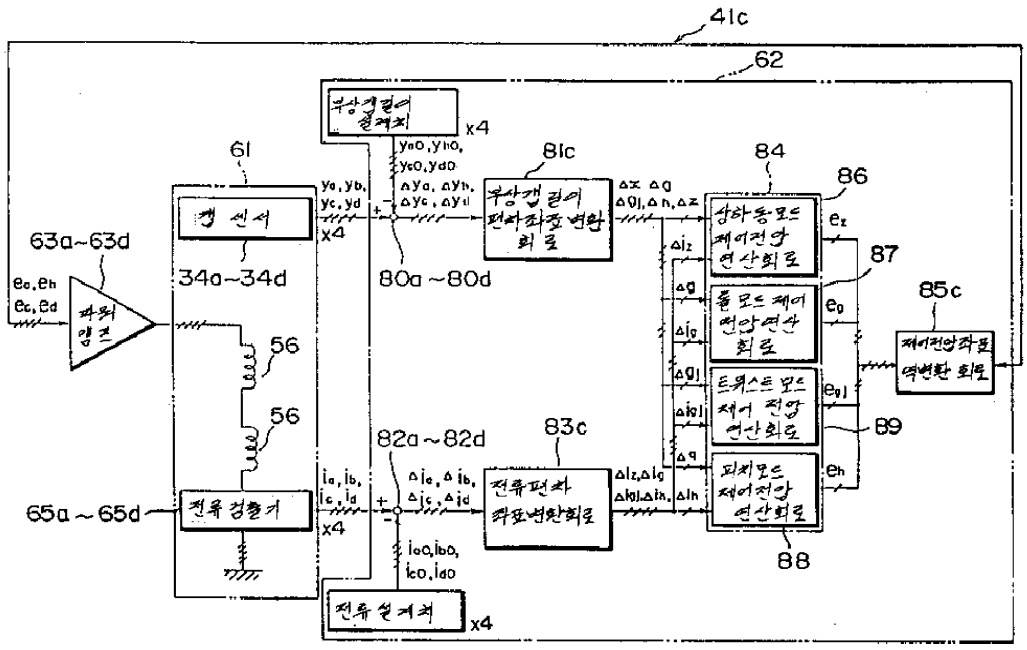
도면23



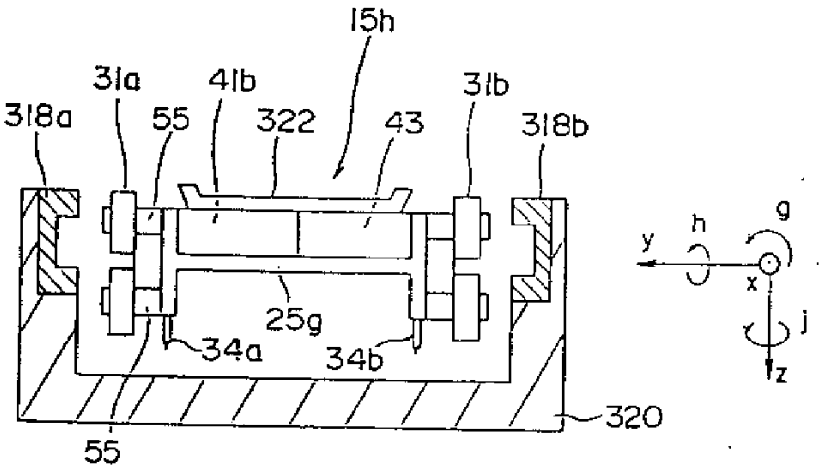
도면24



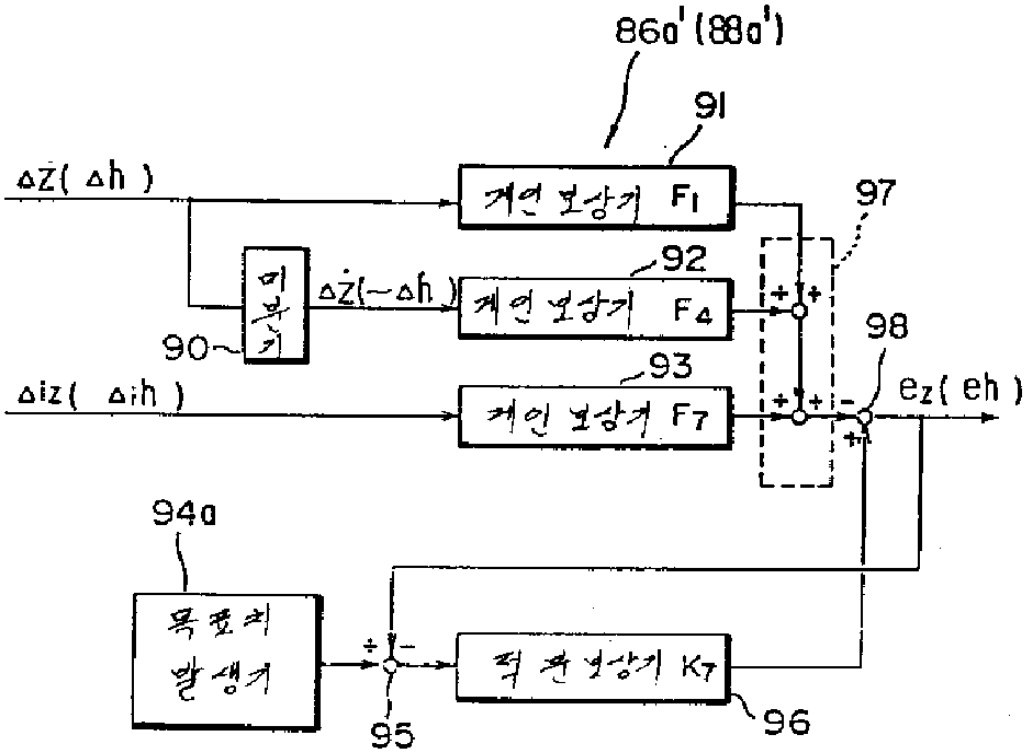
도면25



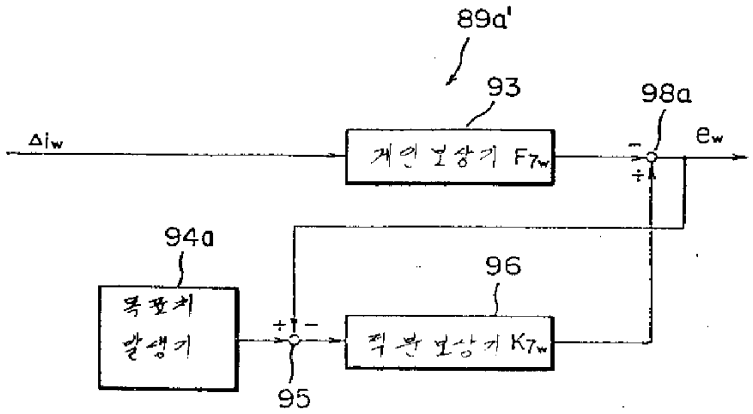
도면26


15h
31a
41b
31b
318a
55
322
43
318b
25g
34a
34b
320
55
y
h
g
x
j
z

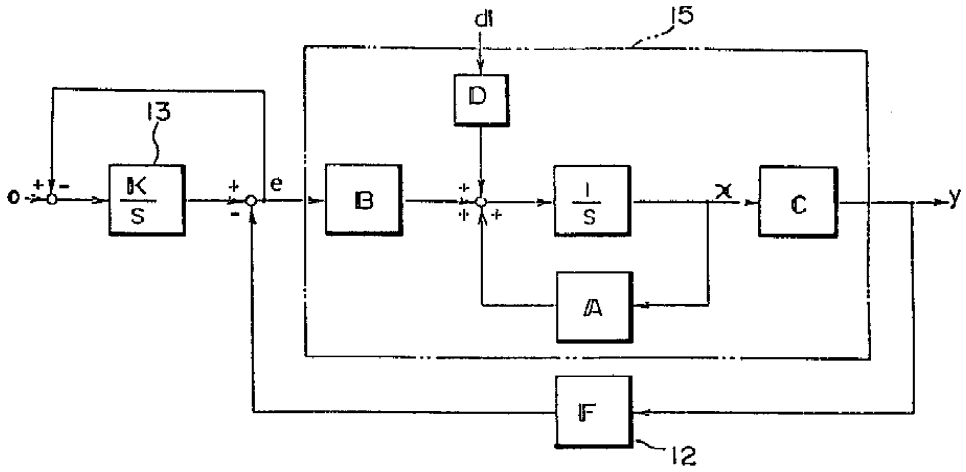
도면27


86a'(88a')
91
Δz(Δh)
게인 보상기 F1
97
미분기
Δż(−Δh)
92
게인 보상기 F4
90
98
93
Δiz(Δih)
게인 보상기 F7
ez(eh)
94a
목표치 발생기
95
적분 보상기 K7
96

도면28


89a'
93
98a
Δiw
계연보상기 Fzw
ew
94a
목표치
발생기
96
적분보상기 Kzw
95

도면29


di
15
D
13
0
K/S
e
B
1/S
x
C
y
A
F
12