



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0126273
(43) 공개일자 2010년12월01일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) Int. Cl.
<i>G01D 5/245</i> (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2010-7015873</p> <p>(22) 출원일자(국제출원일자) 2009년02월03일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2010년07월16일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2009/051768</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2009/099054
국제공개일자 2009년08월13일</p> <p>(30) 우선권주장
JP-P-2008-027636 2008년02월07일 일본(JP)
JP-P-2008-116246 2008년04월25일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
히타치 긴조쿠 가부시키키가이샤
일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2반 1코</p> <p>(72) 발명자
미타 마사히로
일본 사이타마켄 구마가야시 미카지리 5200반치
히타치 긴조쿠 가부시키키가이샤 센탄 일렉트로닉스
겐큐쇼내
아이무타 교헤이
일본 사이타마켄 구마가야시 미카지리 5200반치
히타치 긴조쿠 가부시키키가이샤 센탄 일렉트로닉스
겐큐쇼내
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
유미특허법인</p> |
|--|---|

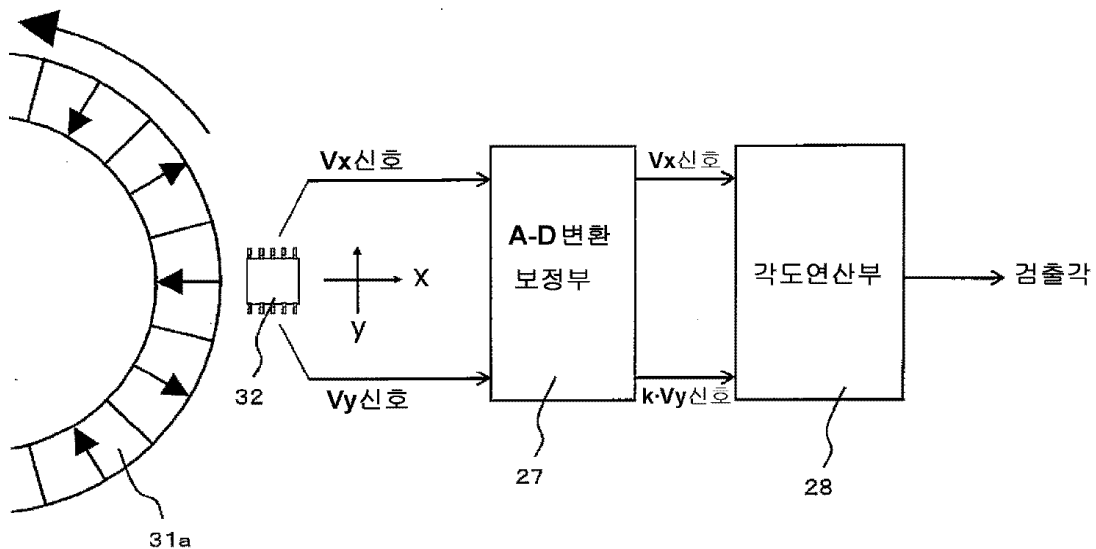
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 회전 각도 검출 장치, 회전기 및 회전 각도 검출 방법

(57) 요약

본 발명은, 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속(磁束)의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치로서, 상기 센서 디바이스에 의해 얻어지는 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압값 중 적어도 한쪽에 수정(修正) 계수를 곱하고, 수정된 2개의 출력 전압값으로부터 회전 각도를 산출함으로써, 회전 각도의 검출 정밀도를 높이는 것을 특징으로 하는 회전 각도 검출 장치에 관한 것이다.

대표도



(72) 발명자

시모에 오사무

일본 사이타마켄 구마가야시 미카지리 5200번치 히
타치 긴조쿠 가부시키키가이샤 센탄 일렉트로닉스 켄
큐쇼내

가가와 리히토

일본 사이타마켄 구마가야시 미카지리 6010번치 히
타치 긴조쿠 가부시키키가이샤 세이산 시스템 켄큐쇼
내

특허청구의 범위

청구항 1

2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속(磁束)의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치로서,

상기 센서 디바이스에 의해 얻어지는 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압값 중 적어도 한쪽에 수정(修正) 계수를 곱하고, 수정된 2개의 출력 전압값으로부터 회전 각도를 산출함으로써, 상기 회전 각도의 검출 정밀도를 높이는,

회전 각도 검출 장치.

청구항 2

2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 구비하는 회전 각도 검출 장치로서,

상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화(磁化) 방향이 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면(感磁面)을 가지고, 서로 고정층 자화 방향이 직교하는 센서 브리지(A01)와 센서 브리지(B01)를 내장하고,

상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)는, 각각 상기 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 브리지 회로이며,

상기 브리지 회로는, 각각 전기적으로 인접하는 변의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 고정층 자화 방향이 반평행이며,

상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)의 각각에 전압을 인가함으로써, 상기 고정층 자화 방향과 상기 자유층 자화 방향이 이루는 각도에 따른 출력 전압을 얻고,

상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여 얻어진 2개의 출력을 기초로 하여 각도 신호를 얻는,

회전 각도 검출 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 센서 디바이스는 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 직교하는 2방향으로 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고,

상기 수정 계수는, 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의 반경 방향의 자속 밀도의 최대값과 회전 방향의 자속 밀도의 최대값과의 비를 반영한 값인, 회전 각도 검출 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 전압값의 피크값과 회전 방향의 출력 전압값의 피크값과의 비 K 는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위인, 회전 각도 검출 장치.

청구항 5

2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치로서,

상기 센서 디바이스에 의해 얻어지는 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압값의 출력 파형 중 적어도 한쪽의 진폭값에 수정 계수를 곱하고, 수정된 2개의 출력 파형으로부터 회전 각도를 산출함으로써, 상기 회전 각도의 검출 정밀도를 높이는,

회전 각도 검출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 센서 디바이스는 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 직교하는 2방향으로 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고,

상기 수정 계수는, 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서 반경 방향 및 회전 방향의 2방향의 자속 밀도의 파형을 취했을 때의, 각각의 최대 진폭의 비를 반영한 값인, 회전 각도 검출 장치.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 와 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 파형의 피크값과 회전 방향의 출력 파형의 피크값과의 비 K 는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위의 값인, 회전 각도 검출 장치.

청구항 8

2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 구비하는 회전 각도 검출 장치로서,

상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고, 서로 고정층 자화 방향이 직교하는 센서 브리지(A01)와 센서 브리지(B01)를 내장하고,

상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)는, 각각 상기 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 브리지 회로이며,

상기 브리지 회로는, 각각 전기적으로 인접하는 변의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 고정층 자화 방향이 반평행이며,

상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)의 각각에 전압을 인가함으로써, 상기 고정층 자화 방향과 상기 자유층 자화 방향이 이루는 각도에 따른 출력 전압(V_x , V_y)을 얻고,

상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여 각도 신호를 얻는,

회전 각도 검출 장치.

[단, V_x 는 상기 자석 회전자의 반경 방향으로 고정층 자화 방향을 향한 센서 브리지(A01)의 출력 전압,

V_y 는 상기 자석 회전자의 회전 방향으로 고정층 자화 방향을 향한 센서 브리지(B01)의 출력 전압이며,

수정 계수는, V_x 및 V_y 의 각각에 대하여, 전기각 1주기를 푸리에(fourier) 전개한 하기의 식(1-1) 및 식(1-2)에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치를 기초로 산출한 값이다.

$$V_x = a_1 \cos \theta_{\text{mag}} + a_3 \cos 3 \theta_{\text{mag}} + a_5 \cos 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(1-1)}$$

$$V_y = b_1 \sin \theta_{\text{mag}} + b_3 \sin 3 \theta_{\text{mag}} + b_5 \sin 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(1-2)}$$

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 수정 계수로서 k를 사용하는, 회전 각도 검출 장치.

[단, 수정 계수 k는, $k = k' \pm 0.3N$ (N은 자석 회전자의 극대수(極對數)이며, k'는 상기 식(1-1) 및 식(1-2)에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치에 의해, 식(2): $k' = (a_1 - a_3)/(b_1 + b_3)$ 에 의해 표현되는 값이다.)의 범위의 값이다.]

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서 디바이스는, 반경 방향의 자속 밀도의 최대값과 회전 방향의 자속 밀도의 최대값이 상이한 값을 나타내는 위치에 설치되어 있는, 회전 각도 검출 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서 디바이스의 감자면의 중심은, 상기 자석 회전자의 축방향 두께 중심점을 통과하고 또한 회전축에 수직인 평면 상에 위치하는, 회전 각도 검출 장치.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 기재된 회전 각도 검출 장치를 탑재하는, 회전기(回轉機).

청구항 13

2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)의 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 방법으로서,

센서 디바이스에 의해 상기 자석 회전자의 반경 방향 및 회전 방향의 자속의 주기 변동을 출력 전압(V_x , V_y)으로서 측정하고,

상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여, 상기 자석 회전자의 회전 각도 θ_{meas} 를 구하는,

회전 각도 검출 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 와 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 전압값의 피크값과 회전 방향의 출력 전압값의 피크값과의 비 K는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위인, 회전 각도 검출 방법.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서,

상기 수정 계수로서 k값을 사용하고, 상기 자석 회전자의 회전 각도 θ_{meas} 를 하기의 식(3) 또는 식(4)로부터 구하는, 회전 각도 검출 방법.

$$\theta_{meas} = \tan^{-1}(V_x / (V_y \cdot k)) \quad \text{식 (3)} \quad (\text{회전 방향의 교류 전력이 작은 경우})$$

$$\theta_{meas} = \tan^{-1}((V_x \cdot k) / V_y) \quad \text{식 (4)} \quad (\text{반경 방향의 교류 전력이 작은 경우})$$

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 수정 계수 k값은, 센서 디바이스를 설치한 위치에서, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_⊥과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{//}를 측정하고, 그 진폭비 B_⊥/B_{//} = K'를 기초로 산출하는, 회전 각도 검출 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 수정 계수 k값은, 상기 출력 전압(V_x, V_y)의 각각에 대하여, 전기각 1주기를 푸리에 전개한 하기의 식(5-1) 및 식(5-2)에 있어서의 a₁, a₃, b₁ 및 b₃의 수치를 기초로 산출한 값으로 하는, 회전 각도 검출 방법.

$$V_x = a_{1\text{mag}} \cos \theta + a_{3\text{mag}} \cos 3\theta + a_{5\text{mag}} \cos 5\theta + \dots \quad \text{식(5-1)}$$

$$V_y = b_{1\text{mag}} \sin \theta + b_{3\text{mag}} \sin 3\theta + b_{5\text{mag}} \sin 5\theta + \dots \quad \text{식(5-2)}$$

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 수정 계수 k는, 상기 a₁, a₃, b₁ 및 b₃의 수치를 사용하여 하기 식(6)으로부터 구한 k'를 기초로 산출하는, 회전 각도 검출 방법.

$$k' = (a_1 - a_3) / (b_1 + b_3) \quad \text{식(6)}$$

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 수정 계수 k로서 k = k' ± 0.3N(N은 자석 회전자의 극대수이며, k'는 상기 식(6)에서 구해지는 값이다.)의 범위의 값을 사용하는, 회전 각도 검출 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 회전축 등의 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치, 이것을 사용한 회전기(回轉機), 및 그 회전 각도 검출 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 주위면을 다극(多極)으로 착자(着磁)한 원통 자석을 원통의 축을 중심으로 하여 회전시켰을 때, 상기 주위면으로부터 소정 거리(r₁) 떨어진 위치에서의 원통 자석의 반경 방향의 자속(磁束) 밀도 및 주위 방향의 자속 밀도는, 각각 회전 각도에 대하여 대략 정현파형(正弦波狀)으로 변화한다. 이 때, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭은, 회전 방향의 자속 밀도의 진폭에 비해 1 ~ 2배 정도 크게 된다.

[0003] 상기 거리(r₁) 떨어진 위치에 센서 디바이스(복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자를 사용한 자기 센서)를 배치하고, 반경 방향의 자속 밀도 및 회전 방향의 자속 밀도를 측정함으로써 회전 각도 검출 장치를 구성할 수 있다.

[0004] 센서 디바이스는 자장의 강도는 아니고 자속의 방향을 검지하므로, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭이 상이하면, 반경 방향으로 감자축(感磁軸)을 가지는 센서 디바이스로부터는 사다리꼴의 파형을 한 제1 출력 전압(V_x)을 얻을 수 있고, 회전 방향으로 감자축을 가지는 센서 디바이스로부터는 삼각파상의 파형을 한 제2 출력 전압(V_y)을 얻을 수 있다. 여기서, 직교하는 2개의 감자축을 1개의 기관에 집약한 센서 디바이스를 사용함으로써, 상기 제1 및 제2 출력 전압을 동시에 얻을 수 있다.

[0005] 또한, 자속 밀도가 어느 일정 범위 내이면, 반경 방향 및 회전 방향의 자속 밀도의 최대값에 의하지 않고, 그 출력 전압의 진폭은 대략 일정하게 된다. 즉, 상기 제1 및 제2 출력 전압은, 후술하는 바와 같이 자석의 회전

각 θ_{mag} 에 대하여 각각 $V_x = \cos \theta_{mag}$ 및 $V_y = \sin \theta_{mag}$ 로 되고, 이들 진폭은 대략 같게 된다(단 실제로 얻어지는 파형은 고조파(高調波)를 포함하므로, 파형은 각각 사다리꼴 및 삼각형상으로 된다). 이와 같이, 제1 및 제2 출력 전압은 파형이 상이하고, 자속 밀도의 진폭의 차이에도 불구하고 대략 같은 진폭의 출력 전압을 얻을 수 있으므로, 회전 각도의 측정 오차(각도 오차)가 생긴다.

[0006] 일본공개특허 제2006-023179호(특허 문헌 1)는, 자기(磁氣) 부재와, 상기 자기 부재의 자극 배열면과 대향하는 복수쌍의 벡터 검지형 자기 저항 효과 소자를 가지고, 상기 복수쌍의 벡터 검지형 자기 저항 효과 소자를, 상기 자기 부재에 의한 외부 자계에 대하여 감자면이 대략 평행하게, 또한 쌍을 이루는 상기 벡터 검지형 자기 저항 효과 소자끼리의 핀층 자화(磁化) 방향이 서로 대략 90도 어긋나도록 배치하는 동시에, 상기 자기 부재의 자극 배열 방향에 대하여는 동일 위치에 모든 상기 벡터 검지형 자기 저항 효과 소자를 배치한 자기식 위치 검출 장치를 개시하고 있고, 특허 문헌 1의 도 1a에 나타난 자기 부재 및 벡터 검지형 자기 저항 효과 소자를 상대적으로 이동시킴으로써, 위상이 90도 어긋난 2상의 정현파형 출력을 얻는 것으로 기재하고 있다.

[0007] 그러나, 일본공개특허 제2006-023179호(특허 문헌 1)에 기재된 바와 같이, 위상이 90도 어긋난 2상의 정현파형 출력을 얻을 수 있는 것은, 이동 방향과 자기 부재에 수직 방향의 자속 밀도 진폭비가 대략 1로 되는 경우(자기 부재의 착자 피치에 대하여 자극의 가로 방향 치수가 극단으로 긴 경우)이며, 실제로는 상기 자속 밀도 진폭비가 상이하므로, 자장 검출기로부터의 출력 전압은 고차의 고조파가 중첩된 사다리꼴 파형 및 삼각파상 파형으로 된다. 그 결과, 위치 검출에 오차가 생겨 정밀도 양호한 측정을 행할 수 없게 된다.

[0008] 일본공개특허 제2006-194861호(특허 문헌 2)는, 자기 저항 효과 소자를 사용하여 회전 각도를 검출하는 경우에, 자기 저항 효과 소자로부터의 출력에 포함되어 있는 신호 사이의 위상 오차, 불균일 오차 등을, 다양한 파형 정형에 의해 저감시키는 방법을 개시하고 있다. 그러나, 평행 자장이 회전함으로써 생기는 자장에 원리적으로 포함되는 불균일성(외부 자장의 진폭비의 상위 등)에 의한 오차를 저감시키는 방법에 대해서는 개시되어 않다.

[0009] 일본공개특허 제2006-023179호(특허 문헌 1) 및 일본공개특허 제2006-194861호(특허 문헌 2)는, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭이 회전 방향의 자속 밀도의 진폭에 비해 크기 때문에, 반경 방향 및 회전 방향의 출력 전압의 파형이 상이하고, 그 결과 생기는 각도 오차에 대하여 기재되어 있지 않고, 그 시사조차도 없다. 이들 문헌에 기재된 기술에 있어서, 이동 방향의 자속 밀도 진폭과 자기 부재로부터 수직 방향의 자속 밀도 진폭을 동일하게 하기 위해서는, 자극의 가로 방향 치수를, 예를 들면, 자극 피치에 대하여 100배 정도로 할 필요가 있다. 그러나, 회전 각도 또는 이동 거리를 검출하기 위해 그와 같은 큰 자기 부재를 설치하는 것은 현실적이지 않다.

[0010] 이상과 같이, 자속의 방향을 검출할 수 있는 센서 디바이스를 사용한 경우, 얻어지는 2개의 출력 전압을 그대로 역정접(逆正接) 연산하고 자석 회전자의 전기각(電氣角)이나 회전각을 구하려면, 각도 오차가 큰 회전 각도 검출 장치로 밖에 할 수 없다는 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 따라서, 본 발명의 목적은, 높은 정밀도로 회전 각도를 검출할 수 있는 회전 각도 검출 장치, 및 이것을 구비한 회전기를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 감안하여 예의 검토의 결과, 본 발명자 등은, 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용한 회전 각도 검출 장치에 있어서, 센서 디바이스로부터 얻어진 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압(또는 출력 전압 파형) 중 적어도 한쪽에 수정(修正) 계수를 곱하거나(또는 나누어), 이들 수정한 2개의 출력 전압(또는 출력 전압 파형)의 최대값의 비가, 센서 디바이스를 배치한 위치에서의 반경 방향 및 회전 방향의 자속 밀도의 최대값의 비 K' 와 동등하게 되도록 한 후, 역정접 연산함으로써 각도 오차가 현저하게 작아지는 것을 발견하고, 본 발명에 이르렀다.

[0013] 본 발명의 회전 각도 검출 장치는, 도 27에 나타난 바와 같이, 얻어진 출력 전압 파형 중 적어도 한쪽의 진폭을 확대시켜, 2개의 출력 전압 파형의 최대값의 비를 대응하는 2방향의 자속 밀도의 최대값의 비와 동등하게 되도록 조절하고 나서 회전각이나 기계각을 구하는 것이다. 이 조절 수단으로서, 한쪽만을 확대시키는 방법, 한쪽만을 축소시키는 방법, 또는 양쪽에 소정 계수를 주는 방법 중 어느 하나의 수단에 의해서도 되고, 결과적으로 2개의 출력 전압 파형의 최대값의 비가, 상기한 비 K' 와 동등하게 되도록 수정하면 된다. 이하, 한쪽에 수

정 계수를 곱하는 것을 중심으로 설명하지만, 본 발명은 이에 한정되지 않고, 다른 쪽을 나누어 수정해도 되고, 양쪽에 상이한 소정 계수를 곱하여 수정해도 된다.

- [0014] 즉, 본 발명의 회전 각도 검출 장치는,
- [0015] 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치로서,
- [0016] 상기 센서 디바이스에 의해 얻어지는 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압값 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하고, 수정된 2개의 출력 전압값으로부터 회전 각도를 산출함으로써, 회전 각도의 검출 정밀도를 높이는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 본 발명의 다른 회전 각도 검출 장치는,
- [0018] 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 구비하는 회전 각도 검출 장치로서,
- [0019] 상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고, 서로 고정층 자화 방향이 직교하는 센서 브리지(A01)와 센서 브리지(B01)를 내장하고,
- [0020] 상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)는, 각각 상기 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 브리지 회로이며,
- [0021] 상기 브리지 회로는, 각각 전기적으로 인접하는 변의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 고정층 자화 방향이 반평행이며,
- [0022] 상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)의 각각에 전압을 인가함으로써, 상기 고정층 자화 방향과 상기 자유층 자화 방향이 이루는 각도에 따른 출력 전압을 얻고,
- [0023] 상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여 얻어진 2개의 출력을 기초로 하여 각도 신호를 얻는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 직교하는 2방향으로 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고,
- [0025] 상기 수정 계수는, 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의 반경 방향의 자속 밀도의 최대값과 회전 방향의 자속 밀도의 최대값과의 비를 반영한 값인 것이 바람직하다.
- [0026] 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 전압값의 피크값과 회전 방향의 출력 전압값의 피크값과의 비 K 는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위인 것이 바람직하다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 회전 각도 검출 장치는,
- [0028] 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 장치로서,
- [0029] 상기 센서 디바이스에 의해 얻어지는 반경 방향 및 회전 방향의 2개의 출력 전압값의 출력 파형 중 적어도 한쪽의 진폭값에 수정 계수를 곱하고, 수정된 2개의 출력 파형으로부터 회전 각도를 산출함으로써, 회전 각도의 검출 정밀도를 높이는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 직교하는 2방향으로 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고,
- [0031] 상기 수정 계수는, 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서 반경 방향 및 회전 방향의 2방향의 자속 밀도의 파형을 취했을 때의, 각각의 최대 진폭의 비를 반영한 값인 것이 바람직하다.
- [0032] 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭

$B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 파형의 피크값과 회전 방향의 출력 파형의 피크값과의 비 K 는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위의 값인 것이 바람직하다.

- [0033] 본 발명의 또 다른 회전 각도 검출 장치는,
- [0034] 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)와, 상기 자석 회전자로부터의 자속의 방향을 검지하는 센서 디바이스를 구비하는 회전 각도 검출 장치로서,
- [0035] 상기 센서 디바이스는, 복수 개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(고정층과 자유층을 가지고, 고정층 자화 방향이 고정되어 있고, 자유층 자화 방향이 자속의 방향을 따라 회전하는 자기 저항 소자)로 구성된 감자면을 가지고, 서로 고정층 자화 방향이 직교하는 센서 브리지(A01)와 센서 브리지(B01)를 내장하고,
- [0036] 상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)는, 각각 상기 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 브리지 회로이며,
- [0037] 상기 브리지 회로는, 각각 전기적으로 인접하는 변의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 고정층 자화 방향이 반평행이며,
- [0038] 상기 센서 브리지(A01) 및 센서 브리지(B01)의 각각에 전압을 인가함으로써, 상기 고정층 자화 방향과 상기 자유층 자화 방향이 이루는 각도에 따른 출력 전압(V_x , V_y)을 얻고,
- [0039] 상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여 각도 신호를 얻는 것을 특징으로 한다.
- [0040] [단, V_x 는 상기 자석 회전자의 반경 방향으로 고정층 자화 방향을 향한 센서 브리지(A01)의 출력 전압,
- [0041] V_y 는 상기 자석 회전자의 회전 방향으로 고정층 자화 방향을 향한 센서 브리지(B01)의 출력 전압이며,
- [0042] 상기 수정 계수는, V_x 및 V_y 의 각각에 대하여, 전기각 1주기를 푸리에(fourier) 전개한 하기의 식(1-1) 및 식(1-2)에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치를 기초로 산출한 값이다.

[0043]
$$V_x = a_{1\text{mag}} \cos \theta + a_{3\text{mag}} \cos 3\theta + a_{5\text{mag}} \cos 5\theta + \dots \quad \text{식 (1-1)}$$

[0043]
$$V_y = b_{1\text{mag}} \sin \theta + b_{3\text{mag}} \sin 3\theta + b_{5\text{mag}} \sin 5\theta + \dots \quad \text{식 (1-2)}$$

- [0044] 상기 수정 계수로서 k 를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0045] [단, 수정 계수 k 는, $K = k' \pm 0.3N$ (N 은 자석 회전자의 극대수(極對數)이며, k' 는 상기 식(1-1) 및 식(1-2)에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치에 의해, 식(2): $k' = (a_1 - a_3)/(b_1 + b_3)$ 에 의해 표현되는 값임)의 범위의 값임]

- [0046] 상기 센서 디바이스는, 반경 방향의 자속 밀도의 최대값과 회전 방향의 자속 밀도의 최대값이 상이한 값을 나타내는 위치에 설치되어 있는 것이 바람직하다.
- [0047] 상기 센서 디바이스의 감자면의 중심은, 상기 자석 회전자의 축방향 두께 중심점을 통과하고 또한 회전축에 수직인 평면 상에 위치하는 것이 바람직하다.
- [0048] 본 발명의 회전기는, 상기 어느 하나의 회전 각도 검출 장치를 탑재하는 것을 특징으로 한다.
- [0049] 본 발명의 회전 각도 검출 방법은,
- [0050] 2N극 자석을 가지는 자석 회전자(N은 자연수임)의 회전 각도를 검출하는 회전 각도 검출 방법으로서,
- [0051] 센서 디바이스에 의해 상기 자석 회전자의 반경 방향 및 회전 방향의 자속의 주기 변동을 출력 전압(V_x , V_y)으로서 측정하고,
- [0052] 상기 출력 전압 중 적어도 한쪽에 수정 계수를 곱하여, 상기 자석 회전자의 회전 각도 θ_{meas} 를 구하는 것을 특징으로 한다.
- [0053] 상기 센서 디바이스를 설치한 위치에서의, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 과 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 와의 비를 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 로 한 경우, 상기 수정 후의 반경 방향의 출력 전압값의 피크값과 회전 방향의 출력 전

압값의 피크값과의 비 K 는, $K = K' \pm 0.3N$ 의 범위인 것이 바람직하다.

[0054] 상기 수정 계수로서 k 값을 사용하여, 상기 자석 회전자의 회전 각도 θ_{meas} 를 식(3) 또는 식(4)로부터 구하는 것이 바람직하다.

[0055]
$$\theta_{meas} = \tan^{-1}(V_x / (V_y \cdot k)) \quad \text{식(3)}$$
 (회전 방향의 교류 전력이 작은 경우)

[0056]
$$\theta_{meas} = \tan^{-1}((V_x \cdot k) / V_y) \quad \text{식(4)}$$
 (반경 방향의 교류 전력이 작은 경우)

[0057] 상기 수정 계수 k 값은, 센서 디바이스를 설치한 위치에서, 반경 방향의 자속 밀도의 진폭 B_{\perp} 와 회전 방향의 자속 밀도의 진폭 $B_{//}$ 를 측정하고, 그 진폭비 $B_{\perp}/B_{//} = K'$ 를 기초로 산출하는 것이 바람직하다.

[0058] 상기 수정 계수 k 값은, 상기 출력 전압(V_x , V_y)의 각각에 대하여, 전기각 1주기를 푸리에 전개한 식(5-1) 및 식(5-2)에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치를 기초로 산출한 값으로 하는 것이 바람직하다.

[0059]
$$V_x = a_1 \cos \theta_{mag} + a_3 \cos 3 \theta_{mag} + a_5 \cos 5 \theta_{mag} + \dots \quad \text{식(5-1)}$$

[0059]
$$V_y = b_1 \sin \theta_{mag} + b_3 \sin 3 \theta_{mag} + b_5 \sin 5 \theta_{mag} + \dots \quad \text{식(5-2)}$$

[0060] 상기 수정 계수 k 는, 상기 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치를 사용하여 하기 식(6)으로부터 구한 k' 를 기초로 산출하는 것이 바람직하다.

[0061]
$$k' = (a_1 - a_3) / (b_1 + b_3) \quad \text{식(6)}$$

[0062] 상기 수정 계수 k 로서 $K = k' \pm 0.3N$ (N 은 자석 회전자의 극대수이며, k' 는 상기 식(6)에서 구해지는 값임)의 범위의 값을 사용하는 것이 바람직하다.

[0063] 상기 반경 방향의 자속 밀도의 최대값과 회전 방향의 자속 밀도의 최대값은, 자속의 방향을 측정하는 위치(센서 디바이스를 설치한 위치)에 홀 소자를 두고, 센서 디바이스에 의해 측정하는 2방향(반경 방향 및 회전 방향)에 대하여 각각 측정함으로써 구할 수 있다.

[0064] N 극쌍으로 착자된 자석 회전자와, 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자를 가지는 센서 디바이스를 사용한 회전 각도 검출 장치에 의해, 자석 회전자를 회전시키고, 자석 회전자의 회전 각도에 대응하는 출력 전압을 측정하면, 감자축이 반경 방향인 센서 브리지에서는 사다리꼴파에 가까운 출력 전압(제1 출력 전압)을 얻을 수 있고, 감자축이 회전 방향인 센서 브리지에서는 삼각파에 가까운 출력 전압(제2 출력 전압)을 얻을 수 있다. 이 때, 상기 제2 출력 전압을, 자속 밀도 진폭비 K' 와 대략 같은 수정 계수 k 로 증폭함으로써 고정밀도로 회전 각도를 검출할 수 있다.

[0065] 출력 전압 중, 교류 전력이 작은 쪽의 출력 전압에 수정 계수 k 를 곱하는 것이 바람직하다. 일반적으로, 상기 제1 출력 전압에 비해 제2 출력 전압의 교류 전력이 작으므로, 제2 출력 전압에 k 를 곱하는 것이 바람직하다. 즉, 도 7a에 나타난 바와 같이, 기계각과 센서 출력의 관계를 예측했을 때, 기계각의 가로축과 센서 출력의 파형으로 에워싸인 면적이 작은 쪽의 출력 전압에 수정 계수 k 를 곱하여, 도 7b에 나타난 조정된 센서 출력을 사용하여 회전각을 산출한다. 또는, 기계각의 가로축과 센서 출력의 파형으로 에워싸인 면적이 큰 쪽의 출력 전압에 수정 계수 k 를 나누어 회전각을 산출해도 된다. 또한, 곱함으로써 수정 계수 k 로 되는 2개의 수치를 산출하고, 그 각각을 양쪽의 파형에 곱해도 된다. 그리고, 상기 식(2)에서 산출한 k' 를 수정 계수 k 로서 사용하는 경우에는, 수정 계수 k 는 감자축이 회전 방향을 향하고 있는 센서 브리지에서의 출력 전압(제2 출력 전압)에 곱한다.

[0066] 상기 자석 회전자는, 2극쌍 이상의 다극 착자를 실시한 자석 회전자인 것이 바람직하다. 1극쌍은 1개의 N 극 및 그것과 인접하는 2개의 S 극에 상당한다. 예를 들면, 12극으로 착자되어 있으면 6극쌍의 자석 회전자이다. 센서 디바이스 중에는 센서 브리지가 2개 있고, 센서 브리지끼리는 엘리먼트의 고정층 자화 방향이 직교한다.

[0067] 센서 디바이스는, 자석 회전자가 회전했을 때, 엘리먼트인 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 자유층이 회전하도록, 자석 회전자의 근방에 설치한다. 1개의 센서 디바이스 내의 센서 브리지는 엘리먼트끼리가 90deg.

경사지게 배치되어 있으므로, 센서 디바이스끼리를 90deg. 위상차를 가지도록 배치하지 않아도, 회전 각도를 정확하게 측정할 수 있다.

[0068] 상기 자석의 축방향 두께(t)는, 회전축 방향에서의 자석의 치수에 상당한다. 상기 센서 디바이스의 중심은, 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 중심, 또는 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자가 복수 개 있는 경우에는 이들로부터 대략 등거리에 있는 중심점으로 한다. 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 두께는 자석 회전자보다 충분히 얇기 때문에, 상기 중심점은 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자를 형성하는 기판 상에 있는 것으로서 지장을 주지 않는다. 즉, 상기 센서 디바이스의 중심은 감자면 상에 있다고 할 수 있다. 2개의 감자축은 직교 관계에 있고, 상기 감자면 내에 있거나 또는 상기 감자면과 평행이다.

[0069] 본원 명세서에 있어서, 센서 브리지는 4개의 엘리먼트(스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자)를 전기 회로적인 브리지에 조립한 것을 가리킨다(4개의 엘리먼트를 포함하는 면이 감자면으로 된다). 또한, 2개의 센서 브리지를 탑재한 것을 센서 디바이스라고 한다. 자석 회전자와 센서 디바이스를 대향시키는 구성을 회전 각도 검출 장치라고 한다. 회전 각도 검출 장치에 장착할 수 있도록 복수 개의 센서 디바이스를 조합한 단위를 모듈이라고 한다.

발명의 효과

[0070] 본 발명의 회전 각도 검출 장치에 의해, 각도 오차를 저감할 수 있다.

[0071] 본 발명의 회전 각도 검출 방법에 의해, 센서 디바이스의 위치에 관계없이 각도 오차를 저감할 수 있으므로, 자속 밀도가 가장 큰 위치에 센서 디바이스를 설치할 수 있어 자석의 체적을 작게 할 수 있다. 그 결과, 회전 각도 검출 장치의 점유 체적을 작게 하는 것이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

[0072] 도 1a는 본 발명의 회전 각도 검출 장치의 일례를 나타낸 모식 정면도이다.

도 1b는 본 발명의 회전 각도 검출 장치의 일례를 나타낸 모식 측면도이며, 일점 쇄선보다 아래쪽은 자석 회전자를 단면(斷面)으로 나타낸 부분 단면도이다.

도 2a는 본 발명의 회전 각도 검출 장치에 사용하는 센서 디바이스의 일례를 나타낸 모식도이다.

도 2b는 도 2a의 센서 디바이스에 있어서의 자석 회전자의 반경 방향을 고정층 자화 방향으로 하는 엘리먼트와 단자와의 접속을 나타낸 브리지 회로도이다.

도 2c는 도 2a의 센서 디바이스에 있어서의 자석 회전자의 회전 방향을 고정층 자화 방향으로 하는 엘리먼트와 단자와의 접속을 나타낸 브리지 회로도이다.

도 3은 수정 계수 k의 산출 방법의 일례를 나타낸 개념도이다.

도 4는 회전 각도 검출 장치의 일례를 나타낸 개념도이다.

도 5는 회전 각도 검출 장치의 다른 일례를 나타낸 개념도이다.

도 6은 회전 각도 검출 장치의 또 다른 일례를 나타낸 개념도이다.

도 7a는 실시예 1의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 7b는 실시예 1의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 후의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 7c는 실시예 1의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전 및 조정 후의 각도 오차를 나타낸 그래프이다.

도 8a는 실시예 2의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 8b는 실시예 2의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 후의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 8c는 실시예 2의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전 및 조정 후의 각도 오차를 나타낸 그래프이다.

도 9a는 실시예 3의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 9b는 실시예 3의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 후의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.

도 9c는 실시예 3의 회전 각도 검출 장치의 전압 조정 전 및 조정 후의 각도 오차를 나타낸 그래프이다.

- 도 10은 수정 계수 k 가 변화되었을 때의 기계각 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 수정 계수 k 가 변화되었을 때의 전기각 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 12는 x축 방향(회전축과 수직인 방향)으로 센서를 이동했을 때의 자석 반경 방향의 자속 밀도 B_{\perp} , 자석 회전 방향의 자속 밀도 $B_{//}$, 및 자속 밀도 진폭비 K' 를 나타낸 그래프이다.
- 도 13은 z축 방향(회전축 방향)으로 센서를 이동했을 때의 자석 반경 방향의 자속 밀도 B_{\perp} , 자석 회전 방향의 자속 밀도 $B_{//}$, 및 자속 밀도 진폭비 K' 를 나타낸 그래프이다.
- 도 14a는 1극쌍 자석의 자속과 센서 디바이스와의 위치 관계를 나타낸 모식도이다.
- 도 14b는 도 14a의 A-A 단면도이다.
- 도 14c는 1극쌍 자석의 자속과 센서 디바이스와의 다양한 위치 관계를 나타낸 모식도이다.
- 도 15a는 4극 자석의 자속과 센서 디바이스와의 위치 관계를 나타낸 모식도이다.
- 도 15b는 도 15a의 A-A 단면도이다.
- 도 15c는 4극 자석의 자속과 센서 디바이스와의 위치 관계를 나타낸 모식도이다.
- 도 15d는 4극 자석의 자속과 센서 디바이스와의 다양한 위치 관계를 나타낸 모식도이다.
- 도 16은 본 발명의 회전 각도 검출 장치를 적용한 회전기의 일례를 나타낸 모식 단면도이다.
- 도 17a는 비교예 1의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.
- 도 17b는 비교예 1의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 측면도이다.
- 도 17c는 비교예 1의 회전 각도 검출 장치의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.
- 도 17d는 비교예 1의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 18a는 참고예 1의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.
- 도 18b는 참고예 1의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 측면도이다.
- 도 18c는 참고예 1의 회전 각도 검출 장치의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.
- 도 18d는 참고예 1의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 19a는 참고예 2의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.
- 도 19b는 참고예 2의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 측면도이다.
- 도 19c는 참고예 2의 회전 각도 검출 장치의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.
- 도 19d는 참고예 2의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 20a는 비교예 2의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.
- 도 20b는 도 20a의 A-A 단면도이다.
- 도 20c는 비교예 2의 회전 각도 검출 장치의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.
- 도 20d는 비교예 2의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 나타낸 그래프이다.
- 도 20e는 비교예 2의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 확대하여 나타낸 그래프이다.
- 도 21a는 참고예 3의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.
- 도 21b는 도 21a의 A-A 단면도이다.
- 도 21c는 참고예 3의 회전 각도 검출 장치의 센서 출력을 나타낸 그래프이다.
- 도 21d는 참고예 3의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 나타낸 그래프이다.

도 21e는 참고예 3의 회전 각도 검출 장치의 검출 각도 및 오차를 확대하여 나타낸 그래프이다.

도 22a는 참고예 4의 회전 각도 검출 장치를 나타낸 모식 정면도이다.

도 22b는 도 22a의 A-A 단면도이다.

도 23은 비교예 1, 참고예 1, 참고예 2 및 실시예 6의 각각의 센서 디바이스를 중첩하여 나타낸 개념도이다.

도 24는 비교예 2, 참고예 3, 참고예 4, 실시예 7 및 실시예 8의 각각의 센서 디바이스를 중첩하여 나타낸 개념도이다.

도 25는 자석 회전자의 반경 방향과 회전 방향의 자속 밀도 진폭을 측정하는 상태를 나타낸 모식도이다.

도 26은 진폭 조정 계수 K'의 산출 방법을 설명하는 그래프이다.

도 27은 수정 계수 k를 변화시켰을 때의 센서 출력의 전압 파형을 나타낸 그래프이다.

도 28은 수정 계수 k와 기계각 오차와의 관계를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0073] 이하, 본 발명에 대하여, 도면을 참조하여 구체적인 실시 형태를 설명한다. 단, 이들 실시 형태에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니다.

[0074] [1] 회전 각도 검출 장치의 실시 형태

[0075] 도 1a 및 도 1b에, 외주면에 6극쌍으로 착자된 자석 회전자(1)와, 센서 디바이스(2a)를 지지하는 자기 센서부(2₁)를 고정된 하우징(3)을 가지는 회전 각도 검출 장치를 나타낸다. 자석 회전자(1)의 회전축은 점 0을 통하여 지면에 수직인 축이다. 센서 디바이스(2a)(고정층 자화 방향이 직교하는 2개의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자의 브리지 회로를 탑재)에 의해 자석 회전자(1)에 있어서의 링형 영구 자석(1a)의 회전 각도를 검출할 수 있다.

[0076] 자석 회전자(1)는, 링형 영구 자석(1a)과, 상기 링형 영구 자석의 내주측에 일체로 형성된 연자성(軟磁性) 링(1b)과, 상기 연자성 링(1b)을 지지하는 비자성(非磁性) 링형의 어댑터(1c)를 구비한다. 자기 센서부(2₁)는, 주위돌레의 일 측면이 자석 회전자(1)와 대향하는 판형의 회로용 기판(2c)과, 상기 회로용 기판(2c)의 평면에 고정된 센서 디바이스(2a)와, 상기 센서 디바이스(2a) 및 회로용 기판(2c)과 제어용 회로를 전기적으로 접속하는 케이블(2d1) 및 커넥터(2e)와, 상기 센서 디바이스를 덮는 비자성 커버(2f)를 가진다. 링형 영구 자석(1a)은 6극쌍으로 착자되어 있고, 그 착자의 방향이 자석 회전자의 회전축선과 직교하도록 배치되어 있다. 하우징(3)에는, 센서 디바이스(2a)가 소정 간격으로 자석 회전자(1)와 대향하도록, 상기 회로용 기판(2c)을 고정하기 위한 ㄷ자형 앵글(3a) 및 볼트(3c)가 설치되어 있다. 센서 디바이스를 고정된 회로용 기판(2c)의 평면은, 자석 회전자의 회전축선에 대하여 직교하고 있다. 그리고, 센서 디바이스 등의 상세한 것에 대하여는 후술한다.

[0077] 도 1a 및 도 1b의 회전 각도 검출 장치는, 자기 센서부(2₁)를 설치한 하우징(3)을, 볼트 고정용 구멍(3b)을 사용하여 공작 기계 본체에 고정하고, 공작 기계의 샤프트(회전축)에 자석 회전자(1)를(볼트 고정용 구멍(1d)을 사용하여) 동축으로 되도록 고정한다(도 1a 및 도 1b에서는 공작 기계의 도시를 생략하였다). 도 1a에 나타낸 바와 같이, 자석 회전자(1)와 자기 센서부(2₁)를 대향시킨 상태에서 공작 기계의 샤프트를 회전시킴으로써, 높은 정밀도로 회전 각도를 검출할 수 있다.

[0078] 자석 회전자(1)는, NdFeB계 본드 자석으로 이루어지는 링형 영구 자석(1a)과, 연철분(軟鐵粉)과 바인더를 성형하여 이루어지는 연자성 링(1b)과, 상기 연자성 링을 샤프트(회전축)에 장착하기 위한 S45C제의 어댑터(1c)로 구성한다. 센서 디바이스(2a)는, 도 2a 내지 도 2c에 나타낸 바와 같이, 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(엘리먼트) 8개로 풀 브리지 회로를 구성하여 이루어지고, Vcc와 GND와의 사이에 직류 전압을 인가한 상태에서, 자석 회전자의 자장 내에 센서 디바이스(2a)를 두면, V_{x1}-V_{x2} 사이와, V_{y1}-V_{y2} 사이에 각각 차동(差動) 출력을 부여한다. 센서 디바이스(2a)는 회로용 기판(2c)을 하우징(3)에 고정하고, 커넥터(2e)에 연결되는 케이블(2d1)을 통하여, 후술하는 도 4의 회로(A-D 변환 보정부 및 각도 연산부로 이루어지는 회로)를 접속하고, A-D 변환 후에 한쪽의 신호에 수정 계수 k를 곱하고(예를 들면, K = 1.6), 각도 연산을 행한다. 센서 디바이스는, 비자성 리드 프레임(lead frame)을 사용하여 10개의 단자(23)를 형성하고, 수지계 재료로 몰딩하여 사용한다. 하우징(3) 및 ㄷ자형 앵글(3a)은 비자성 SUSU316으로 구성하는 것이 바람직하고, ㄷ자형 앵글은 프레스 성형 등에

의해 제작할 수 있다. 회전 각도 검출 장치는, 예를 들면, 자석 회전자(1)의 반경 r_0 를 25mm, 자석 회전자(1)의 외주면으로부터 센서 디바이스의 중심까지의 거리 r_1 을 3.5mm, 자석 회전자(1)의 자석의 축방향 두께 t 를 4mm, 하우징(3)의 두께 T 를 2mm(예를 들면, 2mm 두께의 판재를 펀칭하여, 조여서 형성함)로 한 형상을 가진다. 거리 r_1 을 6mm까지 크게 한 경우라도 문제없이 사용할 수 있다.

[0079] 도시는 생략하였으나, 도 2a에 나타낸 각각의 한 쌍의 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(22a~22d)는, 비자성 기관(12a) 상에, 베이스층(Cr)/고정층(Co/Ru/Co)/Cu층/자유층(Co/NiFe)/캡층(Ta)의 순으로 적층하여 패터닝하고, 통전용의 전극막을 형성하고, 절연 피복을 행한 것이다.

[0080] [2] 회전 각도 검출 장치의 작용

[0081] (1) 원리

[0082] 유한 축길이의 자석 회전자로부터 발생하는 자속 밀도의 진폭은, 반경 방향과 회전 방향에서 상이하다. 반경 방향의 자속 밀도 성분을 B_r , 회전 방향의 자속 밀도 성분을 B_θ , 반경 방향의 자속 밀도의 진폭을 B_\perp , 회전 방향의 자속 밀도의 진폭을 $B_{//}$ 라 하고, $B_\perp/B_{//} = K'$ 라고 한다. 여기서, 고조파 성분은 생략하여 고려한다. 자석 회전자의 직(直) 가로에 있어서의, 자석 회전자의 전기각 θ_e 에 대한 자속 밀도 B_r 및 B_θ 의 방향 성분은, 각각의 식(7) 및 식(8)과 같이 된다.

$$B_r = B_\perp \cos \theta_e = K' \cdot B_{//} \cos \theta_e \quad \text{식 (7)}$$

$$B_\theta = B_{//} \sin \theta_e \quad \text{식 (8)}$$

[0083]

[0084] 따라서, 자석 회전자의 회전에 따른 자속의 방향 θ_{mag} 는 하기의 식(9)에 의해 표현된다.

$$\theta_{mag} = \tan^{-1}\{B_\theta \sin \theta_e / (K' \cdot B_r \cos \theta_e)\} = \tan^{-1}\{\sin \theta_e / (K' \cdot \cos \theta_e)\} \quad \text{식 (9)}$$

[0085]

[0086] 센서 디바이스의 출력은, 이 각도 θ_{mag} 에 의해 정해진다. 반경 방향을 감자축으로 하는 센서 디바이스로부터의 출력 V_x , 및 회전 방향을 감자축으로 하는 센서 디바이스로부터의 출력 V_y 에 수정 계수 k 를 곱한 출력 $V_y \cdot k$ 는, 각각 식(10) 및 식(11)과 같이 된다.

$$V_x = \cos \theta_{mag} \quad \text{식 (10)}$$

$$V_y \cdot k = k \sin \theta_{mag} \quad \text{식 (11)}$$

[0087]

[0088]

[0089] 이 경우, V_x , 및 $V_y \cdot k$ 로부터 계산되는 자석 회전자의 회전 각도 θ_{meas} 는, 식(12)와 같이 표현된다.

$$\tan \theta_{meas} = V_y \cdot k / V_x = k \sin \theta_{mag} / \cos \theta_{mag} = k \tan \theta_{mag} = k \tan[\tan^{-1}\{\sin \theta_e / (K' \cdot \cos \theta_e)\}] \quad \text{식 (12)}$$

[0090]

[0091] 식(12)의 \tan 와 \tan^{-1} 을 생략하면 식(13)과 같이 된다.

$$\tan \theta_{meas} = k \sin \theta_e / (K' \cdot \cos \theta_e) = (k/K') \tan \theta_e \quad \text{식 (13)}$$

[0092]

[0093] 식(13)으로부터, θ_{meas} 는 식(14)와 같이 나타내는 것이 가능하다.

$$\theta_{meas} = \tan^{-1}\{(k/K') \tan \theta_e\} \quad \text{식 (14)}$$

[0094]

[0095] 식(14)에서, k/K' 가 1에 가까울수록 θ_{meas} 와 θ_e 는 가까운 값으로 되어 양자의 오차가 없어진다. k 와 K' 가 같아지면 $k/K' = 1$ 로 되고, \tan 와 \tan^{-1} 을 생략하여 $\theta_{meas} = \theta_e$ 로 된다. 즉, $k = K'$ 로 하면 θ_{meas} 과 θ_e 의 오차를

가장 작게 할 수 있다. 즉, 자석 회전자로부터의 반경 방향과 회전 방향의 자속 밀도 진폭이 상이한 경우, 센서 디바이스의 출력에 적절한 전압 진폭 보정을 행함으로써 검출 각도의 오차를 저감시키는 것이 가능하다. 검출 위치는 상기 설명에 있어서는 자석 회전자의 직(直) 가로로 하였으나, 자석에 대한 센서 디바이스의 상대 위치는, 센서 디바이스가 동작하는 자속 밀도의 범위 내에 있어서 임의이다. 즉, 자석으로부터 센서를 반경 방향으로 멀리한 경우에도, 센서를 자석의 회전축 방향으로 이동한 경우에도, 센서 디바이스의 감자면 내에서 직교하는 2개의 감자축 방향의 자속 밀도 진폭비가 변화할 뿐이며, 상기 자속 밀도 진폭비 K'의 값은 일의적으로 결정된다.

[0096] (2) 수정 계수 k

[0097] 수정 계수 k는 3가지 방법에 의해 구할 수 있다.

[0098] (i) 자석의 형상 및 실측(實測)으로부터 결정한 K'값을 사용하는 방법

[0099] 자석의 회전에 따라 자석 회전자의 주변에서 검출되는 자속 밀도는, 자석의 종류 및 형상에 따라 일의적으로 결정된다. 그러므로, 설계 단계에서 자석의 종류 및 형상, 센서의 위치 및 설치 각도를 결정하면, 센서 브리지의 감자면 내에서 직교하는 2개의 자속 밀도 성분의 진폭비 K'는 결정된다. 따라서, 시뮬레이션이나 실측에 의해 K'를 구하고, 이 값을 수정 계수 k로서 사용한다.

[0100] (ii) 센서의 출력으로부터 구한 k'값을 사용하는 방법

[0101] 소정의 위치에 센서를 설치하고, 자석 회전자를 일정 속도로 회전시킨 경우, 센서 디바이스의 출력 파형은 주기 함수로 된다. 자석 회전자로부터 발생하는 자속 밀도가 정현파형이라도, 감자면 내에서 직교하는 자속 밀도의 진폭비가 상이하므로, 센서 출력은 고조파를 포함한 파형으로 된다. 센서 브리지로부터의 출력을 푸리에 전개하면, 하기의 식(1-1) 및 식(1-2)에 의해 표현된다.

$$V_x = a_1 \cos \theta_{\text{mag}} + a_3 \cos 3 \theta_{\text{mag}} + a_5 \cos 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(1-1)}$$

$$V_y = b_1 \sin \theta_{\text{mag}} + b_3 \sin 3 \theta_{\text{mag}} + b_5 \sin 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(1-2)}$$

[0102]

[0103] 식(1-1) 및 식(1-2)에 있어서, V_x 는 자석 회전자의 반경 방향을 감자축으로 하는 센서 브리지의 출력 전압, V_y 는 자석 회전자의 회전 방향을 감자축으로 하는 센서 브리지의 출력 전압이다. 각 출력 전압의 5차 이후의 고조파의 영향은 경미하기 때문에, 3차 고조파까지를 고려한 경우, 진폭 조정 비율 k'의 값은 하기의 식(2)에 의해 표현된다.

$$k' = (a_1 - a_3)/(b_1 + b_3) \quad \text{식(2)}$$

[0104]

[0105] 이 진폭 조정 비율 k'를 수정 계수 k로서 사용한다.

[0106] 식(1-1) 및 식(1-2)와 식(2)와의 관계에 대하여 상세하게 설명한다.

[0107] 진폭 조정 비율 k'는, 식(1-1) 및 식(1-2)의 센서 브리지의 출력 전압의 출력 진폭을 정규화한 V_x 및 V_y 의 기본파 성분과 3차 고조파 성분으로부터 구한 값이며, V_x 출력의 기본파 푸리에 계수를 a_1 , 3차 고조파 푸리에 계수를 a_3 , V_y 출력의 기본파 푸리에 계수를 b_1 , 3차 고조파 푸리에 계수를 b_3 로 하여 식(2)에 의해 구할 수 있다. 이 진폭 조정 비율 k'는 자속 밀도의 진폭비 K'와 같은 값이다. 이하에 그 증명을 행한다.

[0108] 지금, 회전 방향의 자속 밀도 진폭에 의해 정규화된 y 방향의 자속 밀도 순간값을 y_0 이라고 한다. x방향의 자속 밀도 진폭이 y 방향의 그것과 같은 경우의 순간값을 x_0 로 하면, x방향의 자속 밀도 진폭이 K'배인 경우에는, 도 26에 나타낸 바와 같이, x방향의 자속 밀도 순간값은 $K'x_0$ 로 된다. 즉, (x_0, y_0) 의 점은 $x = \cos \theta, y = \sin \theta$ 로 표현되는 원 상에 있고, $(K'x_0, y_0)$ 의 점은 $x = K' \cdot \cos \theta', y = \sin \theta'$ 로 표현되는 타원 상에 있다. 여기서, x_0, y_0, K', θ 및 θ' 의 관계는, 하기의 식(15-1) 및 식(15-2)와 같이 된다.

$$\tan \theta' = y_0 / (K'x_0) \quad \text{식(15-1)}$$

$$\tan \theta = y_0 / x_0 \quad \text{식(15-2)}$$

[0109]

[0110] 이들 식으로부터 $\tan \theta = K' \cdot \tan \theta'$ 가 도출된다. 또한, 도 26으로부터 명백한 바와 같이, 하기의 식(16-1) 내지 식(16-4)가 도출된다.

$$\cos \theta' = K' x_0 / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \quad \text{식(16-1)}$$

$$\cos \theta = x_0 / (x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \quad \text{식(16-2)}$$

$$\sin \theta' = y_0 / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \quad \text{식(16-3)}$$

$$\sin \theta = y_0 / (x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \quad \text{식(16-4)}$$

[0111]

[0112] 또한, 식(16-1) 내지 식(16-4)로부터, 식(17)이 도출된다.

$$\begin{aligned} \cos \theta' &= K' x_0 / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2} \\ &= \{K' x_0 / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \cdot \{(x_0^2 + y_0^2)^{1/2} / (x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \\ &= \{K' (x_0^2 + y_0^2)^{1/2} / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \cdot \{x_0 / (x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \\ &= \{K' (x_0^2 + y_0^2)^{1/2} / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \cdot \cos \theta \quad \text{식(17)} \end{aligned}$$

[0113]

[0114] 마찬가지로, $\sin \theta'$ 를 계산하면, 식(18)이 도출된다.

$$\sin \theta' = \{(x_0^2 + y_0^2)^{1/2} / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2}\} \cdot \sin \theta \quad \text{식(18)}$$

[0115]

[0116] 여기서, 식(19)와 같이 C를 정의하면,

$$(x_0^2 + y_0^2)^{1/2} / (K'^2 x_0^2 + y_0^2)^{1/2} = C \quad \text{식(19)}$$

[0117]

[0118] $\cos \theta'$ 및 $\sin \theta'$ 는 각각, $\cos \theta' = K' \cdot C \cdot \cos \theta$ 및 $\sin \theta' = C \cdot \sin \theta$ 로 변형시킬 수 있다. 이들이, 출력 전압을 정규화한 센서 브리지 출력에 상당하고, $V_x = \cos \theta'$ 및 $V_y = \sin \theta'$ 이다.

[0119] 한편, V_x 와 V_y 와의 각각에 대하여, 교류분만을 고려하여 푸리에 전개하고, 유의(有意)한 항만을 남기면 하기의 식(20) 및 식(21)을 얻을 수 있다.

$$V_x = a_1 \cos \theta_{\text{mag}} + a_3 \cos 3 \theta_{\text{mag}} + a_5 \cos 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(20)}$$

$$V_y = b_1 \sin \theta_{\text{mag}} + b_3 \sin 3 \theta_{\text{mag}} + b_5 \sin 5 \theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식(21)}$$

[0120]

[0121] 상기 식에 있어서의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 는, 각각 푸리에 계수이며, 하기의 식(22-1) 내지 식(22-4)에 의해 표현된다.

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K' \cdot C \cos \theta \cos \theta d\theta \quad \text{식(22-1)}$$

$$a_3 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K' \cdot C \cos \theta \cos 3\theta d\theta \quad \text{식(22-2)}$$

[0122]

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C \sin \theta \sin \theta d\theta \quad \text{식(22-3)}$$

$$b_3 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C \sin \theta \sin 3\theta d\theta \quad \text{식(22-4)}$$

[0123]

[0124] 따라서, $(a_1 - a_3)/(b_1 + b_3)$ 의 값은, 식(23)과 같이 된다.

$$\frac{a_1 - a_3}{b_1 + b_3} = \frac{\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K' C \cos \theta \cos \theta d\theta - \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K' C \cos \theta \cos 3\theta d\theta}{\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C \sin \theta \sin \theta d\theta + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C \sin \theta \sin 3\theta d\theta}$$

$$= K' \frac{\int_0^{2\pi} C \cos \theta (\cos \theta - \cos 3\theta) d\theta}{\int_0^{2\pi} C \sin \theta (\sin \theta + \sin 3\theta) d\theta} \quad \text{식 (23)}$$

[0125]

[0126] 여기서, 분모의 적분 내는 하기 식(24)로 된다.

$$\begin{aligned} C \sin \theta (\sin \theta + \sin 3\theta) &= C \sin \theta (\sin \theta + 3\sin \theta - 4\sin^3 \theta) \\ &= C \sin \theta \cdot 4(\sin \theta - \sin^3 \theta) \\ &= 4C \sin^2 \theta (1 - \sin^2 \theta) \\ &= 4C \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad \text{식 (24)} \end{aligned}$$

[0127]

[0128] 한편, 분자의 적분 내는 하기 식(25)로 된다.

$$\begin{aligned} C \cos \theta (\cos \theta + \cos 3\theta) &= C \cos \theta \{ \cos \theta - (4\cos^3 \theta - 3\cos \theta) \} \\ &= C \cos \theta \cdot 4(\cos \theta - \cos^3 \theta) \\ &= 4C \cos^2 \theta (1 - \cos^2 \theta) \\ &= 4C \cos^2 \theta \sin^2 \theta \quad \text{식 (25)} \end{aligned}$$

[0129]

[0130] 적분 내의 분자와 분모가 같으므로, 식(23)은 식(26)인 것이 증명된다.

$$(a_1 - a_3)/(b_1 + b_3) = K' = k' \quad \text{식 (26)}$$

[0131]

[0132] 이같이 하여 직교하는 감자축을 가지는 스핀 밸브형 거대 자기 저항 효과 소자(SVGMR 소자) 브리지의 출력 파형의 기본파 및 3차 고조파의 푸리에 계수에 의해 구한 진폭 조정 비율 k'를 수정 계수 k로서 사용한다.

[0133] 그리고, V_y 의 파형의 위상이 V_x 의 파형보다 약 90도 진행하고 있는 경우에는, 수정 계수 k를 식(27)의 식으로 나타내는 것도 가능하다.

$$k = (|a_1| - |a_3|)/(|b_1| + |b_3|) \quad \text{식 (27)}$$

[0134]

[0135] V_x 와 V_y 는, 푸리에 전개할 때 sin와 cos를 교체하여 하기와 같이 표기할 수도 있다. 즉, V_x 및 V_y 의 각각에 대하여, 교류분만을 고려하여 푸리에 전개하고, 유의한 항만을 남기면 식(28) 및 식(29)를 얻을 수 있다.

$$V_x = c_1 \sin \theta_{\text{mag}} + c_3 \sin 3\theta_{\text{mag}} + c_5 \sin 5\theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식 (28)}$$

$$V_y = d_1 \cos \theta_{\text{mag}} + d_3 \cos 3\theta_{\text{mag}} + d_5 \cos 5\theta_{\text{mag}} + \dots \quad \text{식 (29)}$$

[0136]

[0137] 이 경우, 증명은 생략하지만 k는 식(30)에 의해 표현된다.

$$k = (c_1 + c_3)/(d_1 - d_3) \quad \text{식 (30)}$$

[0138]

- [0139] 그리고, V_x 및 V_y 의 위상 관계는, 센서의 배치 방법이나 회전자의 회전 방향에 따라 변화되므로, V_x 및 V_y 의 1차의 푸리에 계수가 어느 한 쪽, 또는 양쪽이 마이너스로 되는 경우도 있을 수 있다. 그 경우라도 같은 수식 내에서의 1차의 계수와 3차의 계수와의 부호는 함께 변하므로 식 전체의 절대값을 취하는 것에 의해 k 는 플러스의 수로 된다.
- [0140] (iii) k 에 대한 기계각 오차의 변화율로부터 구하는 방법
- [0141] 수정 계수 k 로서 임의의 값을 2점 이상(바람직하게는 3점 이상) 설정하고, 각각의 값을 실제로 출력 전압값에 곱하여 기계각을 산출하고, 실제의 자석 회전자의 기계각과 비교하여 기계각 오차를 구하고, 그 각 점의 결과로부터 최적의 수정 계수 k 를 얻는다. 이 때, 만일 설정한 2점 이상의 k 값과 그에 대한 기계각 오차와의 관계는 적당한 근사식(예를 들면, 직선 근사)을 사용하여 최소 제곱법으로 구하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 도 28에 나타난 바와 같이, 만일 설정한 5점의 수정 계수($k_1 = 1.5$, $k_2 = 1.6$, $k_3 = 1.7$, $k_4 = 1.8$ 및 $k_5 = 1.9$)를 사용하여 기계각 오차를 구하고, 가로축에 수정 계수 k 의 값, 세로축에 기계각 오차의 값을 취하여 그래프화하고, 각각의 측정값에 근접하는 직선을 얻는 것으로 기계각 오차가 0 deg.로 되는 수정 계수 k 를 구할 수 있다. 도 28에 나타난 경우에는, $K = 1.7$ 일 때 기계각 오차가 0 deg.로 된다.
- [0142] (3) 실시 형태
- [0143] (i) 수정 계수 k 의 산출
- [0144] 수정 계수 k 는, 예를 들면, 도 3의 개념도에 나타난 방법에 의해 산출할 수 있다. 자석 회전자 근방의 원하는 위치에 설치한 센서 디바이스(32)에 의해 자석 회전자(31a)의 회전에 따른 자속의 방향을 검지하고, 센서 브리지로부터의 출력 전압(V_x , V_y)을 오실로스코프(oscilloscope)(27b)에 의해 측정한다. 얻어진 측정값을 퍼스널 컴퓨터(28b)에 입수하고, 전기각 1주기의 푸리에 연산에 의해, 상기 식(1-1), 식(1-2) 및 식(2)를 사용하여 k' 를 산출한다. 이 방법은, 센서 디바이스(32)에 장착한 후에 보정이 가능하므로, 장착 위치의 어긋남에 의한 기계각 오차의 증가를 억제할 수 있어, 실용상 편리한 방법이다. 통상, 수정 계수 k 는 이 k' 그 자체의 값을 이용하면 된다.
- [0145] (ii) 진폭 보정 방법 1
- [0146] 회전 각도 검출 장치의 일 실시 형태를 도 4에 개념적으로 나타낸다. 6극쌍 자석 근방의 원하는 위치에 설치한 센서 디바이스(32)에 의해 자석 회전자(31a)의 회전에 따른 자속의 방향을 검지하고, 센서 브리지로부터의 출력 전압(V_x , V_y)을 각각 A-D 변환(아날로그-디지털 변환)하고, 변환 후 V_y 에 미리 산출하여 둔 수정 계수 k 를 곱하고, 이 출력 전압(V_x , $k \cdot V_y$)을 각도 연산부(28)에 의해 역정점 연산함으로써 각도를 검출한다. 이 방법은, 전압 조정을 디지털로 행하므로, 전단(前段)의 전자 회로를 단순하게 구성할 수 있는 데 더하여 A-D 변환의 측정 범위를 최대로 취할 수 있는 것이다.
- [0147] (iii) 진폭 보정 방법 2
- [0148] 회전 각도 검출 장치의 다른 일 실시 형태를 도 5에 개념적으로 나타낸다. 6극쌍 자석 근방의 원하는 위치에 설치한 센서 디바이스(32)에 의해 자석 회전자(31a)의 회전에 따른 자속의 방향을 검지하고, A-D 변환 보정부(27)에 입력하기 전에 센서 브리지의 출력 전압 V_x 만 미리 산출하여 둔 수정 계수 k 로 나누어(즉, 가변 저항기를 사용하여 분압하여), A-D 변환 보정부(27)에 입력한다. 이들 출력 전압(V_x/k , V_y)을 각도 연산부(28)에 의해 역정점 연산함으로써 각도를 검출한다. 이 방법은, 검출 각도와 실제의 회전 각도를 평가하면서, 수정 계수 k 를 결정할 수 있는 것이다.
- [0149] (iv) 진폭 보정 방법 3
- [0150] 회전 각도 검출 장치의 또 다른 일 실시 형태를 도 6에 개념적으로 나타낸다. 6극쌍 자석 근방의 원하는 위치에 설치한 센서 디바이스(32)에 의해 자석 회전자(31a)의 회전에 따른 자속의 방향을 검지하고, 센서 브리지의 출력 전압(V_x , V_y)의 변화를 각각 오피 앰프(26a, 26b)의 증폭 회로에 입력한다. 그 때, V_x 의 증폭률을 A 로 하고, V_y 의 증폭률을 $A \cdot k$ 로 하여 전압을 조정한다. 그 후, A-D 변환 보정부(27)에 입력하고, 출력 전압($A \cdot V_x$, $k \cdot A \cdot V_y$)을 각도 연산부(28)에 의해 역정점 연산함으로써 각도를 검출한다. 이 방법은, 센서 브리지 출력을 증폭할 수 있으므로, 증폭부를 차동으로 함으로써, 내노이즈성을 향상시킬 수 있는 등의 장점이 있다.

- [0151] 본 발명을 이하의 실시예에 의해 보다 상세하게 설명하지만, 본 발명은 이들에 한정되는 것은 아니다.
- [0152] [실시예 1]
- [0153] 1극쌍 자석 회전자를 사용한 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 자석 회전자로서 직경 26mm 및 축방향 두께 5mm의 NdFeB계 본드 자석을 사용하고, 센서 디바이스는 자석 외주의 표면으로부터 5mm 떨어진 개소에 배치하였다. 1극쌍 자석을 사용하였으므로, 도 7a에 나타난 바와 같이, 자석 회전자 1회전(기계각 360 deg.)에 대하여 1주기의 센서 브리지 출력을 얻을 수 있었다(전압 조정 전). 이 출력을 푸리에 전개하여 전술한 식(1-1), 식(1-2) 및 식(2)에 의해 k' 를 구한 바, $k' = 1.70$ 이었다. 이 k' 를 수정 계수 k 로 하여 V_y 에 곱하여, 도 7b에 나타난 바와 같은 출력 $k \cdot V_y$ 를 얻었다. 도 7a 및 도 7b의 출력 파형을 각각 역정적 연산하여 각도 오차를 평가한 결과, 도 7c에 나타난 바와 같이, 전압 조정 전은 ± 15 deg. 정도 발생하고 있었던 기계각 오차를, 전압 조정을 행함으로써 ± 0.5 deg. 정도로 저감할 수 있었다.
- [0154] [실시예 2]
- [0155] 4극쌍 자석 회전자를 사용한 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 자석 회전자로서 외측 직경 40mm, 내측 직경 34mm 및 축방향 두께 4mm의 NdFeB계 본드 자석을 사용하고, 센서 디바이스는 자석 외주의 표면으로부터 5mm 떨어진 개소에 배치하였다. 4극쌍 자석을 사용하였으므로, 도 8a에 나타난 바와 같이, 자석 회전자 1회전(기계각 360 deg.)에 대하여 4주기의 센서 브리지 출력을 얻을 수 있었다(전압 조정 전). 이 출력의 전기각 1주기(기계각으로 90deg.)를 푸리에 전개하여 실시예 1과 마찬가지로 하여 k' 를 구한 바, $k' = 1.67$ 이었다. 이 k' 를 수정 계수 k 로 하여 V_y 에 곱하여 도 8b에 나타난 바와 같은 출력 $k \cdot V_y$ 를 얻었다. 도 8a 및 도 8b의 출력 파형을 각각 역정적 연산하여 각도 오차를 평가한 결과, 도 8c에 나타난 바와 같이, 전압 조정 전은 ± 3.5 deg. 정도 발생하고 있었던 기계각 오차를, 전압 조정을 행함으로써 ± 0.4 deg. 정도로 저감할 수 있었다.
- [0156] [실시예 3]
- [0157] 8극쌍 자석 회전자를 사용한 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 자석 회전자로서, 외측 직경 120mm, 내측 직경 112mm 및 축방향 두께 6mm의 NdFeB계 본드 자석을 사용하고, 센서 디바이스는 자석 외주의 표면으로부터 6mm 떨어진 개소에 배치하였다. 8극쌍 자석을 사용하였으므로, 도 9a에 나타난 바와 같이, 자석 회전자 1회전(기계각 360 deg.)에 대하여 8주기의 센서 브리지 출력을 얻을 수 있었다(전압 조정 전). 이 출력의 전기각 1주기(기계각으로 45 deg.)를 푸리에 전개하여 실시예 1과 마찬가지로 하여 k' 를 구한 바, $k' = 1.67$ 이었다. 이 k' 를 수정 계수 k 로 하여 V_y 에 곱하여 도 9b에 나타난 바와 같은 출력 $k \cdot V_y$ 를 얻었다. 도 9a 및 도 9b의 출력 파형을 각각 역정적 연산하여 각도 오차를 평가한 결과, 도 9c에 나타난 바와 같이, 전압 조정 전에는 ± 1.8 deg. 정도 발생하고 있었던 기계각 오차를, 전압 조정을 행함으로써 ± 0.2 deg. 정도로 저감할 수 있었다.
- [0158] (전압 조정값 변화에 의해 발생하는 오차)
- [0159] 극대수 N 가 1, 4 및 8의 자석 회전자를 구비한 본 발명의 회전 각도 검출 장치에 있어서, 수정 계수 k 를 변화시켰을 때의 기계각 오차의 계산 결과를 도 10에 나타낸다. 여기서, 센서 브리지 감자면의 위치에서의 직교하는 자속 밀도의 진폭비 K' 를 1.70으로 하였다. 어느 극대수의 자석 회전자에 있어서도, 수정 계수 k 를 자속 밀도 진폭비 K' 와 동등하게 하는 것에 의해 기계각 오차는 최소로 되었다. 극대수 N 을 증가시키면, 기계각 오차가 $1/N$ 로 되므로, 수정 계수 k 의 어긋남에 의한 오차의 증가는 억제된다. 예를 들면, 기계각 오차의 절대값을 5 deg. 이하로 할 필요가 있는 경우, 허용되는 수정 계수 k 의 어긋남은 $\pm 0.3N$ (N 은 자석 회전자의 극대수) 정도이므로, $k = K' \pm 0.3N$ 의 범위로 하는 것이 바람직하다. k 의 값은, $k = K' \pm 0.2N$ 의 범위인 것이 보다 바람직하고, $k = K' \pm 0.1N$ 의 범위인 것이 가장 바람직하다. 또한, 기계각 오차의 절대값을 1 deg. 이하로 할 필요가 있는 경우, 허용되는 수정 계수 k 의 어긋남은 $\pm 0.06N$ (N 은 자석 회전자의 극대수) 정도로 된다. 이 허용량이 클수록, 공업적으로 이용하기 쉽다고 말할 수 있다. 또한, 기계각 오차의 절대값을 0.5 deg. 이하로 하는 데는, 허용되는 수정 계수 k 의 어긋남은 $\pm 0.03N$ 으로 된다. 또한, 자속 밀도 진폭비 K' 를 1.4 및 1.7의 각각의 경우의, 수정 계수 k 에 대한 전기각 오차의 계산 결과를 도 11에 나타낸다. 각도 오차는 자속 밀도 진폭비 K' 를 1.7로 했을 때도, 1.4로 했을 때도 대략 동일한 범위로 되었다.
- [0160] [실시예 4]
- [0161] 6극쌍 자석 회전자(외측 직경 50mm, 내측 직경 45mm 및 축방향 두께 4mm의 NdFeB계 본드 자석)에 있어서의 자석 반경 방향의 자속 밀도 진폭 B_{\perp} , 회전 방향의 자속 밀도 진폭 $B_{//}$, 및 양자로부터 구한 자속 밀도 진폭비 K' 의

측정 위치 의존성을 평가했다. 자석 회전자 외주 표면의 자석 두께 방향 중앙부를 기준 위치로 하고, x축 방향(회전축과 수직인 방향)으로 r_1 어긋나게 한 위치에서의 B_{\perp} , $B_{//}$ 및 K'의 측정 결과를 도 12에 나타낸다. 자석 회전자로부터 발생하는 자속 밀도 진폭은 B_{\perp} 가 크고, 자속 밀도 진폭비 K'는 측정 범위 내에 있어서 1.4 내지 1.9였다.

[0162] 또한, $r_1 = 3.5\text{mm}$ 의 위치로부터 z축 방향(회전축 방향)으로 h' 어긋나게 한 위치에서의 B_{\perp} , $B_{//}$ 및 K'의 측정 결과를 도 13에 나타낸다. h'의 값이 커짐에 따라 B_{\perp} 가 급격하게 감소하므로 K'도 크게 감소하고, $z = 4\text{mm}$ 이상에서 $B_{//}$ 쪽이 크게 되었다.

[0163] 상기 자석 회전자와 센서 디바이스를 사용하여 회전 각도 검출 장치를 구성하고, 임의의 측정 위치 r_1 에 있어서 얻어진 K'를 수정 계수 k로서 사용하여 진폭 보정 방법 1 내지 보정 방법 3에 적용한 바, 각도 오차를 억제한 회전 각도 검출 장치를 얻을 수 있었다. 이와 같이, 자석 회전자의 형상, 극대수, 센서 디바이스의 설치 위치를 결정하면, 자속 밀도 진폭비 K'를 용이하게 구할 수 있고, 그 값을 수정 계수 k로서 사용함으로써 각도 오차를 억제한 회전 각도 검출 장치를 제작할 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0164] 자석 회전자로서 1극쌍 자석을 사용했을 때의 자속과 센서 디바이스(32a)와의 위치 관계를 도 14a 및 도 14b에 나타낸다. 곡선형의 한쪽 화살표는, 2극의 원판형 자석(11)의 자극 표면으로부터 발생하는 자력선을 나타낸다. Z축은, 원판형 자석(11)의 중심 O(자석의 두께 중심점)을 원점으로 하여 자석의 회전 평면과 직교하는 축이며, 자석 회전자의 회전축에 상당한다. X축 및 Y축은, 상기 중심 O를 원점으로 하여 각각 Z축에 수직인 축이며, 도 14a에 나타난 위치 관계에 있을 때의 자석의 자화 방향을 X축으로 하고, 자화 방향과 직행하는 방향을 Y축으로 하였다. 센서 디바이스(32a)의 감자면의 중심은 자석 표면으로부터 r_1 떨어진 X축 상에 있고($z = 0$, $\phi = 0^\circ$), 그 감자면은 Z축과 직교하도록 ($\chi = 0^\circ$) 배치하였다. 이 때, 센서 디바이스(32a)는 반경 방향의 자속 밀도 성분 B_r 만을 받고 있다. θ_m 은 자석 회전자의 회전 각도에 상당한다. 예를 들면, 도 14a의 상태의 원판형 자석(11)을 원주 방향으로 기계각 θ_m 으로 90deg.만큼 회전시키면, 센서 디바이스(32a)는 회전 방향의 자속 밀도 성분 B_θ 만을 받게 된다.

[0165] 센서 디바이스는, 예를 들면, 도 14c에 나타난 바와 같이, 다양한 위치에 배치할 수 있다. 도 14c는, 3종류의 회전 각도 검출 장치에서의 센서 디바이스(32b, 32b', 32b'')의 위치 관계를 알기 쉽게 하기 위해 편의상 중첩시켜 나타낸 것이다. 센서 디바이스(32b)는, X-Y 평면 상($Z = 0$)에 센서 디바이스의 감자면의 중심을 배치하고, 그 감자면을 X-Y 평면에 대하여 χ 만큼 경사지게 했다. 센서 디바이스(32b')는, X-Y 평면으로부터 z축 방향으로 h' 떨어진 위치(센서 배치 각 ϕ' 의 위치)에 센서 디바이스의 감자면의 중심을 배치하고, 그 감자면을 X-Y 평면에 대하여 χ' 만큼 경사지게 하였다. 센서 디바이스(32b'')의 위치에 있어서, 자속의 방향은 X축으로부터 ε' 경사져 있다. 이 경우에도, 회전 방향은 지면 수직 방향이며, 반경 방향은 상방향이다. 센서 디바이스(32b'')는, 그 감자면의 중심이 자석 회전자의 원판형 자석의 회전축선 상에 있고($\phi'' = 90\text{deg.}$), 감자면이 X-Y 평면과 평행($\chi'' = 180\text{ deg.}$)이다. 이 위치에서의 자속의 방향 $\varepsilon'' = 180\text{ deg.}$ 이다. 그리고, 원판형 자석(11)을, z축 방향의 두께 t를 크게 한 원기둥형 자석, 중심에 관통공을 형성한 링형 자석, 또는 직사각형 판형 자석으로 치환해도, 1극쌍 자석이면 전술한 각도 등의 정의는 마찬가지로 성립된다.

[0166] 자석 회전자로서 4극쌍 자석을 사용했을 때의 자속과 센서 디바이스와의 위치 관계를 도 15a 및 도 15b에 나타낸다. 직선형의 굵은 화살표는 자석 회전자의 링형 영구 자석(31b)의 각 자극 내의 자화의 방향을 나타내고, 곡선형의 굵은 화살표는 자극 표면으로부터 발생하는 자속을 나타낸다. λ 는 표면 자속 밀도 분포를 측정했을 때의 신호의 1파장(전기각 θ_e 으로 360 deg.)에 상당하고, 링형 영구 자석(31b)에서는 한 쌍의 자극 표면의 주위 방향 길이에 상당한다. Z축은, 링형 영구 자석(31b)의 구멍의 중심 O를 통하여 자석의 회전 평면과 직교하는 축이며, 자석 회전자의 회전축에 상당한다. X축 및 Y축은, 상기 중심 O를 원점으로 하여 각각 Z축에 수직인 축이며, 도 15a에 나타난 위치 관계에 있을 때의 자석의 자화 방향을 X축으로 하고, 자화 방향과 직행할 방향을 Y축으로 했다. 센서 디바이스(32c)의 감자면의 중심은 링형 영구 자석(31b)의 표면으로부터 r_1 떨어진 X축 상에 있고($z = 0$, $\phi' = 0^\circ$), 그 감자면은 Z축과 직교하도록($\chi = 0^\circ$) 배치하였다. 이 때, 센서 디바이스(32c)는 X축의 방향의 자속을 받고 있다. 링형 영구 자석(31b)을 주위 방향으로 전기각 θ_e 으로 90deg.만큼 회전시켰을 때, 센서 디바이스(32c)는 링형 영구 자석(31b)의 자극 사이에 위치하고, 센서 디바이스(32c)는 Y축의 방향의 자속을 받게 된다.

- [0167] 도 15c에 나타낸 센서 디바이스(32d)는, 자속의 측정 방향을 자석 회전자의 반경 방향(또는 회전 방향)으로부터 ξ 만큼 경사지게 한 것이다. 이와 같은 경우라도, ξ 가 10° 이내이면 수정 계수 k는 상기와 같이 산출한 값을 채용할 수 있다. 즉, 센서 브리지의 검출 방향이 자석 회전자의 반경 방향(또는 회전 방향)으로부터 다소 어긋나 있었다고 해도, 수정 계수 k는 자석 회전자의 반경 방향 및 회전 방향에서의 진폭비, 또는 이들 파형을 푸리에 전개한 식(1-1) 및 식(1-2)의 a_1 , a_3 , b_1 및 b_3 의 수치로부터 구해지는 값을 채용할 수 있다.
- [0168] 센서 디바이스는, 예를 들면, 도 15d에 나타낸 바와 같이 몇 개소의 위치에 배치할 수 있다. 도 15d는, 3종류의 회전 각도 검출 장치에서의 센서 디바이스(32e, 32e', 32e")의 위치 관계를 알기 쉽게 하기 위해 편의상 중첩시켜 나타낸 것이다. 센서 경사각 χ , 센서 배치각 ϕ' , 센서 경사각 χ' , h' 및 ε' 의 정의는 도 14c와 같다. 이 링 자석의 구멍에는 회전축으로 되는 샤프트를 고정시킬 수 있다.
- [0169] [실시예 5]
- [0170] 실시예 3의 회전 각도 검출 장치를 적용한 회전기를 도 16에 모식적으로 나타낸다. 이 회전기는 모터이며, 프레임(73c) 내에는, 중심축으로서 샤프트(71b)를 가지는 12극의 영구 자석의 로터(71a)와, 프레임(73c)의 내주면에 고정된 고정자용 코일(73b)이 설치된 고정자(73a)를 가진다. 샤프트(71b)는 베어링(도시하지 않음)을 통하여 프레임(73c)에 회전 가능하게 지지되어 있다. 자석 회전자(71c)는, 상기 로터(71a)와 인접하도록 샤프트(71b)에 동축으로 설치하고, 센서 디바이스(72a)는 지지부(72d)를 통하여, 상기 자석 회전자(71c)의 직(直) 가로로 배치되도록 프레임(73c)에 고정하였다. 상기 자석 회전자(71c)로부터 인가되는 자속의 방향을 상기 센서 디바이스(72a)로 검지하고, 그 출력을 연산 회로(72c)로 처리하고, 자석 회전자(71c)의 회전 각도를 출력하였다.
- [0171] [비교예 1]
- [0172] 2극으로 착자된 자석 회전자의 원판형 자석(11)의 외주에, 도 17a 및 도 17b에 나타낸 바와 같이 센서 디바이스(2b)를 배치한 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 여기서는 원판형 자석(11)의 중심 0을 원점으로 하고, 회전축을 Z축으로 한 원기둥 좌표계를 사용하여 설명한다. 원판형 자석(11)은 직경 $2r_0 = 26\text{mm}$, 축방향 두께 $t = 8\text{mm}$ 이며, 중심 부분에 샤프트(11c)를 가지고 있다. 센서 디바이스(2b)는, 전술한 센서 디바이스(2a)와 동등한 것을 사용하고, 중심 0을 통하여 회전축선에 수직인 평면 상(즉, $z = 0$)에 감자면의 중심이 위치하도록 배치하였다. Z축으로부터 센서 디바이스(2b)의 중심까지의 거리(r_0+r_1)는 23mm였다. 센서 디바이스(2b)의 감자면은 회전축의 방향으로 향했다(즉, $\phi = 0 \text{ deg.}$ 및 $\chi = 0 \text{ deg.}$ 로 하였다). 회전 가능하게 설치한 자석 회전자의 원판형 자석(11)을 센서 디바이스(2b)에 대하여 회전시켰던 바, 도 17c에 나타낸 바와 같이, 센서 디바이스(2b)의 출력 전압은 정현파로는 되지 않고, 센서 브리지(A01)(반경 방향)의 출력은 대략 사다리꼴파로 되고, 센서 브리지(B01)(회전 방향)의 출력은 대략 삼각파로 되었다. 연산 회로에서 출력 전압에 수정 계수 k를 곱하는 처리는 행하지 않는다. 그 결과, 도 17d에 나타낸 바와 같이, 역정점 연산 신호는 직선으로는 되지 않고, $\pm 20 \text{ deg.}$ 정도라는 매우 큰 전기각의 오차가 발생하였다.
- [0173] [참고예 1]
- [0174] 도 18a 및 도 18b에 나타낸 바와 같이, 센서 디바이스(2b)의 감자면을 $\chi = 55 \text{ deg.}$) 이외에는 비교예 1과 마찬가지로 하여 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 이 회전 각도 검출 장치의 회전 각도 특성을 비교예 1과 마찬가지로 하여 측정 한 바, 도 18c 및 도 18d에 나타낸 바와 같이, 각 센서 브리지로부터의 출력은 대략 여현파 및 대략 정현파로 되고, 각도 오차는 $\pm 4 \text{ deg.}$ 정도였다. 센서 디바이스를 경사지게 하여, 출력 파형의 고조파 성분을 감소시킴으로써, 비교예 1에 대하여 큰 각도 검출 정밀도의 개선을 볼 수 있어, 수정 계수 k를 이용하지 않고 각도 오차를 저감할 수 있는 것을 알았다.
- [0175] [참고예 2]
- [0176] 도 19a 및 도 19b에 나타낸 바와 같이, 센서 디바이스(2b)를 회전축 방향으로 $h = 15\text{mm}$ 이동하여 설치한 것 이외에는 비교예 1과 마찬가지로 하여 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 회전축(z축)으로부터 센서 디바이스(2b)의 중심(감자면의 중심)까지의 거리(r_0+r_1)는 23mm였다. 이 회전 각도 검출 장치의 회전 각도 특성을 비교예 1과 마찬가지로 하여 측정한 바, 도 19c 및 도 19d에 나타낸 바와 같이, 약간 각도 오차가 발생하였지만, 비교예 1에 대하여 현저하게 각도 오차를 억제할 수 있었다. 이 회전 각도 검출 장치의 센서 배치각 ϕ 은 약 33 deg. 이며, 최적 센서 배치각 ϕ_{best} 로부터는 2 deg. 이상 어긋나 있으므로, 약간 각도 오차가 발생한 것으로 생각된다. 이 회전 각도 검출 장치를 모터에 적용한 바, 회전 각도를 고정밀도로 검출할 수 있었다. 센서 디바

이스를 z 방향으로 어긋나게 하여, 출력 파형의 고조파 성분을 감소시킴으로써, 수정 계수 k를 이용하지 않고 각도 오차를 저감할 수 있는 것을 알았다.

[0177] [비교예 2]

[0178] 다극의 링 자석(21)의 외주에, 도 20a 및 도 20b에 나타난 바와 같이, 센서 디바이스(2b)를 배치한 회전 각도 검출 장치를 제작하였다. 링 자석(21)은, 외주면에 12극의 자극을 가지고, 내경 = 22.5mm, 외경 = 25mm 및 축 방향 두께 t = 4mm였다. 링 자석(21)의 내주면 측에는, 링형 연자성체의 요크를 가지고, 그 관통공에 샤프트를 고정하였다. 링형 연자성체의 요크 및 샤프트는 도시는 생략하고 있다. 링 자석(21)의 외주로부터 센서 디바이스(2b) 중심까지의 거리는 약 3mm이며, 센서 디바이스(2b)는 센서 경사각 $\chi = 0 \text{ deg.}$ 로 배치하였다. 링 자석(21)은 12극 착차이므로, 기계각으로 360 deg. 회전시키면 6주기의 출력을 얻을 수 있었다. 즉, 기계각이 60 deg.에서 전기각의 1주기로 된다. 연산 회로에서 출력 전압에 수정 계수 k를 곱하는 처리는 행하지 않는다. 이 회전 각도 검출 장치($\chi = 0 \text{ deg.}$)의 경우, 불균일 상태에 차이는 있지만, 비교예 1의 회전 각도 검출 장치와 마찬가지로, 센서 브리지(A01)(반경 방향)의 출력이 대략 사다리꼴파로 되고, 센서 브리지(B01)(회전 방향)의 출력이 대략 삼각파로 되었다(도 20c를 참조). 그 결과, 도 20d 및 도 20e에 나타난 바와 같이, 전기각 1주기당의 각도 오차는 $\pm 10 \text{ deg.}$ 이상으로 매우 큰 값이었다.

[0179] [참고예 3]

[0180] 도 21a 및 도 21b에 나타난 바와 같이, 센서 디바이스(2b)를 센서 경사각 $\chi = 55 \text{ deg.}$ 로 배치한 것 이외에, 비교예 2와 마찬가지로 하여 회전 각도 검출 장치를 구성하였다. 이 회전 각도 검출 장치에 있어서는, 각 센서 브리지로부터의 출력은, 도 21c에 나타난 바와 같이 대략 정현파 및 대략 여현파이며, 전기각의 각도 오차는, 도 21d 및 도 21e에 나타난 바와 같이 $\pm 3 \text{ deg.}$ 정도로 되고, 비교예 2에 비해 큰 각도 오차의 개선을 볼 수 있었다. 이 회전 각도 검출 장치를 모터에 적용한 바, 회전 각도를 고정밀도로 검출할 수 있었다.

[0181] [참고예 4]

[0182] 도 22a 및 도 22b에 나타난 바와 같이, 회전축으로부터 센서 디바이스(2b)의 중심(감자면의 중심)까지의 거리 r_s 가 24mm, 회전축 방향에 대한 이동 거리 h = 4mm의 위치에 센서 디바이스(2b)를 설치하고, 센서 경사각 $\chi = 24.6 \text{ deg.}$ 로 경사지게 한 것 이외에, 비교예 2와 마찬가지로 하여 회전 각도 검출 장치를 구성하였다. 이 회전 각도 검출 장치를 모터에 적용한 바, 회전 각도를 고정밀도로 검출할 수 있었다.

[0183] [실시예 6]

[0184] 비교예 1, 참고예 1, 참고예 2 및 실시예 6의 센서 디바이스를, 각각 센서 디바이스(2b₁, 2b₂, 2b₃ 및 2b₄)로 하고, 이들 위치 관계로부터 알 수 있도록 도 23에 중첩하여 나타낸다. 여기서, 자석 회전자의 2극의 원판형 자석(11)은 공통된다. 전술한 바와 같이, 센서 디바이스의 배치를, 비교예 1(센서 디바이스(2b₁))로부터 참고예 1 또는 참고예 2(센서 디바이스(2b₂) 또는(2b₃))와 같이 변경하면 각도 오차를 저감할 수 있었지만, 센서 디바이스를 경사지게 하거나, z 방향으로 크게 어긋나게 하거나 하는 것이, 회전 각도 검출 장치를 축방향으로 박형화하는 데 불리한 경우가 있다. 그래서, 센서 디바이스의 z 방향 거리 h를 작게 하고, 감자면을 자석 회전자의 축과 직교시킨 센서 디바이스(2b₄)를 가지는 회전 각도 검출 장치(실시예 6)를 제작하고, 전술한 진폭 보정 방법 1의 방법을 적용하여 회전 각도 검출을 행하였다. 참고예 1 또는 참고예 2의 배치(센서 디바이스(2b₂) 또는(2b₃))로부터 실시예 6의 위치(센서 디바이스(2b₄))로 센서 디바이스에 의해 어긋나게 하면 각도 오차는 크게 되었지만, 또한 연산 회로에서 출력 전압에 수정 계수 k를 곱하는 처리를 행함으로써, 참고예 1 또는 참고예 2에 비해 실시예 6은 각도 오차를 작게 할 수 있었다. 그리고, 실시예 6은, 참고예 1 또는 참고예 2와 마찬가지로 출력 파형의 고조파 성분을 감소시킴으로써 각도 오차를 저감하고 있었다.

[0185] [실시예 7 및 실시예 8]

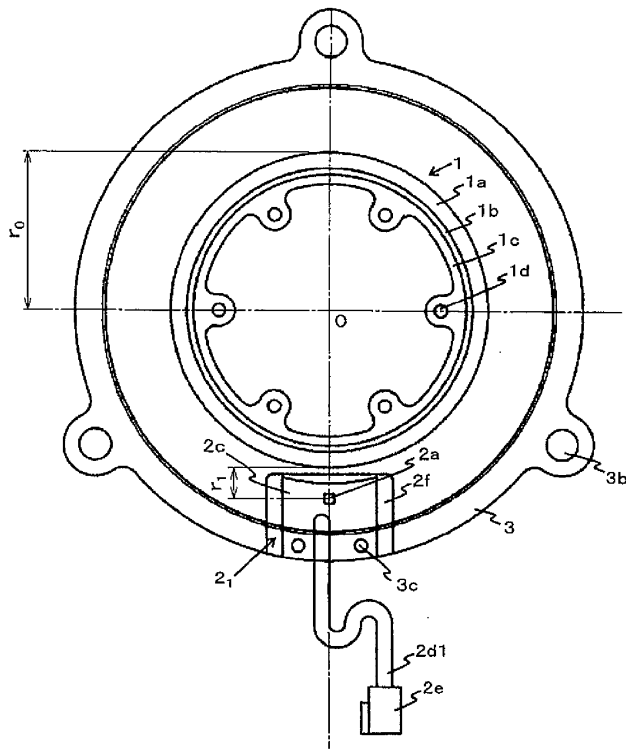
[0186] 비교예 2, 참고예 3, 참고예 4, 실시예 7 및 실시예 8의 센서 디바이스를, 각각 센서 디바이스(2b₁₁, 2b₁₂, 2b₁₃, 2b₁₄ 및 2b₁₅)로 하고, 이들 위치 관계로 알 수 알 수 있도록, 도 24에 중첩하여 나타낸다. 여기서, 자석 회전자의 12극의 링 자석(21)은 공통된다. 전술한 바와 같이, 센서 디바이스의 배치를 비교예 2(센서 디바이스(2b₁₁))로부터 참고예 3 또는 참고예 4(센서 디바이스(2b₁₂) 또는(2b₁₃))와 같이 변경하면, 각도 오차를 저감할 수 있었지만, 참고예 3 또는 참고예 4와 같이 센서 디바이스를 배치하는 데는, 그 경사면이 축방향으로 돌출된

장착용 부품이 필요하므로, 회전 각도 검출 장치를 축방향으로 박형화하는 데 불리한 경우가 있다. 그래서, 센서 디바이스의 감자면을 자석 회전자의 축과 직교시킨, 실시예 7 또는 실시예 8(쇄선으로 표시한 센서 디바이스(2b₁₄) 또는 센서 디바이스(2b₁₅))의 회전 각도 검출 장치를 제작하고, 전술한 진폭 보정 방법 1의 방법을 적용하여 회전 각도 검출을 행하였다. 참고예 3 또는 참고예 4의 배치(센서 디바이스(2b₁₂) 또는 (2b₁₃))로부터 실시예 7 또는 실시예 8의 위치(센서 디바이스(2b₁₄) 또는 (2b₁₅))로 센서 디바이스에 의해 어긋나게 하면 각도 오차는 크게 되었지만, 또한 연산 회로에서 출력 전압에 수정 계수 k를 곱하는 처리를 행함으로써, 참고예 3 또는 참고예 4에 비해서도 실시예 7 또는 실시예 8의 각도 오차를 작게 할 수 있었다.

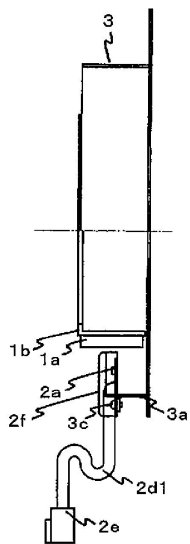
[0187] 센서 디바이스를 설치한 위치에 있어서, 자석 회전자의 형성하는 B_⊥과 B_{//}를 측정하고 자속 밀도 진폭비 K'(= B_⊥/B_{//})를 얻는 방법을, 실시예 6의 회전 각도 검출 장치를 예로 들어 설명한다. 실시예 6의 센서 디바이스를 배치한 위치에 있어서, 자석 회전자의 형성하는 B_⊥와 B_{//}를 측정하고 있는 상태를 나타낸 모식도를 도 25에 나타낸다. 이 예에서는 자석 회전자로서 원판형 자석(11)을 사용하고 있지만, 링 자석(21)을 사용한 경우라도 측정 방법은 마찬가지이다. 먼저, 원판형 자석(11)에 대하여 센서 디바이스(2b₄)의 위치를 결정하고, 그 감자면의 중심(도 25에서는 쇄선이 직교하는 점)의 좌표를 구하였다. 그 다음에, 센서 디바이스(2b₄)를 분리하고, 대신에 홀 센서 프로브를 사용하여 B_⊥과 B_{//}를 측정하였다. 구체적으로는, 먼저 실선으로 나타낸 바와 같이, 홀 센서 프로브(41)의 감자 중심을 상기 감자면의 중심이었던 좌표에 맞추고, 또한 홀 센서 프로브(41)의 감자축을 원판형 자석(11)의 반경 방향으로 배치하고, 원판형 자석(11)을 회전시켜 B_⊥를 측정하였다. 그 다음에, 프로브를 90도 경사지게 하여, 점선으로 나타낸 바와 같이, 홀 센서 프로브(41)의 감자 중심을 상기 감자면의 중심이었던 좌표에 맞추고, 또한 홀 센서 프로브(41)의 감자축을 원판형 자석(11)의 회전 방향으로 배치하고, 원판형 자석을 회전시켜 B_{//}를 측정하였다. 측정한 B_⊥ 및 B_{//}로부터, K'(= B_⊥/B_{//})를 구하고, 그 값을 수정 계수 k로서 사용하였다. 어느 측정에서도 홀 센서 프로브(41)의 길이 방향을 자석 회전자의 축방향으로 직교시켰다. 도 25에서는 감자축이 홀 센서 프로브의 길이 방향으로 직교하고 있는 가우스 미터를 사용하였지만, 감자축이 홀 센서 프로브의 길이 방향과 평행인 가우스 미터를 사용하는 것도 가능하다.

도면

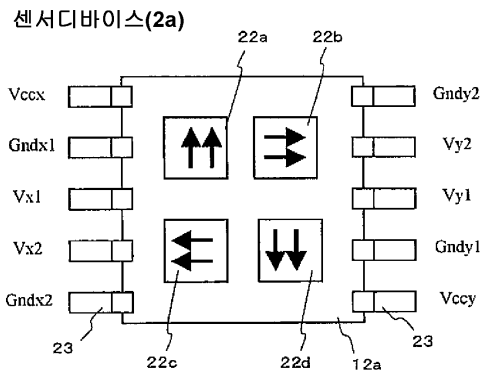
도면1a



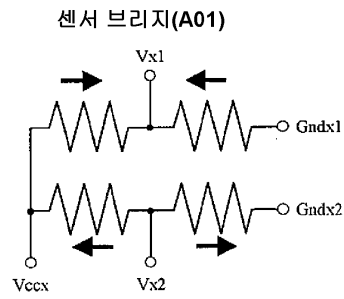
도면1b



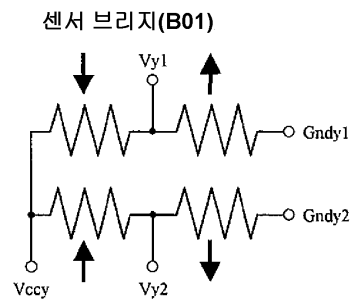
도면2a



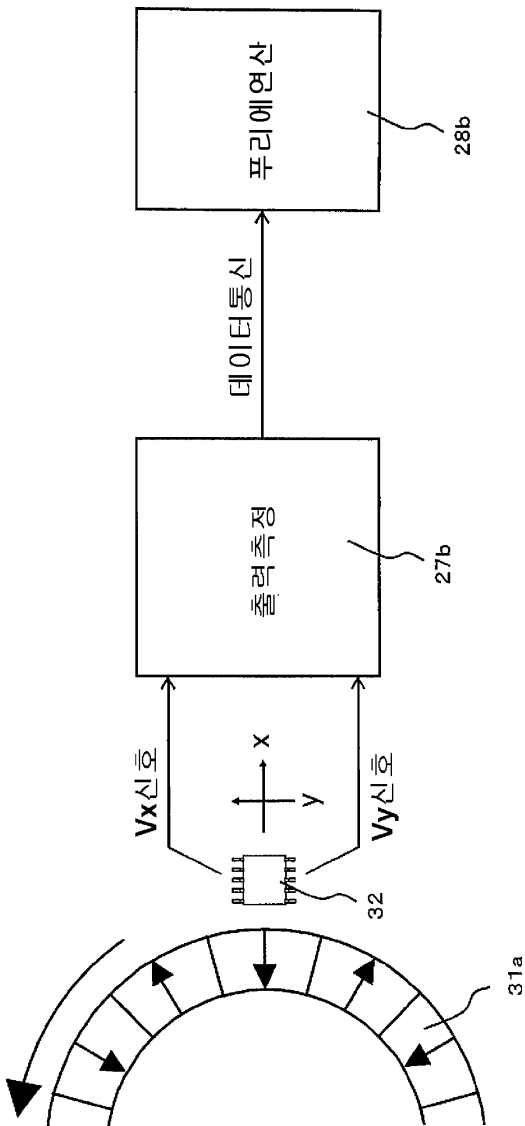
도면2b



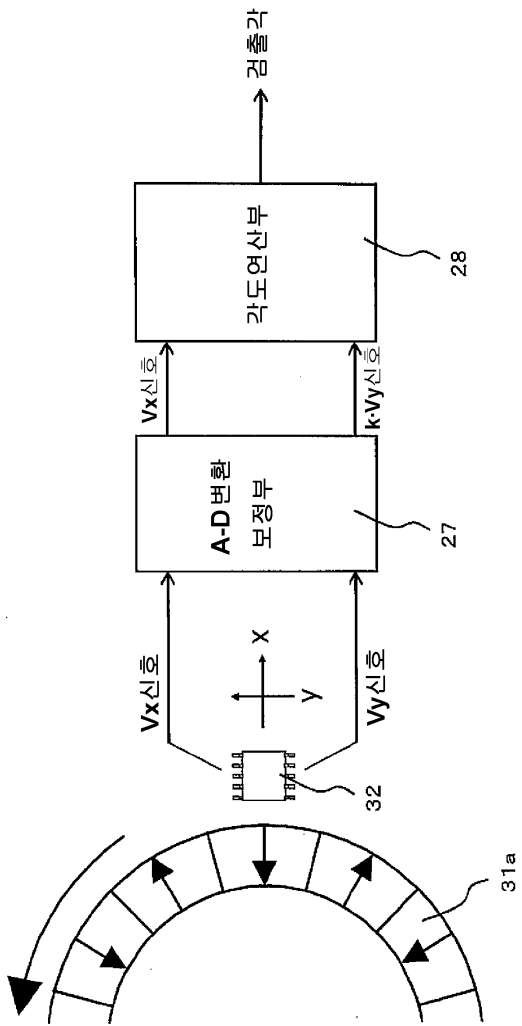
도면2c



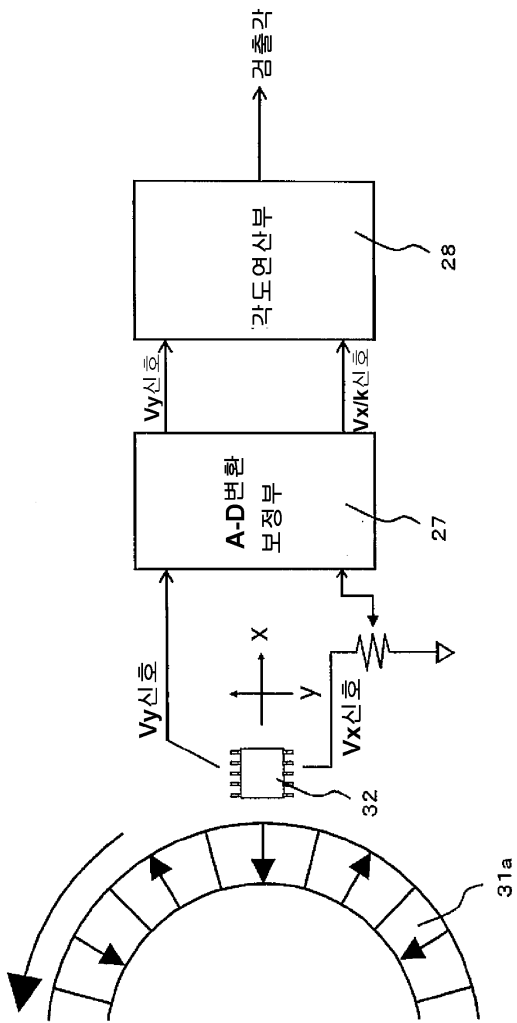
도면3



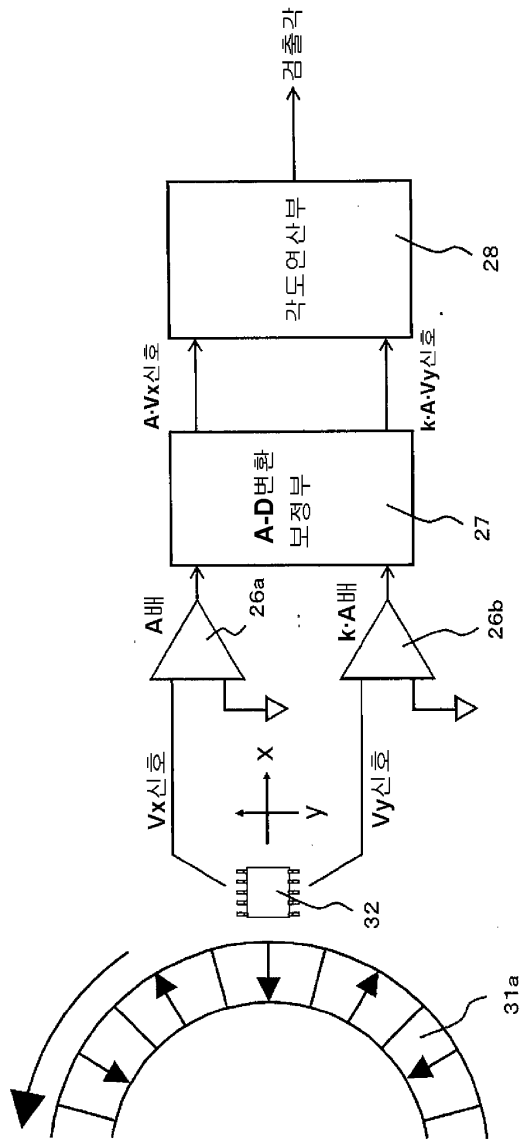
도면4



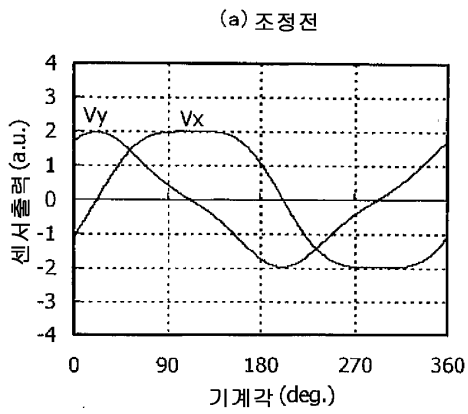
도면5



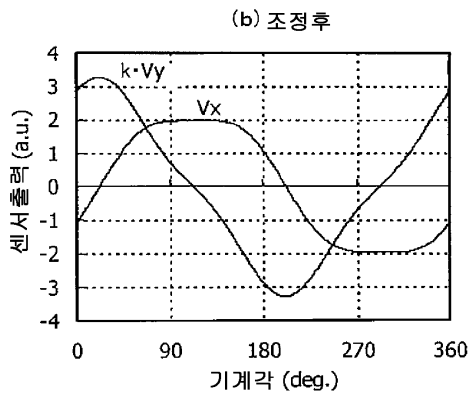
도면6



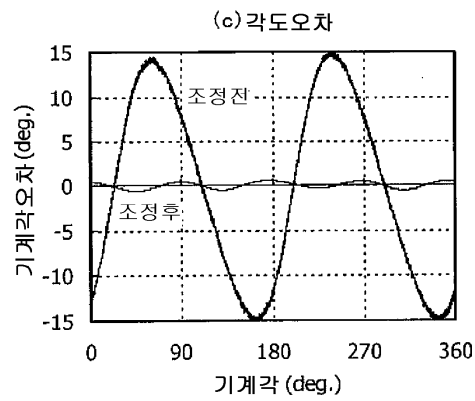
도면7a



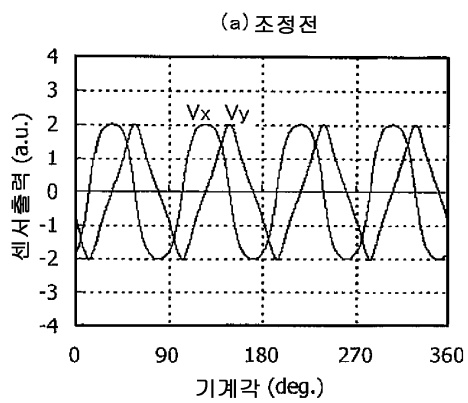
도면7b



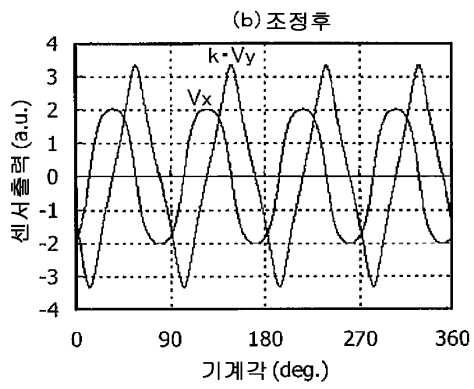
도면7c



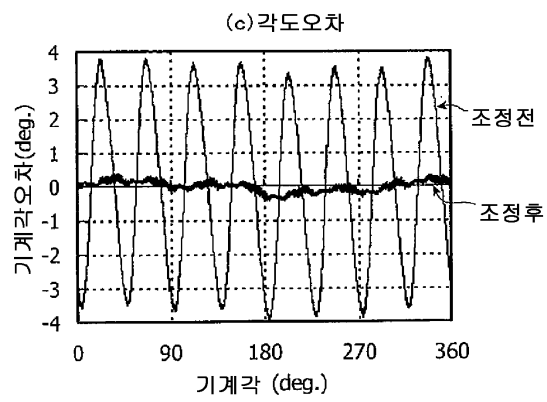
도면8a



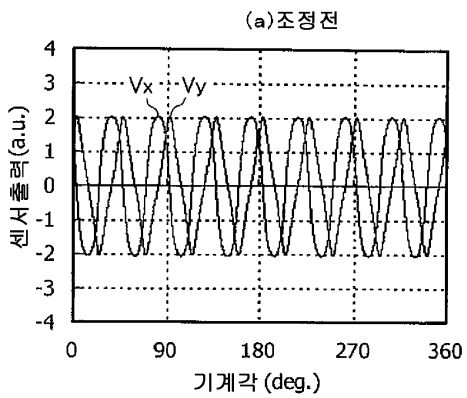
도면8b



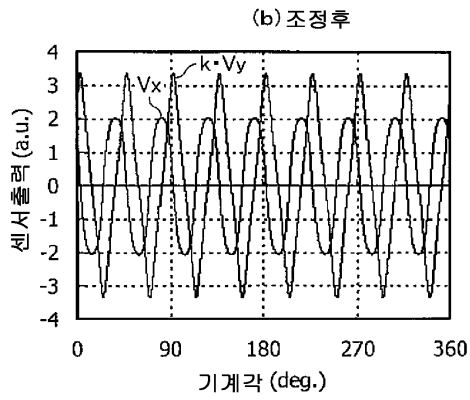
도면8c



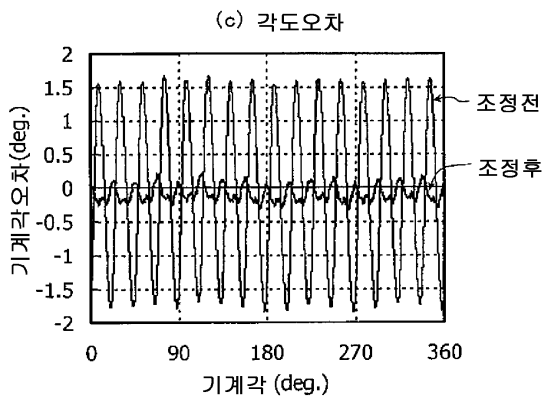
도면9a



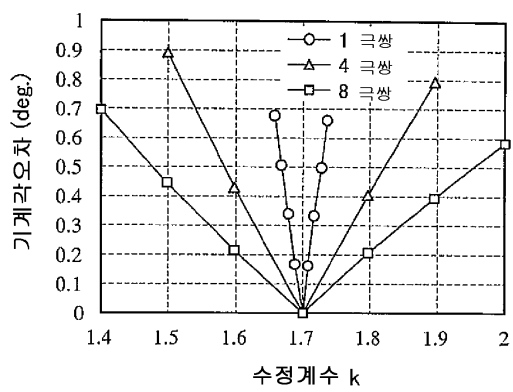
도면9b



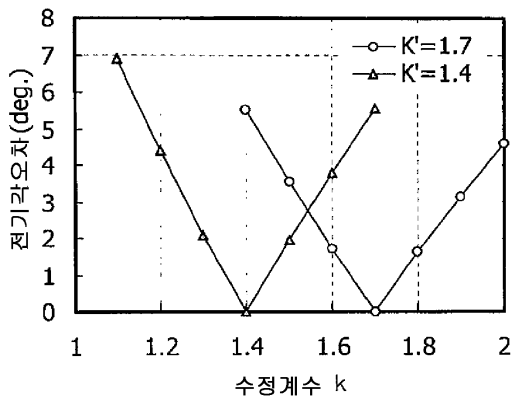
도면9c



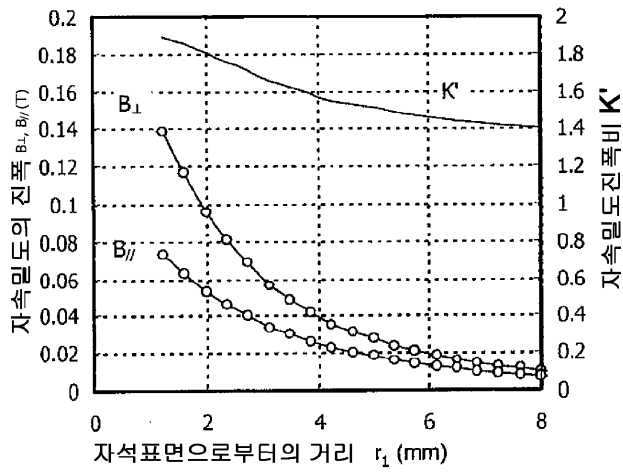
도면10



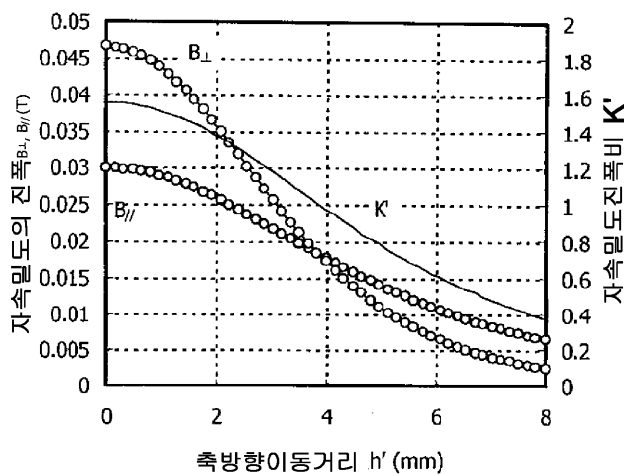
도면11



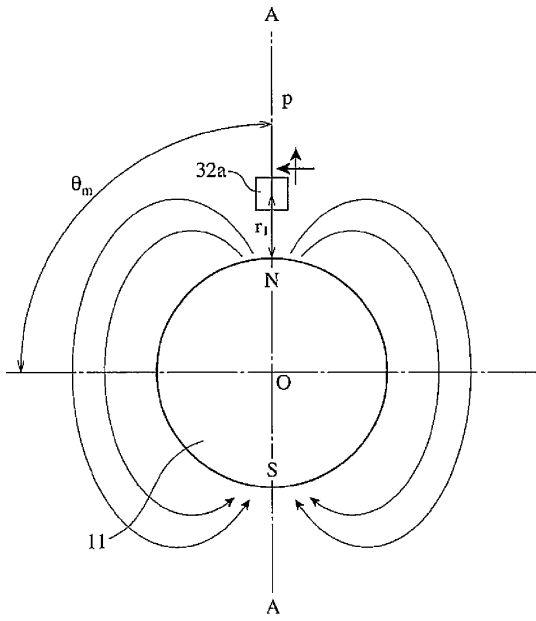
도면12



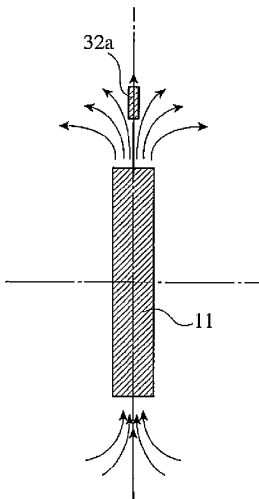
도면13



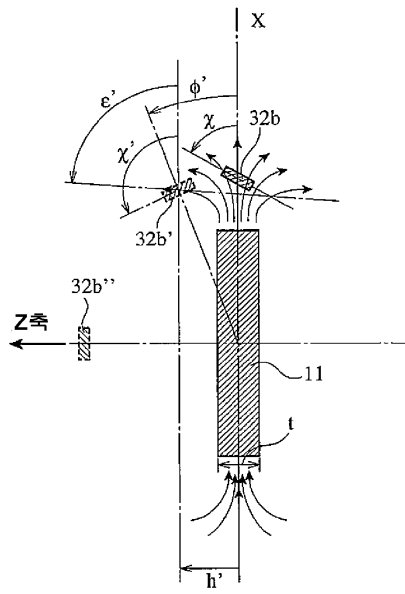
도면14a



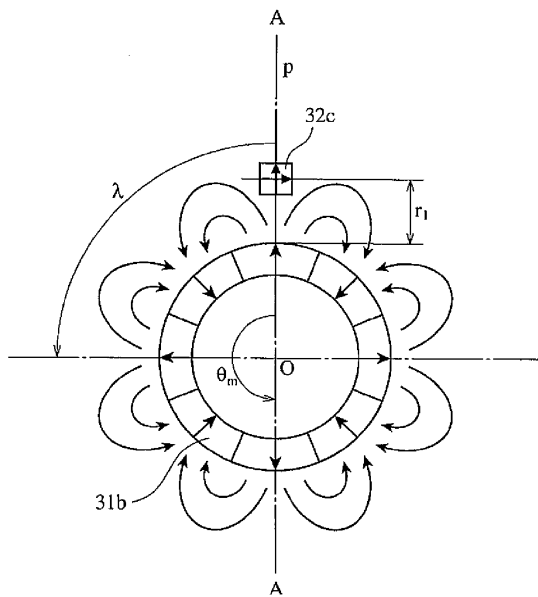
도면14b



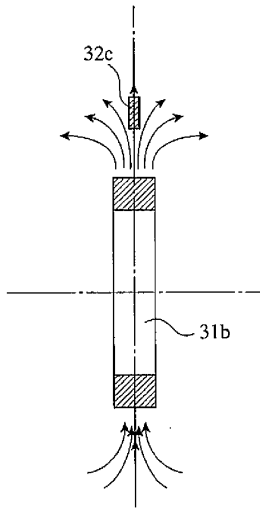
도면14c



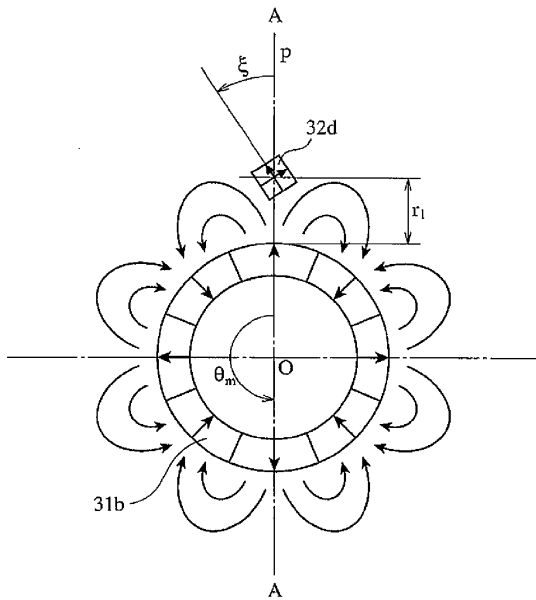
도면15a



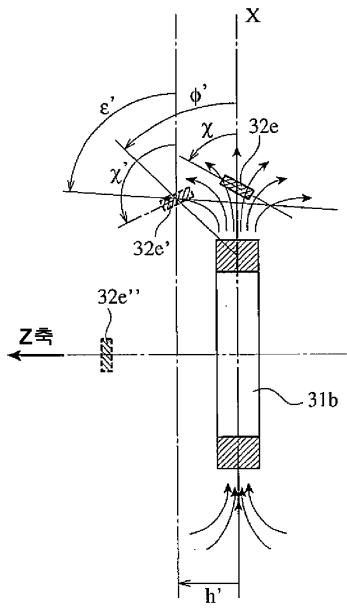
도면15b



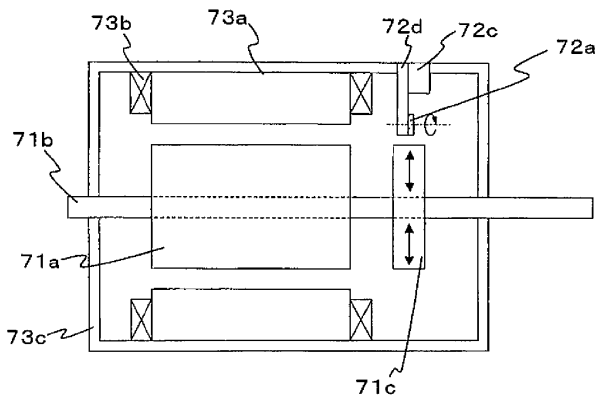
도면15c



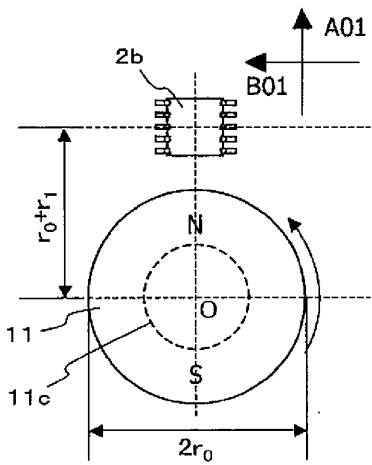
도면15d



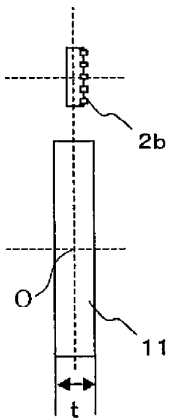
도면16



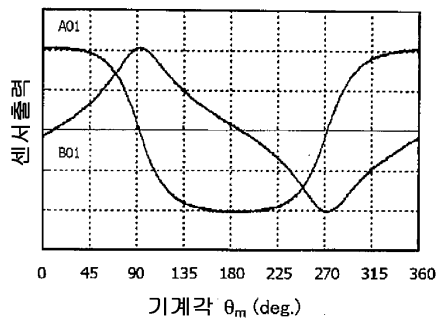
도면17a



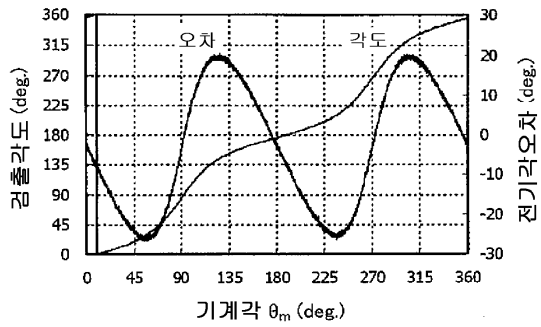
도면17b



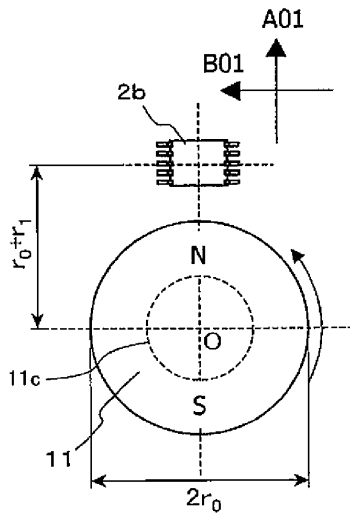
도면17c



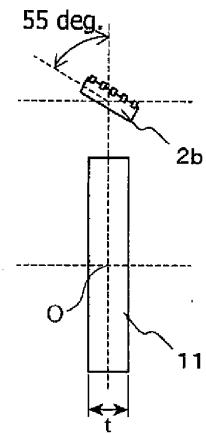
도면17d



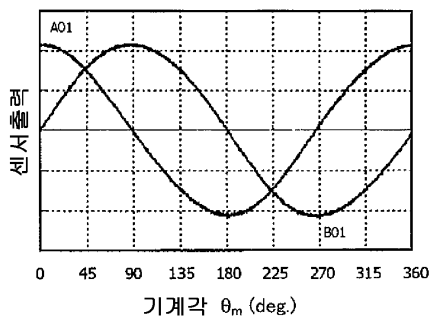
도면18a



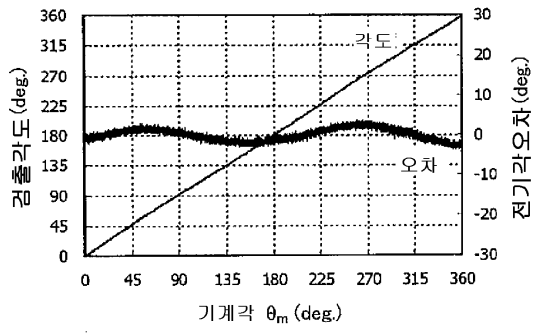
도면18b



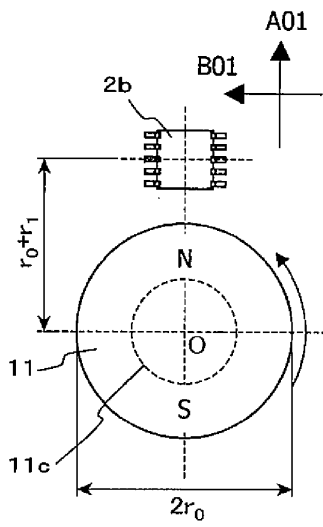
도면18c



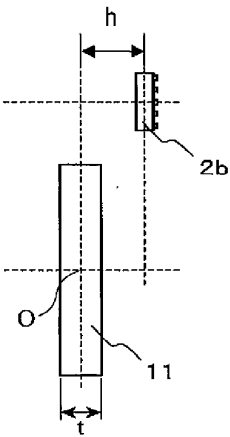
도면18d



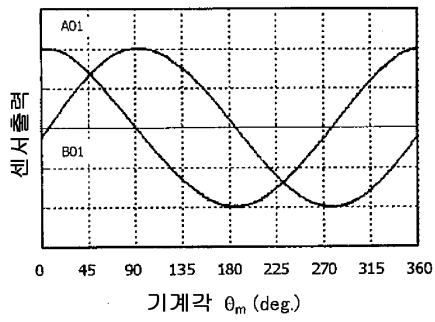
도면19a



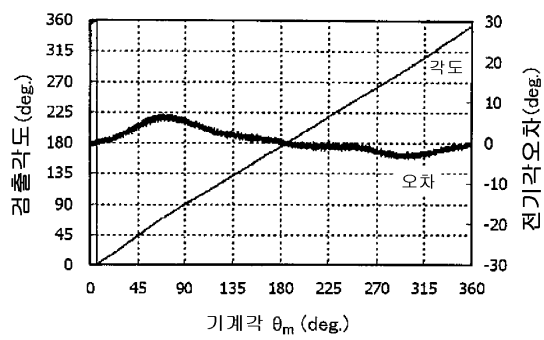
도면19b



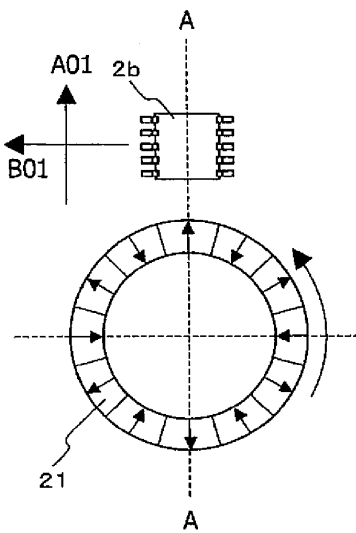
도면19c



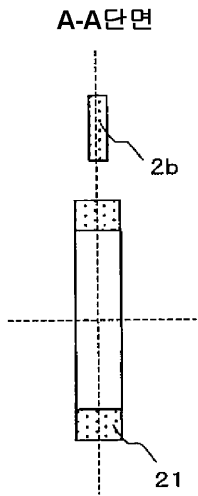
도면19d



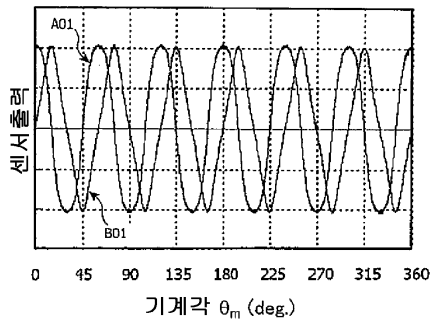
도면20a



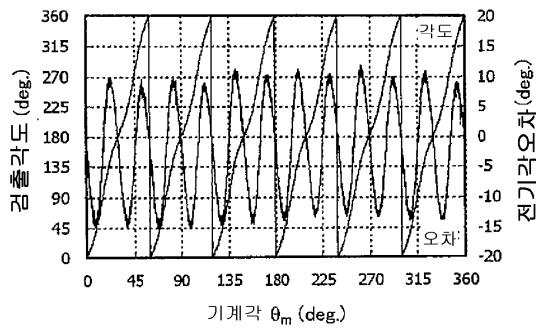
도면20b



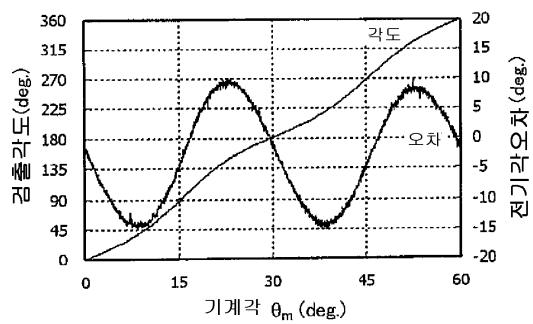
도면20c



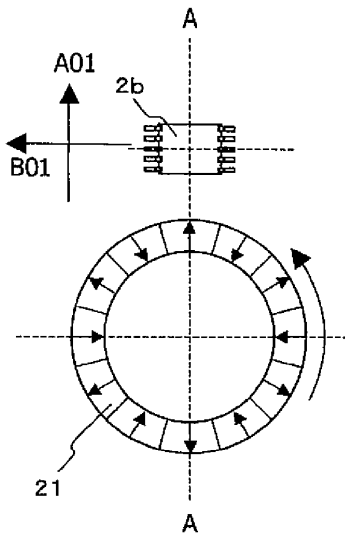
도면20d



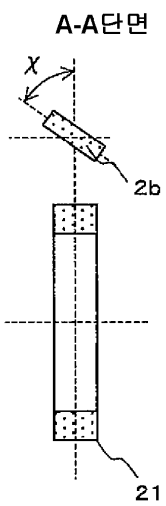
도면20e



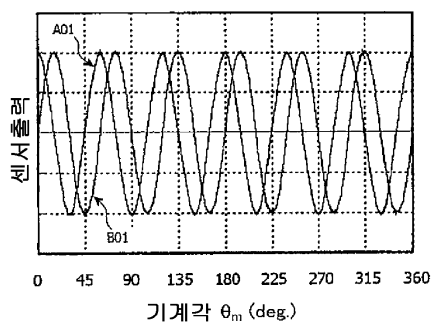
도면21a



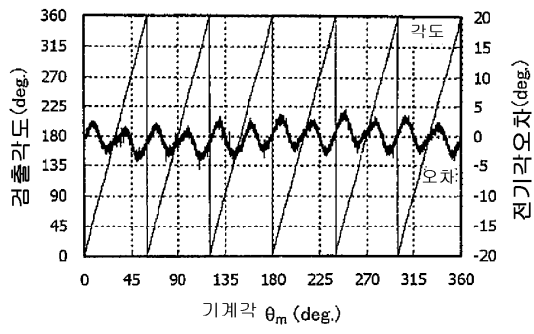
도면21b



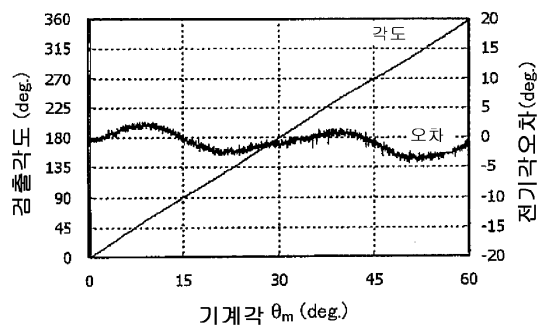
도면21c



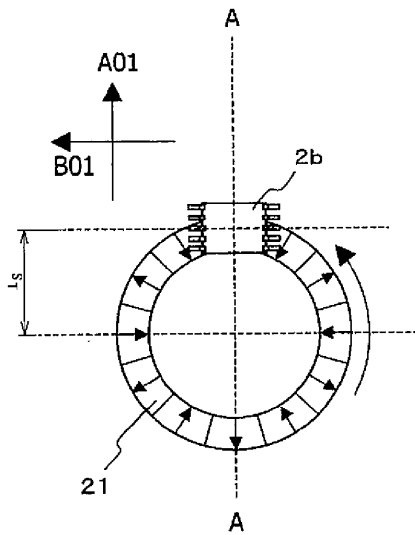
도면21d



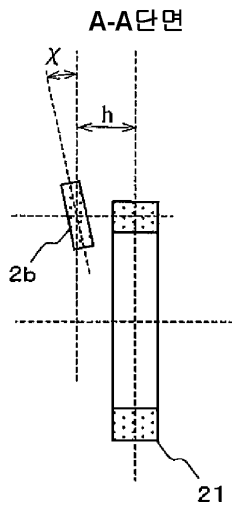
도면21e



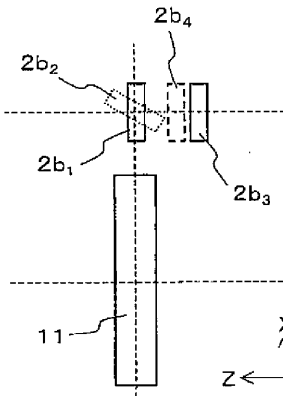
도면22a



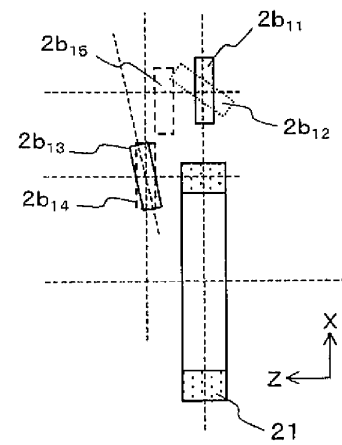
도면22b



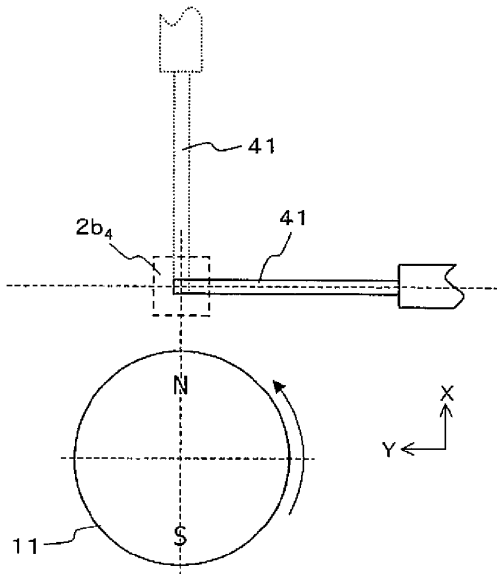
도면23



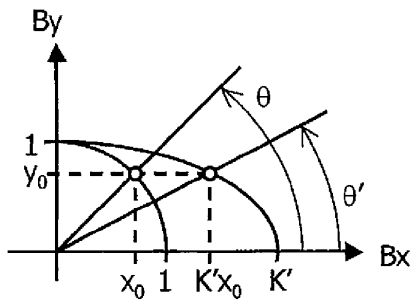
도면24



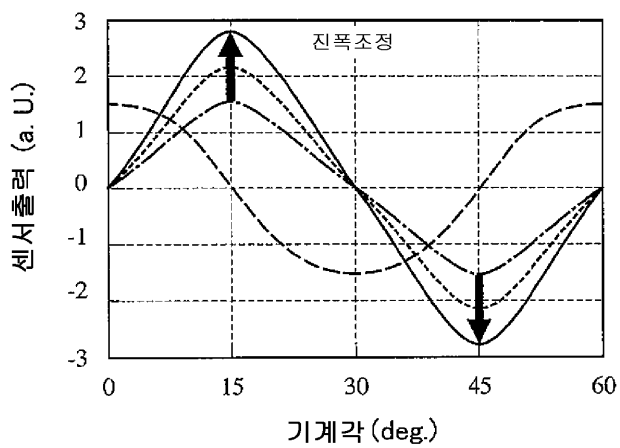
도면25



도면26



도면27



도면28

