



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0023714
(43) 공개일자 2009년03월05일

(51) Int. Cl.

G01D 5/14 (2006.01) G01D 3/02 (2006.01)

- (21) 출원번호 10-2009-7001157
- (22) 출원일자 2009년01월20일
심사청구일자 없음
번역문제출일자 2009년01월20일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2007/013011
국제출원일자 2007년05월13일
- (87) 국제공개번호 WO 2007/149200
국제공개일자 2007년12월27일
- (30) 우선권주장
11/425,567 2006년06월21일 미국(US)

(71) 출원인

알레그로 마이크로시스템스 인코포레이티드

미합중국 01615-0036 메사츄세츠 위세스터 115
노스이스트 컷오프

(72) 발명자

토마스, 모니카 제이.

미국 03103 뉴햄프셔주 맨체스터 프레몬트 스트리트 65

두그, 마이클 씨.

미국 03104 뉴햄프셔주 맨체스터 노스 아담스 스트리트 115

부스타니, 후먼

미국 03102 뉴햄프셔주 맨체스터 #30 컨트리 클럽 드라이브 14

(74) 대리인

박영우

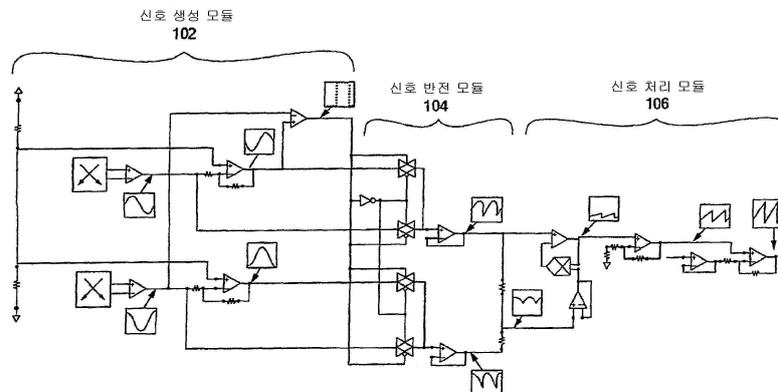
전체 청구항 수 : 총 40 항

(54) 아날로그 회전 센서 방법 및 장치

(57) 요약

센서는 위치 정보를 제공하기 위한 마그네틱(magnetic) 센서(sensor)를 구비하고 상기 위치 정보에 상응하는 제 1 및 제 2 파형을 생성하는 신호 생성 모듈을 포함한다. 아날로그 신호 처리 모듈은 상기 제 1 파형, 상기 제 2 파형, 제 1 반전 파형 및 제 2 반전 파형 세트를 대수학적으로 처리하여 선형 출력 신호를 생성한다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

위치 정보를 제공하기 위한 마그네틱(magnetic) 센서(sensor)를 구비하고 상기 위치 정보에 상응하는 제 1 및 제 2 파형을 생성하는 신호 생성 모듈; 및

상기 제 1 파형 및 상기 제 2 파형을 대수학적으로 처리하여 선형 위치 출력 전압 신호를 제공하는 아날로그 신호 처리 모듈을 포함하는 센서.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 신호 생성 모듈에 연결되어 상기 제 1 파형을 반전(inverting)하여 제 1 반전 파형을 제공하고 상기 제 2 파형을 반전하여 제 2 반전 파형을 제공하는 신호 반전 모듈을 더 포함하고, 상기 신호 반전 모듈은 제 1 영역에서는 상기 제 1 및 제 2 파형을 출력하고 제 2 영역에서는 상기 제 1 및 제 2 반전 파형을 출력하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 제 2 영역은 상기 제 1 및 제 2 파형의 반전 없이는 출력이 비선형적이 되는 위치 범위에 상응하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 또는 제 2 영역에서 위치 범위를 나타내는 영역 지시 비트를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 5

제 2 항에 있어서, 상기 제 1 영역은 약 180도의 범위를 가지는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 6

제 2 항에 있어서, 상기 제 1 영역은 $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 에 상응하는 것을 특징으로 하는 센서 (여기서 $-\sin(\theta)$ 는 오프셋 전압에 대한 상기 사인파의 반전을 나타내고, $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 는 상기 사인파형들과 관련된 진폭 및 오프셋을 구현하고, θ 는 상기 마그네틱 센서에서 회전하는 자석의 각도를 나타냄).

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 제 1 영역은 θ 가 약 315도부터 약 135도까지의 범위에 상응하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 8

제 2 항에 있어서, 상기 제 1 영역에서의 출력은 아래의 [수학식 1]과 같이 정의되는 것을 특징으로 하는 센서 (여기서 θ 는 상기 마그네틱 센서에서 회전하는 자석의 각도를 나타내고, $offset$ 은 상기 제 1 및 제 2 파형의 그라운드(ground)에 대한 수직 오프셋을 나타내고, A 는 상기 제 1 및 제 2 파형의 진폭을 나타내고, k 는 상기 출력의 이득(gain) 및 수직 오프셋에 영향을 주는 실수를 나타냄).

[수학식 1]

$$output = \frac{Asin(\theta) + offset}{\frac{1}{k}(Asin(\theta) + A\cos(\theta) + 2offset)}$$

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 신호 처리 모듈은 아날로그 곱셈기를 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 센서는 하나의 기판(substrate)위에 제공되는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 센서의 출력은 아래의 [수학식 2]와 같이 정의되는 것을 특징으로 하는 센서 (A는 상기 제 1 및 제 2 파형의 진폭을 나타내고, b는 상수를 나타내고, θ 는 상기 마그네틱 센서에서 회전하는 자석의 각도를 나타냄).

[수학식 2]

$$output = \frac{A \sin(\theta)}{A \cos(\theta) \pm Ab}$$

청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 복수의 자극쌍(pole-pair)들을 구비하는 자석을 포함하고, 최대 각도 에러를 줄이기 위해 생성된 파형들의 주파수를 증가시키는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 자석은 고리 자석인 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 홀(Hall) 효과 센서인 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 이방성 자기저항(anisotropic magnetoresistance, AMR) 센서인 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 16

제 1 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 자이언트 자기저항(giant magnetoresistance, GMR) 센서인 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

회로를 위한 제 1 다이(die) 및 홀 효과 센서를 위한 제 2 다이를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 18

제 17 항에 있어서, 상기 제 2 다이는 갈륨비소(GaAs)로 형성되는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 19

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 파형을 위한 자동 이득 제어를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 20

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 파형을 위한 자동 오프셋 조절기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 21

각도 위치 정보를 생성하는 마그네틱 위치 센싱(sensing) 요소;

상기 각도 위치 정보에 상응하는 제 1 파형을 생성하는 제 1 신호 생성기;

상기 각도 위치 정보에 상응하고 상기 제 1 파형과 미리 정해진 크기만큼 오프셋을 갖는 제 2 파형을 생성하는 제 2 신호 생성기;

상기 제 1 파형을 오프셋 전압에 대해 반전하여 제 1 반전 파형을 제공하는 제 1 인버터 및 상기 제 2 파형을 상기 오프셋 전압에 대해 반전하여 제 2 반전 파형을 제공하는 제 2 인버터; 및

상기 제 1 파형, 상기 제 2 파형, 상기 제 1 반전 파형 및 상기 제 2 반전 파형으로부터 선형 출력 신호를 생성하는 아날로그 신호 처리 모듈을 포함하는 센서.

청구항 22

제 21 항에 있어서, 상기 제 1 및 제 2 파형은 상기 신호 처리 모듈에 의해 제 1 영역에서 사용되고, 상기 제 1 및 제 2 반전 파형은 제 2 영역에서 사용되어 상기 선형 출력 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 23

제 22 항에 있어서, 상기 제 1 영역은 상기 위치 센싱 요소에서 약 180도의 각도 위치에 상응하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 영역을 위한 영역 지시기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 25

제 21 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 복수의 자극쌍들을 구비하는 자석을 포함하고 상기 마그네틱 센서의 최대 각도 에러를 줄이는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 26

제 21 항에 있어서,

제 1 및 제 2 다이 위에 상기 센서를 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 27

위치 센서를 포함하는 신호 생성 수단;

상기 신호 생성 수단에 연결되는 신호 반전 수단; 및

상기 신호 반전 수단에 연결되어 상기 위치 센서의 각도 위치에 상응하는 출력 신호를 생성하는 아날로그 신호 처리 수단을 포함하는 센서.

청구항 28

제 27 항에 있어서, 상기 신호 생성 수단은 복수의 자극쌍들을 구비하는 자석을 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 29

제 27 항에 있어서, 상기 센서는 하나의 기판(substrate)위에 제공되는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 30

제 27 항에 있어서, 상기 센서는 제 1 및 제 2 다이를 포함하는 것을 특징으로 하는 센서.

청구항 31

마그네틱 위치 센싱 요소를 포함하는 신호 생성 모듈을 제공하는 단계; 및

상기 위치 센싱 요소로부터의 정보에 상응하는 선형 출력 신호를 생성하기 위해 아날로그 신호 처리 모듈을 상기 신호 생성 모듈에 연결하는 단계를 포함하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 32

제 31 항에 있어서,

제 1 파형을 반전하여 제 1 반전 파형을 제공하고 제 2 파형을 반전하여 제 2 반전 파형을 제공하는 신호 반전 모듈을 상기 신호 생성 모듈에 연결하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 33

제 32 항에 있어서,

상기 신호 생성 모듈, 상기 신호 반전 모듈 및 상기 신호 처리 모듈을 하나의 기판(substrate)위에 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 34

제 31 항에 있어서,

최대 각도 에러를 줄이기 위해, 복수의 자극쌍들을 구비하는 자석을 상기 마그네틱 위치 센싱 요소를 위해 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 35

제 31 항에 있어서, 상기 자석은 고리 자석인 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 36

제 31 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 홀 효과 센서인 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 37

제 31 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 이방성 자기저항(anisotropic magnetoresistance, AMR) 센서인 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 38

제 31 항에 있어서, 상기 마그네틱 센서는 자이언트 자기저항(giant magnetoresistance, GMR) 센서인 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 39

제 31 항에 있어서,

회로를 위한 제 1 다이 및 홀 효과 센서를 위한 제 2 다이를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

청구항 40

제 39 항에 있어서, 상기 제 2 다이는 갈륨비소(GaAs)로 형성되는 것을 특징으로 하는 마그네틱 센서를 제공하는 방법.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 마그네틱(magnetic) 센서들에 의해 생성된 위상 쉬프트된(phase-shifted) 파형들로부터 아날로그 신

호 처리를 사용하여 선형(linear) 출력을 생성하는 회전 센서를 제공한다.

배경 기술

- <2> 해당 기술 분야에서 알려진 바와 같이, 각도 위치를 결정하기 위한 회전 센서들이 많이 알려져 있다. 한 종류의 센서에 있어서, 각도 위치를 결정하기 위한 사인 및 코사인 신호를 생성하기 위해 홀(Hall) 효과 모듈들이 사용된다. 이러한 센서들은 홀 셀(Hall cell)들로부터 생성된 사인 및 코사인 신호를 처리하기 위해 디지털 프로세싱(processing)을 사용한다. 아날로그 디지털 변환 및 다른 요인들에 의해, 이러한 디지털 프로세싱은 각도 위치 결정의 속도와 정확도에 있어서 한계를 가지게 된다.
- <3> 예를 들면, Austria Microsystems사의 부품번호 AS5043은 복잡한 수학기산을 위해 룩업 테이블(lookup table)을 이용하여 반복계산을 구현하는 코디네이트 로테이션 디지털 컴퓨터(coordinate rotational digital computer, CORDIC)를 사용하여 홀 어레이(Hall array)로부터의 정보를 디지털적으로 처리하는 각도 위치 센서이다. 다른 센서들은 위치 정보를 계산하기 위한 다양한 프로세싱 알고리즘을 구현하기 위해 유사한 디지털 프로세싱을 사용한다.

발명의 상세한 설명

- <4> 일 실시예에 있어서, 상기 센서는 하나의 기판(substrate)위에 제공된다. 이러한 배치를 통해 효과적이고 비용을 절감할 수 있는 센서를 제공할 수 있다. 본 발명은 특정한 회로 및 신호 처리 구현들을 포함하는 예시적인 실시예에 의해 보여지고 설명되지만, 본 발명은 본 발명의 범위 내에 있는 다양한 아날로그 처리 기술들, 구현들 및 알고리즘들에 적용될 수 있다.
- <5> 본 발명의 일 측면에 있어서, 센서는 위치 정보를 제공하기 위한 마그네틱 센서를 구비하고 상기 위치 정보에 상응하는 제 1 및 제 2 파형을 생성하는 신호 생성 모듈을 포함한다. 상기 제 1 파형을 반전(inverting)하여 제 1 반전 파형을 제공하고 상기 제 2 파형을 반전하여 제 2 반전 파형을 제공하기 위해 선택적인 신호 반전 모듈이 상기 신호 생성 모듈에 연결될 수 있다. 상기 신호 반전 모듈로부터의 상기 제 1 파형, 상기 제 2 파형, 상기 제 1 반전 파형 및 상기 제 2 반전 파형 세트를 대수학적으로 처리하고 선형 위치 출력 전압 신호를 생성하기 위해 아날로그 신호 처리 모듈이 상기 선택적인 신호 반전 모듈에 연결될 수 있다.
- <6> 상기 센서의 실시예들은 다양한 특징들을 포함할 수 있다. 예를 들면, 상기 신호 반전 모듈은 제 1 영역에서는 상기 제 1 및 제 2 파형을 출력하고, 상기 제 1 및 제 2 파형의 반전 없이는 출력이 비선형적이 되는 위치 범위에 상응하는 제 2 영역에서는 상기 제 1 및 제 2 반전 파형을 제공할 수 있다. 영역 지시 비트는 상기 제 1 또는 제 2 영역에서 위치 범위를 나타낼 수 있다. 상기 제 1 영역은 약 180도의 범위를 가질 수 있다. 상기 제 1 영역은 $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 에 상응할 수 있다. 여기서 $-\sin(\theta)$ 는 오프셋 전압에 대한 상기 사인파의 반전을 나타내고, $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 는 상기 사인파형들과 관련된 진폭 및 오프셋을 구현하고, θ 는 상기 마그네틱 센서에서 회전하는 자석의 각도를 나타낸다. 상기 제 1 영역은 θ 가 약 315도부터 약 135도까지의 범위에 상응할

$$output = \frac{Asin(\theta) + offset}{\frac{1}{k}(Asin(\theta) + Acos(\theta) + 2offset)}$$

수 있다. 상기 제 1 영역에서의 출력은 다음의 수학적 정의될 수 있다. 여기서, θ 는 상기 마그네틱 센서에서 회전하는 자석의 각도를 나타내고, offset은 상기 제 1 및 제 2 파형의 그라운드(ground)에 대한 수직 오프셋을 나타내고, A는 상기 제 1 및 제 2 파형의 진폭을 나타내고, k는 상기 출력의 이득(gain) 및 수직 오프셋에 영향을 주는 실수를 나타낸다. 상기 신호 처리 모듈은 아날로그 곱셈기를 포함할 수 있다. 상기 센서는 하나의 기판위에 제공될 수 있다. 상기 센서는 복수의 자극쌍(pole-pair)들을 구비하는 자석을 포함하고, 최대 각도 에러를 줄이기 위해 생성된 파형들의 주파수를 증가시킬 수 있다.

- <7> 본 발명의 또 다른 일 측면에 있어서, 센서는 각도 위치 정보를 생성하는 마그네틱 위치 센싱 요소, 상기 각도 위치 정보에 상응하는 제 1 파형을 생성하는 제 1 신호 생성기 및 상기 각도 위치 정보에 상응하는 제 2 파형을 생성하는 제 2 신호 생성기를 포함하고, 상기 제 1 및 제 2 파형은 미리 정해진 크기만큼 오프셋을 갖는다. 상기 센서는 상기 제 1 파형을 오프셋 전압에 대해 반전하여 제 1 반전 파형을 제공하는 제 1 인버터, 상기 제 2 파형을 상기 오프셋 전압에 대해 반전하여 제 2 반전 파형을 제공하는 제 2 인버터 및 상기 제 1 파형, 상기 제 2 파형, 상기 제 1 반전 파형 및 상기 제 2 반전 파형으로부터 선형 출력 신호를 생성하는 아날로그 신호 처리 모듈을 더 포함할 수 있다.

- <8> 상기 센서는 하나 또는 둘 이상의 다양한 특징들을 포함할 수 있다. 상기 제 1 및 제 2 파형은 상기 신호 처리 모듈에 의해 제 1 영역에서 사용되고, 상기 제 1 및 제 2 반전 파형은 제 2 영역에서 사용되어 상기 선형 출력 신호를 생성할 수 있다. 상기 제 1 영역은 상기 위치 센싱 요소에서 약 180도의 각도 위치에 상응할 수 있다. 영역 지시기는 동작의 제 1 또는 제 2 영역을 나타낼 수 있다.
- <9> 본 발명의 보다 깊은 일 측면에 있어서, 센서는 위치 센서를 포함하는 신호 생성 수단, 상기 신호 생성 수단에 연결되는 신호 반전 수단 및 상기 신호 반전 수단에 연결되어 상기 위치 센서의 각도 위치에 상응하는 출력 신호를 생성하는 아날로그 신호 처리 수단을 포함한다.
- <10> 본 발명의 또 다른 일 측면에 있어서, 방법은 마그네틱 위치 센싱 요소를 포함하는 신호 생성 모듈을 제공하는 단계, 신호 반전 모듈을 상기 신호 생성 모듈에 연결하는 단계 및 상기 위치 센싱 요소로부터의 정보에 상응하는 선형 출력 신호를 생성하기 위해 아날로그 신호 처리 모듈을 상기 신호 반전 모듈에 연결하는 단계를 포함한다.
- <11> 상기 방법은 하나 또는 둘 이상의 상기 신호 생성 모듈, 상기 신호 반전 모듈 및 상기 신호 처리 모듈을 하나의 기판위에 제공하는 단계 및 상기 위치 센싱 요소로부터의 정보에 상응하는 제 1 및 제 2 파형을 생성하고 상기 제 1 및 제 2 파형을 반전하여 상기 선형 출력 신호를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

실시예

- <54> 도 1은 마그네틱(magnetic) 센서(sensor)들로부터 선택적인 신호 반전(inversion) 모듈(104)에 제공되는 파형들을 생성하는 신호 생성 모듈(102)을 포함하는 아날로그 위치 센서(100)를 나타낸다. 신호 반전 모듈(104)은 상기 파형들의 반전된 신호들을 생성한다. 신호 처리 모듈(106)은 상기 파형들의 대수학적인 처리를 수행한다. 상기 신호 처리 모듈(106)은 각도 위치에 비례하는 선형 출력 전압(output)을 생성한다. 일 실시예에 있어서, 상기 센서는 하나의 실리콘(silicon) 기판(substrate)위에 제공된다.
- <55> 도 1A는 사인파를 생성하는 제 1 마그네틱 센서(154) 및 상기 제 1 센서로부터 90도 각도에 위치하고 코사인파를 생성하는 제 2 마그네틱 센서(156)를 구비하는 영구자석(152)을 포함하는 예시적인 홀(Hall) 효과 장치(150)로서 표현된 마그네틱 센서를 나타낸다. 회전하는 자석(152)의 각도 위치 θ 는 선형 센서 출력을 제공하기 위해 상기 사인 및 코사인 신호로부터 결정될 수 있다. 예시적인 실시예에 있어서, 상기 센서 회로는 360°의 센싱 범위를 가지며 하나의 파워 서플라이(power supply)에 의해 동작한다.

<56> 일 실시예에 있어서, 상기 센서 출력은 아래의 [수학식 1]의 관계로부터 생성된다.

<57> [수학식 1]

$$output = \frac{A \sin(\theta) + offset}{\frac{1}{k} (A \sin(\theta) + A \cos(\theta) + 2offset)}$$

- <58>
- <59> 여기서, output은 상기 센서 출력을 나타내고, A는 상기 생성된 사인 및 코사인 신호의 진폭을 나타내고, offset은 그라운드(ground)에 대한 상기 사인파형 신호들의 수직 오프셋을 나타내고, k는 상기 최종 센서 출력의 이득(gain) 및 수직 오프셋에 영향을 주는 실수를 나타낸다. 일반적으로, k 값은 상기 출력의 수학적 값이 원하는 동작 범위 내에 속하도록 세팅된다.

<60> 도 2는 모델화된 사인파형 입력 신호들 및 [수학식 1]에 의한 출력을 나타낸다. 사인파(200) 및 코사인파(202)가 상기 사인 및 코사인 신호의 평균 신호(204)와 함께 도시되어 있다. 출력 신호 ($\sin/(\sin/2+\cos/2)$)(206) 또한 도시되어 있다. $\sin/(\sin/2+\cos/2)$ 는 [수학식 1]에 의해 표현된 바와 같이, 사인파형들과 관련된 진폭 및 오프셋을 구현한다. 도 2에서 볼 수 있듯이, 아래의 [수학식 2] 및 [수학식 3]의 관계가 만족한다면 [수학식 1]은 약 315° 부터 135° 사이의 제 1 영역에서 높은 선형성을 갖는 출력 신호(206)를 생성한다.

<61> [수학식 2]

$$offset = \frac{supply_voltage}{2}$$

<62>

<63> [수학식 3]

$$A = \frac{\text{supply voltage}}{2} - 0.5 \text{ volts}$$

<64>

<65> 135° 부터 315° 사이의 제 2 영역에서는, 상기 입력 사인파형들은 상기 제 1 영역과 비교할 때 상기 오프셋 전압에 대해 반전된다. 예시된 모델은 $A = 2 \text{ volts}$, $\text{offset} = 2.5 \text{ volts}$ 및 $k = 2$ 를 가정한다.

<66> 이러한 관찰을 통해, [수학식 1]의 모델은 상기 출력 신호가 두 영역 모두에서 동일한 정도의 선형성을 갖고 상기 두 영역 동안 주기적이 될 수 있도록 수정될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 도 3에서와 같이, 두 신호가 135° 에서부터 315° 사이의 영역(상기 제 2 영역)에 들어오게 되면 파형들을 반전시킴으로써 상기 수정을 이룰 수 있다. 도 3에서 볼 수 있듯이, 사인파(200'), 코사인파(202') 및 평균신호(204')는 135° 에서 315° 사이의 영역에서 반전된다. 상기 135° 에서 315° 사이의 영역은 $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 에 상응하는 영역인데, 여기서 $-\sin(\theta)$ 는 오프셋 전압에 대한 상기 사인파의 반전을 나타내고, $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 는 [수학식 1]에 의해 표현된 바와 같이 상기 사인파형들과 관련된 진폭과 오프셋을 구현한다. 예시적인 파라미터들은 $A = 2 \text{ volts}$, $\text{offset} = 2.5 \text{ volts}$ 및 $k = 2$ 이다.

<67> 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 반전 또는 135° 에서 315° 사이의 제 2 영역은 $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 를 만족하는지 여부를 나타내는 영역 지시기(250)를 사용하여 구별할 수 있는데, 상기 영역 지시기(250)는 하나의 비트로 나타내어질 수 있다. 여기서 $-\sin(\theta)$ 는 오프셋 전압에 대한 상기 사인파의 반전을 나타내고, $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 는 상기 사인파형들과 관련된 진폭과 오프셋을 구현한다. 앞에서 설명한 바와 같이, [수학식 1]의 수정된 모델은 180° 의 범위에서 주기적인 출력을 제공한다. 360° 의 센싱 범위를 제공하기 위해 상기 제 1 및 제 2 영역은 아래와 같이 정의될 수 있다.

<68> $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 가 만족하면,

<69> 출력 영역 = 0° - 180° (θ가 315° 에서 135° 사이에 해당하는 제 1 영역)

<70> 그렇지 않다면,

<71> 출력 영역 = 180° - 360° (θ가 135° 에서 315° 사이에 해당하는 제 2 영역)

<72> 다른 방법으로는, 영역 지시기(250)는 선형 램프(ramp)를 만들기 위해 180° - 360° 범위 즉, 제 2 영역의 센서 출력을 수직으로 쉬프트(shift)시키는데 사용될 수 있다. 수직 쉬프트의 크기는 변수 k에 의존한다.

<73> 도 5는 본 발명에 따른 아날로그 위치 센서(200)의 예시적인 회로 구현을 나타낸다. 센서(200)는 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 도 1의 신호 발생 모듈(102), 신호 반전 모듈(104) 및 신호 처리 모듈(106)의 예시적인 구현들을 포함한다.

<74> 도 6은 제 1 및 제 2 홀 효과 장치들(302 및 304)을 포함하는 신호 생성 모듈(102)의 회로 구현을 나타낸다. 상기 제 1 및 제 2 홀 효과 장치들(302 및 304)은 각각 오프셋 트림(offset trim) 입력 및 이득 트림(gain trim) 입력을 갖는 증폭기(308) 및 홀 플레이트(plate)(306)를 포함한다. 다른 방법으로는, 이득 및 오프셋 트림 값들은 자동 이득 제어기 및(또는) 자동 오프셋 조절기와 같은 장치에 의해 조절될 수 있다. 제 1 홀 효과 장치(302)는 $\sin(\theta)$ 신호를 출력하고 제 2 홀 효과 장치(304)는 $\cos(\theta)$ 신호를 출력한다. 여기서, θ 는 회전하는 자석의 위치를 나타낸다.

<75> 상기 실시예는 선형 홀 효과 장치들을 사용하여 사인파형의 신호들을 생성하였으나, 자기저항(magnetoresistor, MR), 자기트랜지스터(magnetotransistor), 자이언트 자기저항(giant magnetoresistance, GMR) 센서 또는 이방성 자기저항(anisotropic magnetoresistance, AMR) 센서와 같은 다른 종류의 마그네틱 센서들이 사용될 수 있다. 또한, 사인파형들이 나타나 있으나, 특정 응용분야의 요구사항들을 만족시킬 수 있는 다른 적당한 형태의 파형들이 사용될 수도 있다.

<76> 제 1 신호 반전기(310)는 $\sin(\theta)$ 신호를 반전하여 $-\sin(\theta)$ 신호를 제공하고($-\sin(\theta)$ 는 오프셋에 대해 반전된 신호를 나타냄), 제 2 신호 반전기(312)는 $\cos(\theta)$ 신호를 반전하여 $-\cos(\theta)$ 신호를 제공한다($-\cos(\theta)$ 는 오프셋에 대해 반전된 신호를 나타냄). 인버터들(310 및 312)을 통해 $\sin(\theta)$, $-\sin(\theta)$, $\cos(\theta)$ 및 $-\cos(\theta)$ 신호들이 (도 7의) 신호 반전 모듈(104)에 제공된다. 비교기(comparator)(314)는 $\cos(\theta)$ 및 $-\sin(\theta)$ 를 입력으로 수신하여 영역 지시 비트를 생성한다(상기 설명한 바와 같이, 반전된 또는 반전되지 않은 \sin 및 \cos 신호).

비교기(314)는 상기 설명한 바와 같이 $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 의 판단을 수행하여 영역 지시 비트를 생성한다.

<77> 또한 신호 생성 모듈(102)은 조절된 전압 공급(316)(예를 들면 5V) 및 바이어스 레퍼런스(bias reference) 전압(318)(예를 들면 2.5V)을 포함한다. 예시적인 실시예에서는 5V의 공급 전압이 사용되었지만, [수학식 2] 및 [수학식 3]의 관계를 만족하는 한 사용되는 특정 전압은 변화될 수 있다.

<78> 도 7은 (도 6의) 마그네틱 센서들(302 및 304)에 의해 생성된 사인파형의 신호들을 135° 에서 315° 사이의 영역(제 2 영역)에서 반전하는 기능을 하는 신호 반전 모듈(104)의 회로 구현을 나타낸다. 상기 설명한 실시예에서는, 원래 신호들($\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$) 및 반전된 신호들($-\sin(\theta)$ 및 $-\cos(\theta)$)은 2-입력 아날로그 멀티플렉서(multiplexer)(350)에 입력신호로 제공된다. 도 4의 영역 지시 비트(250)에 상응할 수 있는 비교기(314)의 출력은 멀티플렉서(350)의 출력을 제어한다. 즉, 영역 지시 비트(250)는 아날로그 멀티플렉서(250)가 반전된 신호를 출력할지 반전되지 않은 신호를 출력할지 여부를 결정한다. 멀티플렉서(250) 출력들은 (도 8의) 신호 처리 모듈(106)에 입력으로 제공되기 위해 각각 증폭기들(352 및 354)에 의해 버퍼링(buffering) 될 수 있다.

<79> 도 8은 이득 요소(gain factor) k 를 구현하기 위해 제 1 및 제 2 저항들(R1 및 R2)을 포함하는 저항 분배기를 사용하는 예시적인 신호 처리 회로(106)의 구현을 나타낸다. 아래의 [수학식 1]을 상기하면, 예시적인 실시예에서는 $k = 2$ 이므로 상기 신호 처리 회로(106)는 동작한다.

<80> [수학식 1]

$$\text{output} = \frac{A\sin(\theta) + \text{offset}}{\frac{1}{k}(A\sin(\theta) + A\cos(\theta) + 2\text{offset})}$$

<81>

<82> 저항들(R1 및 R2) 사이의 노드는 $(\sin(\theta) + \cos(\theta))/2$ 를 제공한다. 이러한 신호는 버퍼링되어 아날로그 곱셈기(400)에 입력된다. $\sin(\theta)$ 신호는 아날로그 곱셈기(400)에 제 2 입력([수학식 1]의 분자)으로 제공되고, 이는 아날로그 곱셈기(400)를 이용하여 내부적인 나눗셈을 제공한다. 상기 회로는 [수학식 4]에 따라 멀티영역에서의 선형성을 위해 파형 반전을 포함한다는 것을 알 수 있다.

<83> 한 특정 실시예에 있어서, 아날로그 곱셈기(400)는 하나의 공급 전압에 의해 동작하고 그라운드는 수학적 0와 동일하다고 가정한다. 다른 회로 구현예에서는 그라운드 변동과 관련된 효과 등을 피하기 위해 "그라운드"로 다양한 전압(예를 들면 0.5V)을 가지고 동작할 수 있다. 입력되는 두 신호 모두가 수학적으로 양인 것으로 가정되기 때문에 상기의 나눗셈 동작은 단지 두 개의 사분면(two-quadrant) 나눗셈(또는 곱셈)만을 필요로 한다. 설명한 실시예에 있어서, 아날로그 곱셈기(400)의 출력은 0.5V에서 4.5V사이의 범위를 갖는 출력을 위해 이득 및 오프셋 보정 단계에 의해 처리된다.

<84> 도 5의 회로는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 잘 알려진 공정들 및 기술들을 사용하여 하나의 기관위에 구현될 수 있다.

<85> 하나의 기관위에 아날로그 위치 센서를 제공하기 위해 본 발명은 특정한 대수학적 관계의 구현에 의해 보여지고 설명되어지지만, 다른 대수학적 관계가 구현될 수도 있다.

<86> 다른 일 실시예에 있어서, 아래에 설명된 바와 같이 또 다른 알고리즘이 구현될 수도 있다. 다시 [수학식 1]을 참조하자.

<87> [수학식 1]

$$\text{output} = \frac{A\sin(\theta) + \text{offset}}{\frac{1}{k}(A\sin(\theta) + A\cos(\theta) + 2\text{offset})}$$

<88>

<89> 여기서 output은 상기 센서 출력을 나타내고, A는 상기 생성된 사인 및 코사인 신호의 진폭을 나타내고, offset은 그라운드에 대한 상기 사인파형 신호들의 수직 오프셋을 나타내고, k는 상기 최종 센서 출력의 이득 및 수직 오프셋에 영향을 주는 실수를 나타낸다.

<90> 반전을 나타내기 위해, [수학식 1]은 수학적으로 [수학식 4] 또는 [수학식 5]와 같이 표현될 수 있다.

<91> [수학식 4]

$$output = \frac{\pm A \sin(\theta) + offset}{\frac{A}{k} (\pm \sin(\theta) \pm \cos(\theta)) + 2offset}$$

<92>

<93> [수학식 5]

$$output = \frac{A \sin(\theta) \pm offset}{\frac{A}{k} (\sin(\theta) + \cos(\theta)) \pm offset}$$

<94>

<95> 반전, 즉 "-"부호는 아래의 [수학식 6] 또는 [수학식 7]이 만족할 때 적용된다.

<96> [수학식 6]

$$2offset - (A \sin(\theta) + offset) > A \cos(\theta) + offset$$

<98> [수학식 7]

$$\frac{A \sin(\theta) + A \cos(\theta) + 2offset}{2} < offset$$

<99>

<100> 또 다른 형태의 알고리즘을 얻기 위해, [수학식 5]는 아래와 같이 간략화될 수 있다.

<101> 분자와 분모에 $\frac{k}{A}$ 를 곱하여 [수학식 8]을 구하면 아래와 같다.

<102> [수학식 8]

$$output = \frac{k \sin(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<103>

<104> 아래의 [수학식 9]와 같이, 분자에 $\cos(\theta)$ 를 더하고 빼면 아래와 같다.

<105> [수학식 9]

$$output = \frac{k \sin(\theta) + \cos(\theta) - \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<106>

<107> 아래의 [수학식 10]과 같이, 분자에 $\sin(\theta)$ 를 더하고 빼면 아래와 같다.

<108> [수학식 10]

$$output = \frac{k \sin(\theta) - \sin(\theta) - \cos(\theta) + \sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<109>

<110> 분자의 " $k \sin(\theta) - \sin(\theta)$ "에서 $\sin(\theta)$ 를 묶으면 아래의 [수학식 11]과 같다.

<111> [수학식 11]

$$output = \frac{(k-1) \sin(\theta) - \cos(\theta) + \sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<112>

<113> 분자와 분모에 공통적으로 존재하는 " $\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}$ "를 주목하면, [수학식 11]은 아래의 [수학식 12]와 같이 표현될 수 있다.

<114> [수학식 12]

$$output = 1 + \frac{(k-1)\sin(\theta) - \cos(\theta)}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<115>

<116> 상수항 "1"은 DC(direct current) 오프셋이므로, 아래의 [수학식 13]에서와 같이 "1"을 생략하여도 출력의 전체적인 선형성에 영향을 주지 않기 때문에 "1"은 제거될 수 있다.

<117> [수학식 13]

$$output = \frac{(k-1)\sin(\theta) - \cos(\theta)}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{k * offset}{A}}$$

<118>

<119> 이제 k는 출력의 최종 이득 및 오프셋에 유일하게 영향을 미치는 상수이다. 앞에서 설명한 실시예에서와 같이, 상수 k는 2로 고정될 수 있다. 이는 아래 [수학식 14]와 같이 표현된다.

<120> [수학식 14]

$$output = \frac{\sin(\theta) - \cos(\theta)}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \pm \frac{2 * offset}{A}}$$

<121>

<122> 잘 알려진 바와 같이, $\sin(\theta) + \cos(\theta) = \sqrt{2} \sin(\theta + 45^\circ)$ 이고 $\sin(\theta) - \cos(\theta) = \sqrt{2} \sin(\theta - 45^\circ)$ 이므로, [수학식 14]는 아래의 [수학식 15]와 같이 표현될 수 있다.

<123> [수학식 15]

$$output = \frac{\sqrt{2} \sin(\theta - 45^\circ)}{\sqrt{2} \sin(\theta + 45^\circ) \pm \frac{2 * offset}{A}}$$

<124>

<125> 상기 [수학식 15]의 우변의 분자 및 분모를 $\sqrt{2}$ 로 나누면 아래의 [수학식 16]과 같다.

<126> [수학식 16]

$$output = \frac{\sin(\theta - 45^\circ)}{\sin(\theta + 45^\circ) \pm \frac{\sqrt{2} * offset}{A}}$$

<127>

<128> 분자에 있는 사인파형의 항인 $\sin(\theta - 45^\circ)$ 는 분모에 있는 사인형태의 항인 $\sin(\theta + 45^\circ)$ 와 90° 의 위상만큼 차이가 나므로, 아래의 [수학식 17]과 같이, 분자와 분모를 각각 $\sin(\theta)$ 와 $\cos(\theta)$ 로 바꿀 수 있다.

<129> [수학식 17]

$$output = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta) \pm \frac{\sqrt{2} * offset}{A}}$$

<130>

<131> 이는 반전 지점(즉, "-"부호의 부가)을 $0 > \cos(\theta)$ 로 변화시킨다. 또한, 출력의 위상은 아크탄젠트(arctangent)와 45° 의 위상 차이를 갖는 것이 아니라 아크탄젠트의 위상과 동일하게 정렬된다.

<132> 이제 상기 사인파형들은 1의 이득을 갖는다. $\sin(\theta)$ 는 0의 오프셋을 갖는 반면에 $\cos(\theta)$ 는 유한한 오프셋을 갖는다(즉, $\cos(\theta)$ 는 $\frac{\sqrt{2*offset}}{A}$ 의 오프셋을 갖는다). 변수 A 및 offset은 더 이상 사인파형들의 실제 이득 및 오프셋을 나타내지 않기 때문에, 이를 b라는 상수로 나타낼 수 있다. 다시 관계식을 표현하면 아래의 [수학식 18]과 같다.

<133> [수학식 18]

<134>
$$output = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta) \pm b}$$

<135> 출력의 선형성은 상수항의 값에 의존한다. 상기 실시예는 A = 2 이고 offset = 2.5V인 경우를 나타낸다. 직관적으로, b의 이상적인 값은 약 1.7678이다. 출력의 선형성은 b의 값을 변화시킴으로써 약간 개선될 수 있다. 상기 원래의 조건들을 만족시키기 위해, [수학식 18]은 원하는 만큼 스케일(scale)이 조절될 수 있다. 만약 $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 가 어떤 이득 A를 갖는다면, 아래 [수학식 19]에서와 같이 상수 b 또한 A의 함수가 되어야 한다.

<136> [수학식 19]

<137>
$$output = \frac{A \sin(\theta)}{A \cos(\theta) \pm Ab}$$

<138> A의 값은 자동 이득 제어기 또는 아래 [수학식 20]의 잘 알려진 삼각함수 관계를 이용하여 알 수 있다.

<139> [수학식 20]

<140>
$$A = \sqrt{(A \sin(\theta))^2 + (A \cos(\theta))^2}$$

<141> 도 9는 Vcc, Gnd, $\sin(\theta)$, $\cos(\theta)$, 영역 지시기 및 위치 출력 신호에 대한 예시적인 핀아웃(pinout)을 갖는 예시적인 센서 패키지(package)(500)를 나타낸다. 그 외에도 다양한 핀아웃 구성이 가능하다. 일 실시예에 있어서, 센서 패키지는 하나의 기판(502)위에 있는 센서를 포함한다.

<142> 예시적인 센서 구현에 있어서, 아날로그 디지털 컨버터들(analog to digital converters, ADCs)과 같은 다양한 회로들의 LSB(least significant bit)와 연결될 수 있도록 공급 전압에 비율비례하는(ratiometric) 각도 센서 출력을 제공하는 것이 바람직하다. 앞에서 설명한 것과 같이, 나눗셈 단계의 출력이 공급 전압에 비율비례하기 위해 다음의 관계식이 적용될 수 있다. $k = 0.4*supply$, $A = 0.4*supply$ 및 $offset = 0.5*supply$. 이러한 관계가 만족하는 한, 센서 출력은 비율비례적으로(ratiometrically) 증감할 것이다. 또는, $supply = 5V$ 라고 가정하면, A 및 offset 값만이 비율비례한 경우 나눗셈 단계의 출력은 공급 전압 감소량에 무관하게 정확히 동일할 것이다(출력이 클리핑(clipping)되지 않는다고 가정한다). 비율비례(ratiometry)는 나눗셈 단계의 출력을 $supply/5$ 배 함으로써 얻을 수 있다. 비율비례는 다른 메카니즘들(mechanisms)을 사용하여 얻을 수도 있다.

<143> 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 하나의 기판위에 아날로그 센서를 구현하는 방법은 디지털 신호 처리 코어(core)를 갖는 종래의 센서들에 비해 적은 구성요소를 포함하는 작은 패키지를 제공한다. 일 실시예에 있어서, 센서는 하나의 다이(die)위에 AMR 및 회로를 포함한다. 일 실시예에 있어서, 각도 센서는 자이언트 자기저항(giant magnetoresistance, GMR), 이방성 자기저항(anisotropic magnetoresistance, AMR), 갈륨비소(GaAs) 및 다양한 실리콘 홀 센서들을 위한 복수의 다이들을 포함할 수 있다. 도 9A에 도시된 실시예에 있어서, 각도 센서는 CMOS 공정에서 회로를 위한 제 1 다이(D1) 및 상기 센서를 위해 다른 홀 플레이트 도핑(Hall plate doping)을 제공하는 제 2 다이(D2)를 구비하는 복수의 다이들을 포함한다. 다른 실시예들은 신호 처리를 위한 하나의 다이, 두 개의 GaAs 다이 및(또는) 두 개의 MR 다이를 포함한다. GMR 다이는 동작에 있어 민감도가 상이하기 때문에 센서들은 회전축의 중심에 가까운 위치 등과 같이 적당한 위치에 있어야 한다. 또한, 제조 단가를 낮출 수 있고 종래의 장치들보다 빨리 정상상태에 도달할 수 있다.

<144> 본 발명의 다른 측면에 있어서, 각도 센서는 보다 높은 출력 해상도를 제공하기 위해 사인파형의 주파수를 높인다. 90° 만큼 수학적으로 오프셋을 갖는 두 개의 마그네틱 센서들 위에서 쌍극 원판 자석(bipolar disc magnet)을 돌리면 마그네틱 센서들의 출력으로 한 쌍의 사인/코사인 신호가 생성된다는 것은 알려져 있다. 상기 자석의 360° 1회전은 사인 및 코사인 신호의 한 주기에 상응한다. 사인파형들의 주파수를 360° 1회전 이상으로 높

임으로써 각도 센싱에 있어서 보다 높은 출력 해상도를 얻을 수 있다.

<145> 앞에서 설명한 바와 같이, 각도 센싱 어플리케이션들(applications)을 위한 한 쌍의 사인/코사인 신호는 두 개의 마그네틱 센서들을 90° 오프셋을 두고 회전하는 쌍극 원판 자석의 중심 부근에 위치시킴으로써 생성될 수 있다. 두 개의 홀 플레이트들을 90° 오프셋을 두고 쌍극 원판 자석의 중심 부근에 위치시킴으로써 한 쌍의 사인/코사인 신호가 생성된다.

<146> 상기 두 개의 사인파형들이 앞의 [수학식 1]에서 설명한 알고리즘과 같은 각도 센싱 알고리즘에 입력으로 사용되는 경우, 출력은 도 10과 같이 나타난다. 출력의 최대 각도 에러는 아래의 [수학식 21]과 같이 계산된다.

<147> [수학식 21]

$$V_{ERROR-MAX} = MAX(\theta_{EXPECTED}(\theta) - \frac{V_{OUT}(\theta) - V_{OFFSET}}{V_{FULL-SCALE}} * \theta_{RANGE})$$

<148>

<149> 여기서 $\theta_{EXPECTED}(\theta)$ 는 주어진 각도 θ 에서 예상되는 각도 출력을 나타내고, $V_{OUT}(\theta)$ 는 주어진 각도 θ 에서 마그네틱 센서의 예상되는 출력 전압을 나타내고, V_{OFFSET} 은 출력 전압의 오프셋을 나타내고, $V_{FULL-SCALE}$ 은 출력 전압의 풀 스케일(full scale) 전압 범위를 나타내고, θ_{RANGE} 는 출력 전압 램프의 각도 범위를 나타낸다. 사인 및 코사인 신호(600 및 602)는 출력 전압 $V_{OUT}(\theta)$ (604)와 함께 도시되어 있다.

<150> [수학식 21]을 살펴보면, 에러는 출력 θ_{RANGE} 의 각도 범위의 함수이다. 다른 변수들은 고정되어 있을 때 최대 각도 에러($V_{ERROR-MAX}$)는 θ_{RANGE} 가 감소하면 감소될 수 있다.

<151> 상기 자석의 360° 1회전 이상으로 상기 사인파형들의 주파수를 증가시킴으로써 θ_{RANGE} 를 감소시킬 수 있다. 예를 들면, 쌍극 원판 자석대신 고리 자석이 사용되는 경우 한 회전동안 더 많은 사인파형들이 생성될 수 있다. 예를 들면, 도 11에서와 같이, 삼극쌍 자석(three-pole pair magnet)이 사용되는 경우 상기 사인파형들의 주파수는 3배 만큼 증가하고, 따라서 도 12에서와 같이 θ_{RANGE} 는 3배 만큼 감소한다. θ_{RANGE} 가 주어진 배수만큼 감소하면, $V_{ERROR-MAX}$ 는 동일한 배수만큼 감소할 것이다. 도 11A는 멀티폴(multi-pole) 도넛(donut) 자석을 나타내는 다른 실시예를 나타낸다. 자화는 중앙에서부터 바깥방향으로 방사형으로 형성된다.

<152> 도 11의 구조에서, 제 1 및 제 2 센서(650 및 652)는 홀수 개(즉, 3개)의 자극을 가지는 고리 자석(654)위에서 90도의 오프셋을 가지고 있다. 도 12는 도 11의 구조에 의한 신호들을 그래프로 보여주고 있다. θ_{RANGE} (662) 및 V_{OFFSET} (664)와 함께 사인, 코사인 및 출력 V_{OUT} 신호들(656, 658 및 660)이 도시되어 있다.

<153> 아래의 [수학식 22] 및 [수학식 23]의 계산은 에러의 감소를 보여준다.

<154> [수학식 22]

$$V_{ERROR-MAX} = MAX(\frac{\theta_{EXPECTED}(\theta)}{3} - \frac{V_{OUT}(\theta) - V_{OFFSET}}{V_{FULL-SCALE}} * \frac{\theta_{RANGE}}{3})$$

<155>

<156> [수학식 23]

$$V_{ERROR-MAX} = \frac{1}{3} MAX(\theta_{EXPECTED}(\theta) - \frac{V_{OUT}(\theta) - V_{OFFSET}}{V_{FULL-SCALE}} * \theta_{RANGE})$$

<157>

<158> 고리 자석을 통해 사인파형들의 주파수를 증가시키는 것은 어떠한 개수의 자극쌍(pole-pair) 조합에도 적용될 수 있다. 주어진 고리 자석은 동일한 $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 신호를 생성하는 다양한 서로 다른 센서 배치를 가질 수 있다. 예시적인 실시예에서는 고리 자석을 구비하는 것으로 보여지고 설명되었으나, 파형들을 생성하기 위해 다른 적당한 장치들이 사용될 수 있다.

<159> 도 13 및 14는 두 개의 자극쌍을 갖는 고리 자석을 위한 예시적인 마그네틱 센서 배치를 나타낸다. 도 13은 제 1 및 제 2 자극쌍을 갖는 고리 자석(700)을 나타낸다. 제 1 센서(702)는 N/S 극의 교차 지점에 위치하고, 제 2 센서(704)는 약 45도의 분리를 위해 인접한 S극에 위치한다. 도 14는 N/S 극의 교차 지점에 제 1 센서(752)를

구비하고 약 135도의 분리를 위해 인접하지 않은 S극에 제 2 센서를 구비한다. 도 13 및 14에서 볼 수 있듯이, 양 구성에 있어서 결과적인 사인 및 코사인 신호는 동일하다.

<160> 앞에서 설명한 바대로, 영역 지시 비트는 사인파형 입력의 한 주기에서 두 개의 인접한 출력 램프들을 구별하기 위해 사용될 수 있다.

<161> 멀티폴(multo-pole)을 갖는 실시예에 있어서, 영역 지시 비트는 고리 자석의 360도 회전에서 복수의 출력 램프들을 구별하기 위해 사용될 수 있다. 영역 지시 비트를 카운터의 입력으로 사용함으로써 상기 자석의 동작 각도 영역을 결정할 수 있다. 상기 카운터는 상기 모든 영역들을 순환하고 난 뒤에 0으로 리셋될 수 있다. 이러한 방식은 상기 장치가 알려진 각도 영역(예를 들면, 자석에서 자화의 네 영역의 경우에 0° -90°)에서 시작되고 자석이 한 방향으로 회전하는 한 사용될 수 있다. 자석이 양 방향으로 회전한다면 동작 영역을 결정하기 위해 방향 탐지 알고리즘과 함께 업(up)/다운(down) 카운터를 사용할 수 있다. 그러나 상기 장치는 알려진 각도 영역에서 시작하여야 한다.

<162> 아래의 [수학식 24]를 사용하여 고리 자석에 의해 생성되는 출력 램프들의 개수(즉, 구분 가능한 영역들의 개수)를 계산할 수 있고, 각각의 램프는 [수학식 25]에 의해 주어진 각도 영역에 존재한다.

<163> [수학식 24]

$$Number_of_regions=2*(Number_of_Pole_Pairs)$$

<164>

<165> [수학식 25]

$$\theta_{RANGE} = \frac{360^\circ \text{ MagnetRotation}}{Number_of_Regions}$$

<166>

<167> 예를 들면, [수학식 24]를 사용하여 자석의 1회전에서 4개의 출력 램프들에 상응하는 두 개의 자극쌍들을 포함하는 고리 자석을 계산할 수 있다. ([수학식 25]로부터) 비트 상태의 매 변화는 90° 영역의 변화에 상응한다. 동작 영역들은 아래의 [테이블 1]과 같이 구분될 수 있다.

<168> [테이블 1] 동작 영역

<169>

카운터 상태	동작 영역
0	0° - 90°
1	90° - 180°
2	180° - 270°
3	270° - 360°

<170> 도 15에서 볼 수 있듯이, 영역 지시 비트는 사인파형 신호의 한 주기 동안 생성된 제 1 및 제 2 램프(802 및 804) 신호를 구별한다. 영역 지시 비트가 카운터의 입력으로 제공되는 경우 카운터는 자석의 360° 1회전에서 4개의 90° 동작 영역을 구별하는데 사용될 수 있다.

<171> 예시적인 실시예에서는 홀 효과 센서의 사용에 대해 설명하였지만, 홀 요소대신 또는 홀 요소와 함께 다른 종류의 자기장 센서들이 사용될 수 있음은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다. 예를 들면, 상기 장치는 이방성 자기저항(AMR) 센서 및(또는) 자이언트 자기저항(GMR) 센서를 사용할 수 있다. GMR 센서들의 경우, GMR 요소는 복수의 물질 스택(stack)들로 구성된 센서들, 예를 들면 선형 스핀 밸브(linear spin valves) 센서, 터널링 자기저항(tunneling magnetoresistance, TMR) 센서 또는 거대 자기저항(colossal magnetoresistance, CMR) 센서의 범위를 포함한다. 다른 실시예에 있어서, 센서는 소프트 마그네틱(soft magnetic) 요소의 회전 및(또는) 목표를 감지하는 백 바이어스 자석(back bias magnet)을 포함한다.

<172> 본 발명의 다른 측면에 있어서, 홀 요소들 위에서 하나의 막대 자석을 회전시킴으로써 생성되는 사인파형 신호들의 주파수를 증가시키기 위해 필요한 신호 처리 회로는, 상기 마그네틱 센서들로부터의 출력 전압을 처리하고, [수학식 1]에서 설명된 바와 같은 각도 센싱 알고리즘에 적용될 때 보다 높은 해상도를 얻기 위해 사용될 수 있는 보다 높은 주파수의 신호들을 생성한다.

<173> 앞에서 설명한 바와 같이, 사인 및 코사인 입력으로부터의 선형 출력은 두 개의 개별적인 홀 요소들 위에서 하나의 쌍극 자석(bipolar magnet)을 회전시킴으로써 생성될 수 있다. 선형화된 신호를 통해, 출력에서 y볼트의

전압 변화는 직접 회전의 x도에 상응한다. 본 발명의 예시적인 실시예에 있어서, 입력 사인파형들의 주파수의 증가는 360°의 한 주기에서 선형 출력 램프들의 개수를 증가시킴으로써 출력 해상도를 증가시킨다.

<174> 아래의 삼각함수 배각공식을 사용하여 수학적으로 입력 사인파형들의 주파수를 증가시키는 것이 가능하다.

<175> [수학식 26]

<176> $\sin(2\theta) = 2 \sin(\theta) \cos(\theta)$

<177> [수학식 27]

<178> $\cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)$

<179> 상기 [수학식 26] 및 [수학식 27]에 의해 생성된 두 배의 주파수를 갖는 신호들이 [수학식 1]의 각도 센싱 메카니즘에 입력으로 제공된다면, 출력은 360°의 한 회전에서 4개의 선형 램프들이 될 것이다. 이와 같이 선형 램프들이 두 배로 되면 각도 센싱의 전체적인 해상도는 두 배가 될 것이다.

<180> 4개의 램프들을 0° - 90°, 90° - 180°, 180° - 270° 및 270° - 360° 사이에서 구별하기 위해 출력들은 디코딩(decoding) 된다. 상기 디코딩은 아래의 [테이블 1]과 같은 4개의 비트들을 사용하여 행해질 수 있다.

<181> [테이블 1] 각각의 출력 램프의 동작 영역을 구별하기 위한 디코더 비트들(decoder bits)

각도 영역	디코더 비트 1의 값	디코더 비트 2의 값
0° - 90°	LOW	LOW
90° - 180°	LOW	HIGH
180° - 270°	HIGH	LOW
270° - 360°	HIGH	HIGH

<183> 예시적인 실시예에서는, 디코더 비트 1은 아래의 수학식과 같이 생성될 수 있다.

<184> $\sin(\theta + 22.5^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{4} ((1 + \sqrt{2})\sin(\theta) + \cos(\theta))$

<185> if $\sin(\theta + 22.5^\circ) > \text{offset}$

<186> 비트 1 = LOW

<187> else

<188> 비트 1 = HIGH

<189> 여기서, offset은 수학적 0(예를 들면, 그라운드)에 대한 사인파형 신호들의 수직 오프셋을 나타낸다. 디코더 비트 1 결정의 복잡성은 이전의 각도 센싱 관계의 출력에서 -45° 위상 쉬프트의 결과이다. [수학식 1]과는 다른 형태의 알고리즘을 사용함으로써 -45° 위상 쉬프트를 변화시켜 비교과정을 간략화 할 수 있다.

<190> 상기 [테이블 1]의 디코더 비트 2 신호를 생성하기 위해 아래의 관계식이 사용될 수 있다.

<191> if $-\sin(2\theta) > \cos(2\theta)$

<192> 비트 2 = LOW

<193> else

<194> 비트 2 = HIGH

<195> 도 16은 디코더 비트 1(1001)에 대한 출력(1000)의 시간 그래프이고, 도 17은 디코더 비트 2(1002)에 대한 시간 그래프이다.

<196> 도 18은 앞에서 설명한 각도 센싱 메카니즘의 예시적인 개념적 구현(1010)을 나타낸다. 회로(1010)는 사인 입력(1012) 및 코사인 입력(1014)를 포함한다. 영역 회로(1016)는 디코더 비트 1을 생성한다. 대수학적 회로(1018)는 도 5의 회로와 같은 각도 센싱 회로(1020)에 $\sin(2\theta)$ 및 $\cos(2\theta)$ 를 제공하기 위해 [수학식 26] 및 [수학식 27]을 구현한다. 대수학적 회로(1018)는 구성 요소 신호인 $\sin(\theta)$ 및 $\cos(\theta)$ 를 생성하고, 두 신호에 2를 곱하

고 $\cos^2(\theta)$ 에서 $\sin^2(\theta)$ 를 뺀다.

<197> 도 19는 도 18의 회로에 대한 시뮬레이션(simulation)된 출력(1044)을 나타낸다. 시뮬레이션된 입력 사인 신호(1040) 및 코사인 신호(1042)는 1 kHz의 주파수를 갖는다. 해상도를 높이기 위한 주파수의 증가는 입력 신호들의 어떠한 부분을 통해서도 얻어질 수 있다. 예를 들면, 아래의 [수학식 28] 및 [수학식 29]와 같다.

<198> [수학식 28]

<199>
$$\sin\left(\frac{3}{2}\theta\right) = \sin\left(\theta + \frac{\theta}{2}\right) =$$

<200>
$$\sin(\theta)\left(\pm\sqrt{\frac{1+\cos(\theta)}{2}}\right) + \cos(\theta)\left(\pm\sqrt{\frac{1-\cos(\theta)}{2}}\right)$$

<201> [수학식 29]

<202>
$$\cos\left(\frac{3}{2}\theta\right) = \cos\left(\theta + \frac{\theta}{2}\right) =$$

<203>
$$\cos(\theta)\left(\pm\sqrt{\frac{1+\cos(\theta)}{2}}\right) + \sin(\theta)\left(\pm\sqrt{\frac{1-\cos(\theta)}{2}}\right)$$

<204> 출력에 있는 선형 램프들의 개수는 입력 주파수에 비례한다. 예를 들면, [수학식 28] 및 [수학식 29]를 사용하면 세 개의 선형 출력 램프들이 존재하게 된다. 디코딩 회로는 각각의 선형 램프들의 동작 영역을 구별할 수 있다.

<205> 본 발명의 보다 깊은 측면에 있어서, 각도 센싱 출력은 제 2 신호와 상보될 수 있는 비선형 파형을 갖고, 상기 두 신호들의 평균은 보다 높은 선형성을 갖게 된다.

<206> [수학식 1]을 다시 쓰면 아래와 같다.

<207> [수학식 1]

<208>
$$output = \frac{A\sin(\theta) + offset}{\frac{1}{k}(A\sin(\theta) + A\cos(\theta) + 2offset)}$$

<209> 여기서 output은 상기 센서 출력을 나타내고, A는 상기 생성된 사인 및 코사인 신호의 진폭을 나타내고, offset은 그라운드에 대한 상기 사인파형 신호들의 수직 오프셋을 나타내고, k는 실수를 나타낸다. (도 4에서 볼 수 있듯이) 360도 동안 동일한 선형성을 얻기 위해 한 영역에서 파형들이 반전되는 경우에, $-\sin(\theta) > \cos(\theta)$ 이면 마이너스 부호가 부가된다. [수학식 1]에 대한 대수학적 전개를 통해 아래의 [수학식 30]과 같이 선형성을 해치지 않은 채 보다 간단한 수학적 형태로 표현될 수 있다.

<210> [수학식 30]

<211>
$$output = \frac{A\sin(\theta)}{A\cos(\theta) \pm offset}$$

<212> 여기서, output은 센서 출력을 나타내고, A는 상기 생성된 사인 및 코사인 신호의 진폭을 나타내고, offset은 그라운드에 대한 코사인 신호의 수직 오프셋을 나타낸다. $\cos(\theta) < 0$ 이면 마이너스 부호가 부가된다. [수학식 1] 및 [수학식 30]의 출력은 완전한 선형은 아니지만, 입력 사인파형들의 한 주기가 자석의 360도 1회전에 상응한다고 가정했을 경우, ± 0.33 도의 이론적인 최적(best-case) 최대 에러를 갖는다.

<213> [수학식 30]에서 오프셋 값으로 비선형 파형을 생성하는 값을 선택할 수 있다. 이러한 경우에 상기 제 1 신호에 상보적인 비선형성을 갖는 제 2 파형을 생성할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 아래의 [수학식 31]과 같이 [수학식 30]을 약간 변형한 수식을 사용하여 상기 제 2 파형을 생성할 수 있다. 상기 제 1 및 제 2 파형의 평균은 [수학식 30]만에 의한 최적 에러보다 높은 선형성을 가질 수 있다.

<214> [수학식 31]

$$output = \frac{Asin(\theta)}{Acos(\theta) \pm offset}$$

<215>

<216> 여기서, k는 스케일링 팩터(scaling factor)이다. 상기 [수학식 30] 및 [수학식 31]을 고려하자. 두 수학식에 있어서 A 및 offset은 동일한 값을 갖는다. k = 0.309 및 offset = 1.02A를 선택하면 도 20과 같은 파형들이 생성된다. [수학식 30]의 출력(1100) 및 [수학식 31]의 출력(1102)은 각각의 비선형성이 서로 상보적이어서 두 파형들의 평균은 보다 높은 선형성을 가짐을 나타낸다. offset 및 k 값이 앞에서 선택된 바와 같은 경우, 결과적인 출력은 0.029도의 최적 최대 에러를 갖는다.

<217> 파형들(1100 및 1102)을 평균하면 0.029°의 최적 최대 에러를 갖는 출력이 된다. 이는 본 발명의 상보적인 파형 평균을 하지 않는 경우에 비해 10배가량 적은 것이다.

<218> 최종 출력은 아래의 [수학식 32]와 같이 나타난다.

<219> [수학식 32]

$$output = \frac{1}{2} \left(\frac{Asin(\theta)}{Acos(\theta) \pm offset} + \frac{Asin(\theta)}{Acos(\theta) \pm offset} \right)$$

<220>

<221> 여기서, A는 사인 및 코사인 신호의 진폭을 나타내고, offset은 코사인 신호의 오프셋을 나타내고, k는 스케일링 팩터를 나타낸다. cos(θ) < 0 인 경우 반전(즉, 마이너스 부호)이 적용된다. 도 21은 [수학식 32]의 예시적인 회로 구현을 나타낸다.

<222> [수학식 33]에서 볼 수 있듯이, 여기서 설명한 동일한 평균 기법은 [수학식 30]에 의해 생성된 서로 다른 오프셋을 갖는 두 개의 파형들에 대해서도 적용될 수 있다.

<223> [수학식 33]

$$output = \frac{1}{2} \left(\frac{Asin(\theta)}{Acos(\theta) \pm offset1} + \frac{Asin(\theta)}{Acos(\theta) \pm offset2} \right)$$

<224>

<225> 예를 들면, offset1 = 1.36 및 offset2 = 4.76 이면 [수학식 33]의 출력은 약 ±0.15°의 에러를 가질 것이다.

<226> 본 발명의 또 다른 측면에 있어서, 회로는 두 개의 마그네틱 센서들 및 상기 두 개의 센서 출력들로부터 얻어지는 제 3 사인파형 신호를 생성하기 위해 필요한 신호 처리 회로를 포함한다. 상기 세 개의 신호들을 이용하여, 두 개의 사인파형 신호들 사이의 위상 차이는 제거된다(trimmed). 두 개의 사인파형 신호들 사이의 위상 차이를 제거하는 것은 각도 센싱, 기어톱니 센싱 및 다른 응용분야에서 유용할 수 있다. 이러한 특징은 특히 아래와 같은 문제들의 결과로 인한 센서 정렬 불일치(misalignment)를 제거하는데 유용하다.

<227> - 최종적인 센서 설치 동안의 제조상의 위치 오차 (즉, 각도 센서에 대한 원판 자석 위치의 정렬 불일치)

<228> - 하나의 기관위에 존재하지 않는 두 개의 홀 센서들 또는 MR 센서들의 상대적인 위치에 영향을 미치는 제조상의 위치 오차. 이는 실리콘 신호 처리 다이가 두 개 또는 둘 이상의 GaAs 홀 플레이트들 또는 MR(magnetoresistive sensors)들과 연결되어 있는 경우에 유용하다.

<229> 각도 센싱 응용분야에서 필요로 하는 한 쌍의 사인/코사인 신호를 생성하기 위해 종래에는 두 개의 홀 플레이트들을 회전하는 자석의 중심 부근에 90°의 기계적인 오프셋을 가지고 배치하였다. 이러한 방법의 단점은, 홀 플레이트들의 기계적인 90° 오프셋에 있어서의 정렬 불일치는 사인 및 코사인 신호의 위상 에러로 나타난다는 것이다. 기계적인 정렬 불일치의 주된 요인은 최종 사용자가 장치 패키지 위에 자석을 정확하게 정렬하기가 힘들다는 것이다. 예를 들면, 5밀리미터의 자석위치 정렬 불일치는 약 최대 ±8.33°의 위상 에러를 발생한다. 이러한 위상 에러는 아크탄젠트 알고리즘에서 약 ±8°의 각도 에러가 된다. 위상 에러는 각도 센싱 알고리즘에 있어서 에러의 주요한 요인이다.

<230> 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 홀/MR이 생성한 한 쌍의 사인/코사인 신호 사이의 위상 차이는 아래에 상세히 설명되는 바와 같이 제거된다. cos(θ)가 90도 오프셋 센서들을 사용하여 생성된 경우에는 이러한 제거(trimming)는 구현하기 어려울 수 있다.

<231> 아래 [수학식 34], [수학식 35] 및 [수학식 36]의 관계는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 위상 차이 제거에 사용될 수 있다.

<232> [수학식 34]

<233>
$$C\sin(\theta+\gamma)=A\sin(\theta+\alpha)+B\sin(\theta+\beta)$$

<234> [수학식 35]

<235>
$$C=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos(\alpha+\beta)}$$

<236> [수학식 36]

<237>
$$\gamma=\arccos\left(\frac{A\cos(\alpha)+B\cos(\beta)}{C}\right)\operatorname{sgn}\left(\frac{A\sin(\alpha)+B\sin(\beta)}{C}\right)$$

<238> 여기서, A, B 및 C는 각각 사인파형들의 이득을 나타내고, α , β 및 γ 는 각각의 위상을 나타낸다. $\cos(\theta)$ 를 생성하기 위한 예시적인 방법은 아래에 설명한다.

<239> 도 22에 도시된 바와 같이, 최초에 제 1 및 제 2 홀 신호들(S_1 및 S_2)은 각각 홀 요소들(1200 및 1202)에 의해 생성된다. $S_1 = A\sin(\theta)$ 이고 A는 임의의 이득이라고 하자. $A\sin(\theta)$ 는 레퍼런스(reference) 신호이므로 위상 에러를 갖지 않는다고 가정한다. $S_2 = A\sin(\theta + \beta)$ 이고 $90^\circ < \beta < 180^\circ$ 라고 하자. 예를 들면, $A = 1$ 및 $\beta = 125^\circ$ 라면, $S_1 = \sin(\theta)$ 이고 $S_2 = \sin(\theta + 125^\circ)$ 이다. 제 2 홀(Hall)을 S_1 에 대해 기계적인 위상 오프셋 위치에 배치함으로써 S_2 를 생성한다.

<240> 상기 두 개의 생성된 신호들은 아래의 [수학식 37], [수학식 38] 및 [수학식 39]를 사용하여 코사인과 관련될 수 있다.

<241> [수학식 37]

<242>
$$C\cos(\theta)=A\sin(\theta)+G\sin(\theta+\beta)$$

<243> [수학식 38]

<244>
$$G=-\frac{1}{\cos(\beta)}$$

<245> [수학식 39]

<246>
$$C=A\sqrt{\frac{1}{\cos^2(\beta)}-1}$$

<247> 여기서, G는 이득 요소(gain factor)를 나타내고 C는 결과적인 코사인 신호의 진폭을 나타낸다.

<248> 제 2 신호 S_2 는 G만큼의 이득을 가질 수 있다. $\beta = 125^\circ$ 일 때, $G = 1.74$ 이다([수학식 38]). 도 23에 도시된 바와 같이, 결과적으로, $S_2 = 1.74\sin(\theta + 125^\circ)$ 이다.

<249> 이제 $S_3 = S_1 + S_2$ 라고 하자. [수학식 37]이 나타내는 바와 같이, $S_3 = C\cos(\theta)$ 이고, 여기서 C는 [수학식 39]를 사용하여 계산될 수 있다. $C\cos(\theta)$ 를 얻기 위해 $A\sin(\theta)$ 와 $G\sin(\theta + \beta)$ 가 더해진 경우인 도 24에서 도시된 바와 같이, 상기 예에서는 $C = 1.43$ 이고 따라서 $S_3 = 1.43\cos(\theta)$ 이다.

<250> 제 3 신호 S_3 는 제 1 신호 S_1 의 진폭과 진폭이 동일해지도록 진폭이 감소한다. 이로써 도 25에서 도시된 바와 같이, $S_1 = \sin(\theta)$ 및 $S_3 = \cos(\theta)$ 가 된다.

<251> 상기와 같이 위상 쉬프트된 코사인 신호를 생성한 이후에 코사인의 위상은 제거될 수 있다. 코사인은 두 개의 기계적으로 오프셋을 갖는 홀 요소들 위에서 자석을 회전시킴으로써 생성된 신호들을 더함으로써 생성된다.

$S_1(\text{Asin}(\theta))$ 와 동일함)은 레퍼런스 신호이므로 위상 에러를 갖지 않는다고 가정한다. S_3 의 위상은 S_2 의 위상 β 및 S_2 의 이득 요소 G 에 의해 결정된다. $S_3 = C\sin(\theta + \gamma)$ 이고, γ 는 아래 [수학식 40]에서 주어진다.

<252> [수학식 40]

$$\gamma = \arccos\left(\frac{1 + G\cos(\beta)}{\sqrt{G^2 + 2G\cos(\beta) + 1}}\right)$$

<254> $C\sin(\theta + 90^\circ) = C\cos(\theta)$ 이므로 이상적으로 γ 는 90° 이다.

<255> S_2 는 자석 정렬 불일치로 인해 위상 에러를 가질 수 있고, 상기 위상 에러는 S_3 의 위상에 직접 영향을 미칠 것이다. 그러나 아래의 예시(EXAMPLE)에서와 같이, S_2 의 이득을 조절함으로써 S_3 의 위상 에러는 제거될 수 있다.

<256> EXAMPLE

<257> 다음의 신호들의 생성이 필요하다고 가정하자.

<258> $S_1 = \sin(\theta)$

<259> $S_2 = G\sin(\theta + 125^\circ) = 1.74\sin(\theta + 125^\circ)$

<260> $S_3 = C\sin(\theta + 90^\circ) = 1.43\sin(\theta + 90^\circ) = 1.43\cos(\theta)$

<261> 그러나 자석 정렬 불일치로 인해 아래와 같은 신호가 발생된다.

<262> $S_1 = \sin(\theta)$

<263> $S_2 = 1.74\sin(\theta + 115^\circ)$

<264> $S_3 = 2.14\sin(\theta + 80.54^\circ)$

<265> S_3 의 위상은 S_2 의 이득을 변화시킴으로써 고정될 수 있다. $G = 1.74$ 대신 $G = 2.37$ 이라고 하면, $S_2 = 2.37\sin(\theta + 115^\circ)$ 및 $S_3 = 2.14\sin(\theta + 90^\circ)$ 이 된다.

<266> 도 26은 S_1 에 대한 S_2 의 기계적인 오프셋에 해당하는 β 값의 선택에 따라 이득 요소 G 가 출력 위상 γ 에 얼마나 영향을 미치는지 보여준다. 출력 곡선이 90° 부근에서 더 가파를수록 이득 요소 G 의 변화를 통해 γ 를 조절하는 것이 더 쉬워진다. 다시 말해서, 90° 부근에서 곡선이 가파를수록 이득 에러는 최종 출력 각도에 영향을 적게 미치게 된다. 이는 아래의 [테이블 I]에 계산되어 있으며, [테이블 I]는 입력 위상 β 의 90° 위상 쉬프트된 신호를 생성하는 능력에 대한 영향을 요약하고 있다.

<267> [테이블 I] 입력 위상 β 가 감소할수록 각도 해상도는 증가한다. 각도 해상도는 이득 요소 G 가 $\pm 1\%$ 이내에서 얻어질 수 있다는 가정 하에 계산된 것이다.

센서들의 실제 위상 β	이득 요소 G 의 이상적인 값	출력 이득 C 의 계산된 값	이상적인 90° 로부터의 위상 에러
95°	11.474	11.430 A	$\pm 0.06^\circ$
105°	3.864	3.732 A	$\pm 0.16^\circ$
115°	2.366	2.145 A	$\pm 0.28^\circ$
125°	1.743	1.428 A	$\pm 0.44^\circ$
135°	1.414	A	$\pm 0.59^\circ$
145°	1.221	0.700 A	$\pm 0.83^\circ$
155°	1.103	0.466 A	$\pm 1.29^\circ$

<269> 실제 응용에 있어서, β 값의 최적의 선택은 115° 이다. $\beta < \pm 10^\circ$ 라고 가정할 때 최악의 경우에(worst-case) 코사인 위상의 정확도는 $\pm 0.44^\circ$ 가 된다. 다음 단계는 이득 C 의 값을 조절하여 A에 맞추는 것이다. 코사인을 생성하는 이러한 수학적 과정은 도 27의 예시적인 회로에서 구현되어 있다. 코사인 신호는 두 개의 입력

홀 신호들 $A\sin(\theta)$ 및 $AG\sin(\theta + \beta)$ 로부터 생성된다. β 의 위상 정렬 불일치를 조절하기 위해 이득 단계는 조절되어야 한다. 상기의 예는 $A = 0.5V$, $G = 2.366$ 및 $\beta = 115^\circ$ 를 가정한다.

<270> 코사인의 위상을 제거하기 위해 사용된 동일한 방법은 사인의 위상을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 보다 상세하게는, [수학식 39]를 재배열하면 아래의 [수학식 41]이 된다.

<271> [수학식 41]

<272> $S_1 = S_3 - S_2$ or,

<273> $A\sin(\theta) = C\cos(\theta) - G\sin(\theta + \beta)$

<274> $A\sin(\theta)$ 를 위상 쉬프트시키기 위해 또 다른 이득 단계를 S_2 의 출력에 부가하고 [수학식 41]을 적용할 수 있다. 아래의 [수학식 42]를 고려하자.

<275> [수학식 42]

<276> $S_4 = X S_2$

<277> $Y\sin(\theta + \alpha) = C\cos(\theta) - XG\sin(\theta + \beta)$

<278> 여기서, X 및 Y 는 이득 요소들을 나타내고, α 는 쉬프트된 각도를 나타낸다. 상기 변수들은 앞에서 코사인에 대해 적용된 동일한 원리를 이용하여 계산될 수 있다. 도 28은 $A\sin(\theta)$ 의 위상 조절 부분(phase regulation portion)이 도 27의 코사인 생성 회로에 부가되는 것을 나타낸다.

<279> 본 발명의 다른 측면에 있어서, 상응하는 코사인 신호를 생성하기 위해 사인파형일 수 있는 하나의 파형이 사용된다. 해당 기술 분야에서 잘 알려진 바와 같이, 각도 센싱 회로를 개발함에 있어서의 한 장벽은 이전 상태에 대한 메모리를 사용하지 않고 사인파형 입력들을 선형화 하는 것이다. 앞에서 설명한 바와 같이, 선형 출력은 두 개의 사인파형 입력들, 예를 들면 두 개의 공간적으로 위상 쉬프트된 홀 요소들 위에서 하나의 막대 자석을 회전시킴으로써 생성된 사인 및 코사인 신호로부터 제공된다. 본 발명의 예시적인 실시예에서는, 상응하는 코사인 신호를 생성하기 위해 삼각함수 공식이 하나의 사인파형 입력에 적용되었다. 일 실시예에 있어서, 입력 사인파형에 상응하는 삼각파가 생성된다. 상기 삼각파의 생성은 이전 단계에 대한 어떠한 메모리도 필요로 하지 않는다.

<280> 아래의 [수학식 42]로 표현될 수 있는 삼각함수 공식 $\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$ 를 이용하면,

<281> [수학식 42]

<282> $A^2 \sin^2(\theta) + A^2 \cos^2(\theta) = A^2$

<283> (여기서, A 는 이득 요소를 나타내고, θ 는 각도 위치를 나타냄) $\cos(\theta)$ 의 절대값을 계산할 수 있다. [수학식 42]는 [수학식 43]과 같이 표현된다.

<284> [수학식 43]

<285> $|A\cos(\theta)| = +\sqrt{A^2 - A^2 \sin^2(\theta)}$

<286> 이는 정류된 $\cos(\theta)$ 를 제공한다. 상기 공식의 제곱항이 모든 값들을 양수로 만들기 때문에 실제 $\cos(\theta)$ 는 직접 계산될 수 없다. 실제 $\cos(\theta)$ 를 계산하기 위해서는 적당한 지점들에서 상기 정류된 신호를 반전하기 위한 지시 비트를 필요로 한다.

<287> 앞에서 설명한 바와 같이, 선형 출력은 정류된 사인파형 신호를 사용하여 계산될 수 있다. 사인파형 입력은 상응하는 코사인 신호를 생성함으로써 선형화 될 수 있다. 최초에는, 도 29에 도시된 바와 같이, 사인파형 입력 $A\sin(\theta)$ 가 제공된다. 상기 사인파형은 도 30에서와 같이 $A^2 \sin^2(\theta)$ 의 형태를 가지도록 처리된다. 그 후 도 31에서와 같이 $|A\cos(\theta)|$ 가 계산된다. 다음 단계는 [수학식 44] 및 [수학식 45]의 수식에 충실하기 위해 $A\sin(\theta)$ 및 $|A\cos(\theta)|$ 에 상수 G 를 곱하는 것이다.

<288> 도 33에서 도시된 바와 같이, 반전된 "지팡이(cane)" 모양의 파형은 $G\sin(\theta)$ 를 $G|A\cos(\theta)|$ 에 더함으로써 생

성된다. 지팡이 모양의 파형은 덧셈 동작에 의해 상기 $G\sin(\theta)$ 및 $G|\cos(\theta)|$ 보다 $\sqrt{2}$ 배 만큼 더 클 것이다. 도 34에 도시된 바와 같이, 상기 "지팡이" 모양의 파형은 정류된 $G|\cos(q)|$ 에 의해 나누어 질 수 있고, 따라서 그 출력의 이득 및 오프셋은 조정될 수 있다(trimmed). 출력 파형은 원래의 사인파형의 배(peak) 및 골(trough)에 상응한다.

<289> 예시적인 실시예에 있어서 최적의 결과를 위해 [수학식 44] 및 [수학식 45]의 관계가 만족해야 한다.

<290> [수학식 44]

<291> $GA = 0.596(\text{offset})$

<292> [수학식 45]

<293> $\text{offset} \neq 0$

<294> 여기서, G는 앞에서 설명한 이득 요소를 나타내고, offset은 수학적인 0(예를 들면, 그라운드)에 대한 사인파형 신호들의 수직 오프셋을 나타낸다. 예러 원인들이 없는 이상적인 경우에 최소의 비선형성은 0.328° 이다. 사인 형태 신호를 선형화하기 위한 이러한 과정은 도 35에 도시된 예시적인 회로와 같이 회로로 구현될 수 있다. 상기 회로의 출력은 입력 사인파형(1300) 및 삼각파 출력(1302)에 대한 도 36의 시뮬레이션된 결과에서 보여진다. 상기 예에 있어서 입력 사인파형의 주파수는 1kHz이다.

<295> 이러한 알고리즘을 360도 각도 센싱 어플리케이션에 이용하기 위해서는 출력에서 감소하는 부분을 구별하기 위한 방법이 필요하다. 그러나 이는 180도 센서에서는 필요하지 않다. 이러한 구별은 감소하는 부분을 반전시키고 $0^\circ - 180^\circ$ 의 영역을 $180^\circ - 360^\circ$ 의 영역과 구별하는 지시 비트의 형태가 될 수 있다. 이러한 지시 비트는 자기장의 극성(즉, N극 및 S극)을 구별하는데 사용되는 추가적인 자기장 센서의 형태가 될 수 있다. 이러한 지시 비트가 없다면 상기 알고리즘은 $0^\circ - 180^\circ$ 의 영역에만 적용될 수 있을 것이다. 출력의 위상이 -45° 의 위상 쉬프트 대신 -90° 의 위상 쉬프트를 갖는다는 점에서 출력은 [수학식 1]의 메카니즘과 다르다. [수학식 1]의 실시예에서 위상 쉬프트는 0° 가 출력이 최소가 되는 지점으로 생각된다.

<296> 본 발명의 다른 측면에 있어서, 입력 사인파형들의 이득 및 오프셋은 최종 출력 에러를 줄이기 위해 제어된다. 자동 이득 제어기(Automatic Gain Control, AGC) 및 자동 오프셋 조절기(Automatic Offset Adjust, AOA)는 앞에서 설명한 각도 센싱 실시예에 적용될 수 있다. 예를 들면, 일 실시예는 오프셋 조절 디지털 아날로그 변환기들(digital-to-analog converters, DACs) 및 증폭기의 이득을 제어하기 위해 현재의 DAC로부터 입력 전류를 수신하는 이득 셀 트랜스컨덕터들(gain cell transconductors)을 사용한다. 참고문헌으로써 여기에 포함된 미국 특허 No. 7,026,808, No. 6,919,720 및 No. 6,815,944는 예시적인 AGC 회로들을 개시하고, 참고문헌으로써 여기에 포함된 2006년 4월 17일에 출원된 미국 특허 출원 No. 11/405,265는 예시적인 AOA 실시예들을 개시한다.

<297> 다른 실시예에 있어서, 이득 제어를 갖는 회로는 입력들이 $A_1\sin(\theta)$ 및 $A_2\cos(\theta)$ 라는 사실에 의존한다 (A_1 및 A_2 는 신호들의 이득을 나타냄). 신호들의 이득들이 일치한다면(즉, $A_1 = A_2 = A$), 실제 이득 A를 계산하기 위해

삼각함수 공식 $A = \sqrt{(A\sin(\theta))^2 + (A\cos(\theta))^2}$ 을 회로로 구현할 수 있다. 사인파형들을 A(A는 위의 수학식을 사용하여 계산된 것임)배하는 것은 공극 이동에 의한 변동에 무관하게 최종적인 일정한 이득을 나타낼 것이다. 이러한 이득 제어 방법은 오프셋이 0이고 이득들이 일치하는 신호들에 있어서 효과적이고, 다른 AGC 방법들과 함께 사용될 수 있다.

<298> 이득 및 오프셋은, 예를 들면 라인 테스트(line test)의 마지막 단계 및(또는) 소비자 최종 테스트 단계에서 조정될 수 있다(trimmed). 또한 장치에 전원이 공급될 때에 조절될 수도 있고 동작 모드 중에 동적으로 변화할 수도 있다.

<299> 동작 도중에 이득 및 오프셋의 동적 조정이 필요하다면 장치는 조정 모드를 활성화 또는 비활성화 시키는 캘리브레이션(calibration) 핀을 구비할 수 있다. 상기 핀은 또한 AGC 및 AOA 보정이 출력에 적용되는 업데이트(update) 속도를 제어할 수 있다. 상기 업데이트 주파수는 타이밍(timing) 메카니즘에 의해 제어되거나 알고리즘의 최종 출력 램프의 하강 에지(edge) 천이에 상응할 수 있다.

<300> 도 37 및 38은 동작 모드 중에 타이밍 메카니즘을 통한 AGC 및 AOA의 속도 제어에 대한 예시적인 방법을 나타낸다. 캘리브레이션 핀(CAL) 위에 있는 외부 캐패시터(C)는 중앙 노드(node)를 충전한다. 상기 캐패시터(C)의 전압이 V_{REF} 가 되면, 비교기(CO)는 활성화되어 상기 캐패시터를 방전한다. 상기 비교기(CO)의 출력은 짧은 구간의

하이레벨 펄스가 될 것이다. AOA 및 AGC 보정은 상기 비교기가 하이레벨 펄스를 출력할 때마다 업데이트될 수 있다. 다른 크기의 캐패시터들을 선택함으로써 상기 비교기 펄스들의 속도를 제어할 수 있다. 상기 칼리브레이션 핀(CAL)을 LOW로 고정시키면 동적 업데이트 모드는 차단될 것이다.

<301> 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 앞에서 설명한 실시예들에 기초하여 본 발명의 보다 넓은 특징들 및 장점들을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명은 하기의 특허청구범위에 의해 표현된 바 이외에는 개시된 실시예 및 설명에 의해 한정되지 않는다. 여기에 언급된 모든 출판물 및 참고자료들은 그것들의 전체에 대한 참조로써 여기에 명백히 포함된다.

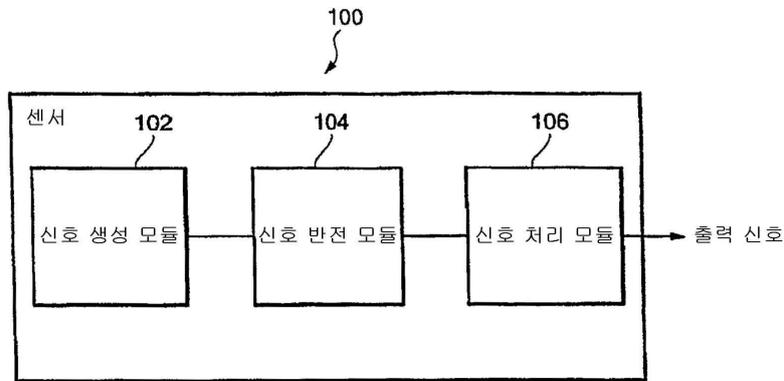
도면의 간단한 설명

- <12> 본 발명 자체는 물론 앞에서 설명한 본 발명의 특징들은 하기 도면들에 대한 아래의 자세한 설명에 의해 보다 잘 이해될 수 있을 것이다.
- <13> 도 1은 본 발명에 따른 예시적인 아날로그 각도 센서의 블록도이다.
- <14> 도 1A는 본 발명에 따른 센서의 일부분을 형성할 수 있는 홀(Hall) 요소를 도식화한 것이다.
- <15> 도 2는 모델화된 사인 및 코사인 신호, 상기 사인 및 코사인 신호의 평균 신호 및 [수학식 1]의 관계에 기초한 출력 신호를 나타내는 그래프이다.
- <16> 도 3은 반전 영역을 갖는 모델화된 사인, 코사인, 평균 및 출력 신호를 나타내는 그래프이다.
- <17> 도 4는 선형 및 비선형 출력 영역을 위한 영역 지시 신호를 나타내는 그래프이다.
- <18> 도 5는 본 발명에 따른 아날로그 각도 센서의 예시적인 회로 구현이다.
- <19> 도 6은 도 5에 도시된 회로의 신호 생성 부분의 회로도이다.
- <20> 도 7은 도 5에 도시된 회로의 신호 반전 부분의 회로도이다.
- <21> 도 8은 도 5에 도시된 회로의 신호 처리 부분의 회로도이다.
- <22> 도 9는 본 발명에 따른 예시적인 센서 패키지를 도식화한 것이다.
- <23> 도 9A는 제 1 및 제 2 다이(die)를 포함하는 센서의 블록도이다.
- <24> 도 10은 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 각도 센서에 의해 생성된 신호들을 나타내는 그래프이다.
- <25> 도 11은 고리자석 및 센서들의 도식화 및 사인 및 코사인 신호를 나타낸다.
- <26> 도 11A는 사인 및 코사인 신호를 생성할 수 있는 도넛(donut) 형태의 멀티폴(multi-pole) 자석을 도식화한 것이다.
- <27> 도 12는 도 11의 구조를 통해 생성된 신호들을 나타내는 그래프이다.
- <28> 도 13은 고리자석 및 센서들의 도식화 및 사인 및 코사인 신호를 나타낸다.
- <29> 도 14는 또 다른 고리자석 및 센서들의 도식화 및 사인 및 코사인 신호를 나타낸다.
- <30> 도 15는 사인파형 신호의 한 주기 동안 생성된 램프들을 포함하는 신호들을 나타내는 그래프이다.
- <31> 도 16은 제 1 영역 디코더 비트를 나타내는 그래프이다.
- <32> 도 17은 제 2 영역 디코더 비트를 나타내는 그래프이다.
- <33> 도 18은 예시적인 구현을 나타내는 회로도이다.
- <34> 도 19는 도 18의 회로의 시뮬레이션을 나타내는 그래프이다.
- <35> 도 20은 상보 파형 평균을 나타내는 그래프이다.
- <36> 도 21은 파형 평균의 예시적인 구현을 나타내는 회로도이다.
- <37> 도 22는 오프셋을 갖는 두 개의 홀 요소들 및 생성된 신호들을 나타낸다.
- <38> 도 23은 제 1 신호 생성 단계를 나타내는 그래프이다.

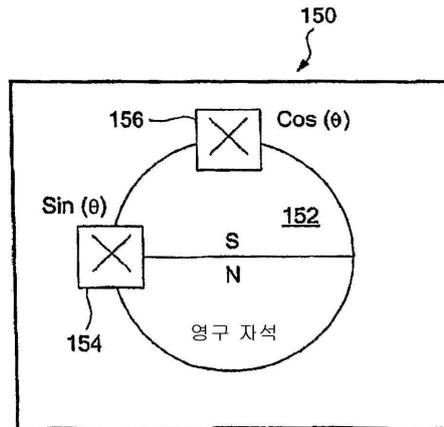
- <39> 도 24는 제 2 신호 생성 단계를 나타내는 그래프이다.
- <40> 도 25는 제 3 신호 생성 단계를 나타내는 그래프이다.
- <41> 도 26은 입력 이득 요소(gain factor), 입력 각도 및 출력 각도를 나타내는 그래프이다.
- <42> 도 27은 예시적인 구현을 나타내는 회로도이다.
- <43> 도 28은 도 27의 회로의 보다 상세한 예시적인 구현을 나타내는 회로도이다.
- <44> 도 29는 제 1 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <45> 도 30은 제 2 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <46> 도 31은 제 3 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <47> 도 32는 제 4 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <48> 도 33은 제 5 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <49> 도 34는 제 6 신호 처리 단계를 나타내는 그래프이다.
- <50> 도 35는 예시적인 구현을 나타내는 회로도이다.
- <51> 도 36은 도 35의 회로의 시뮬레이션된 출력을 나타내는 그래프이다.
- <52> 도 37은 AGC 및(또는) AOA 타이밍(timing) 회로의 개념도이다.
- <53> 도 38은 도 37의 회로의 신호들을 나타내는 그래프이다.

도면

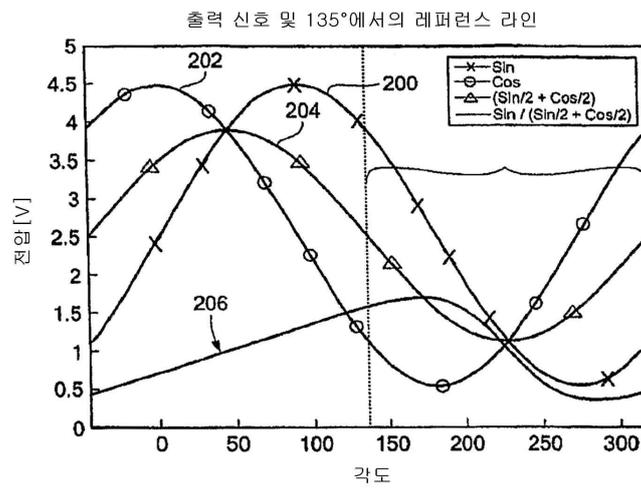
도면1



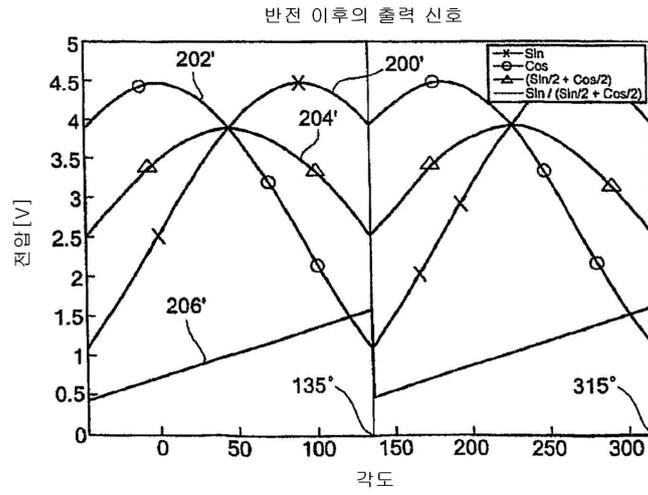
도면1A



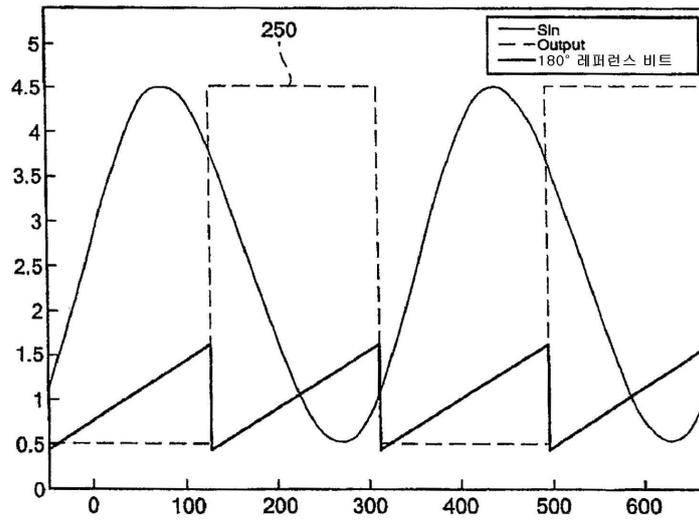
도면2



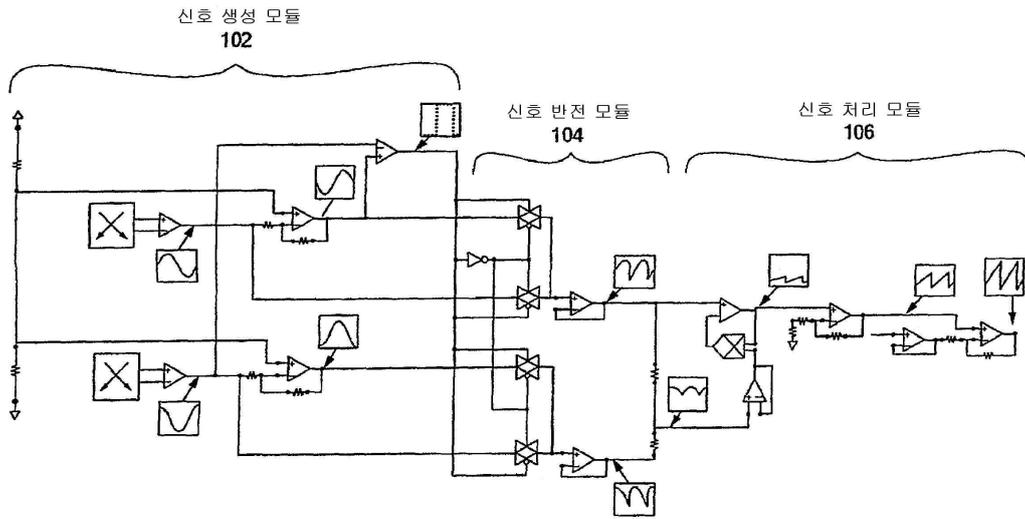
도면3



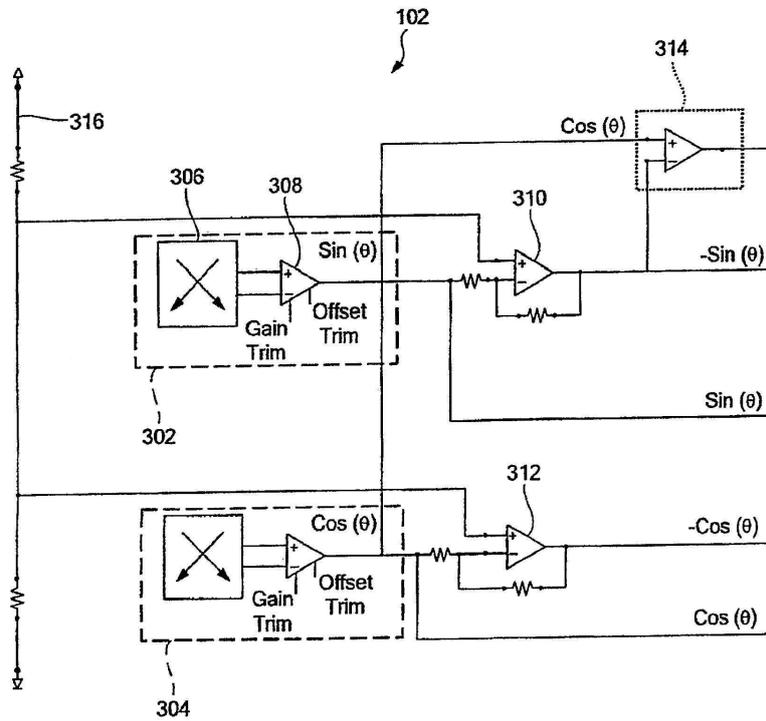
도면4



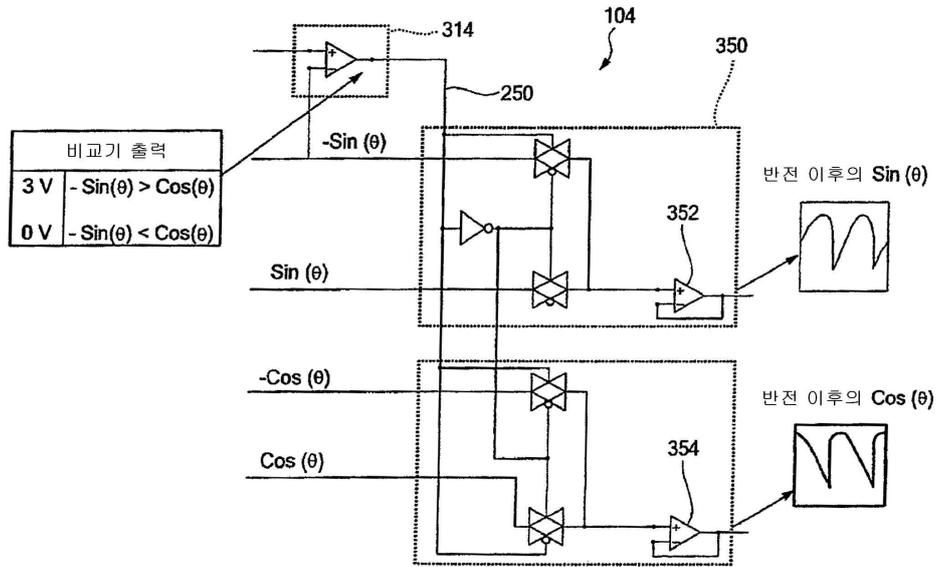
도면5



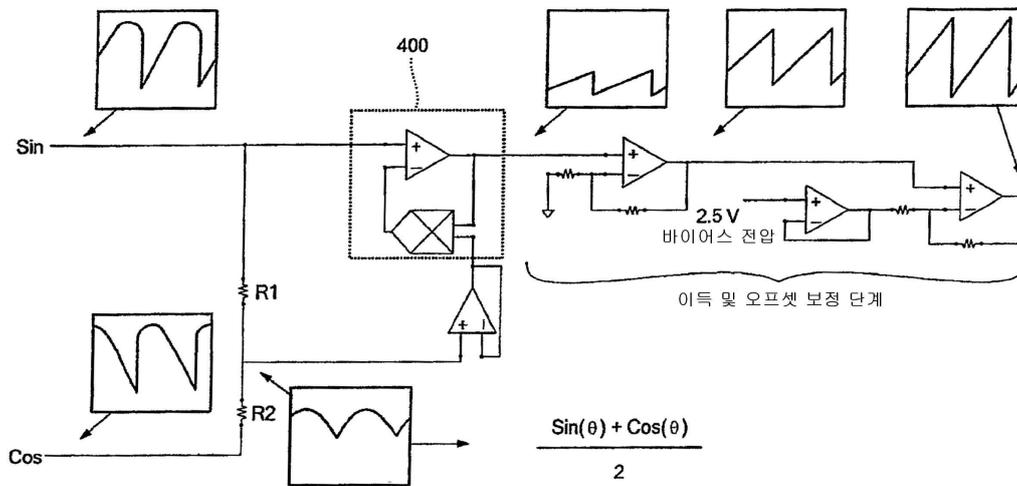
도면6



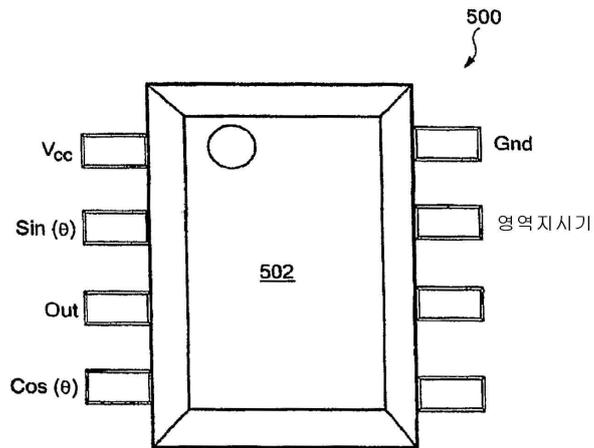
도면7



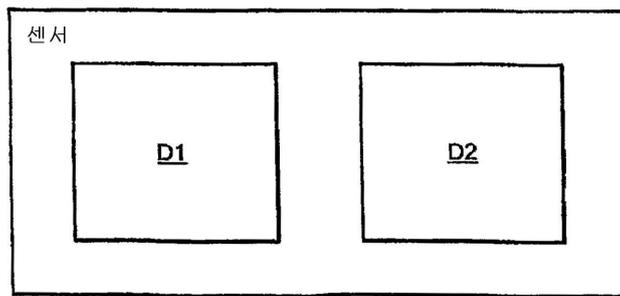
도면8



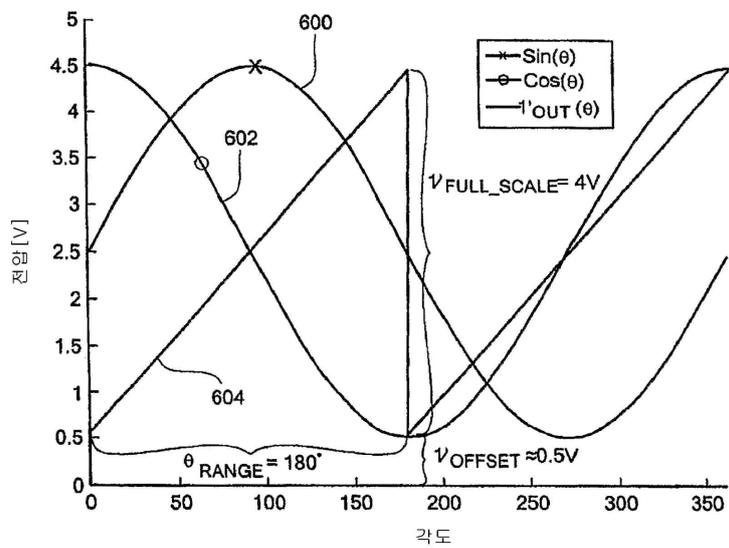
도면9



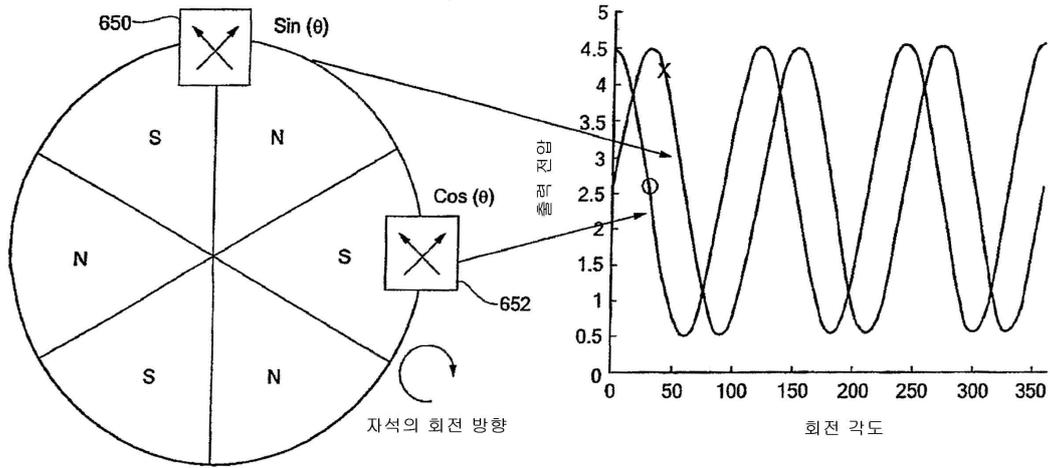
도면9A



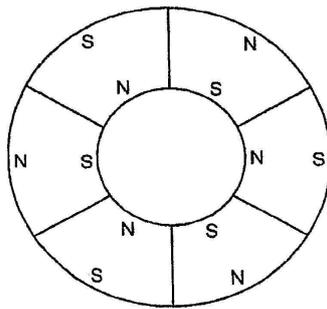
도면10



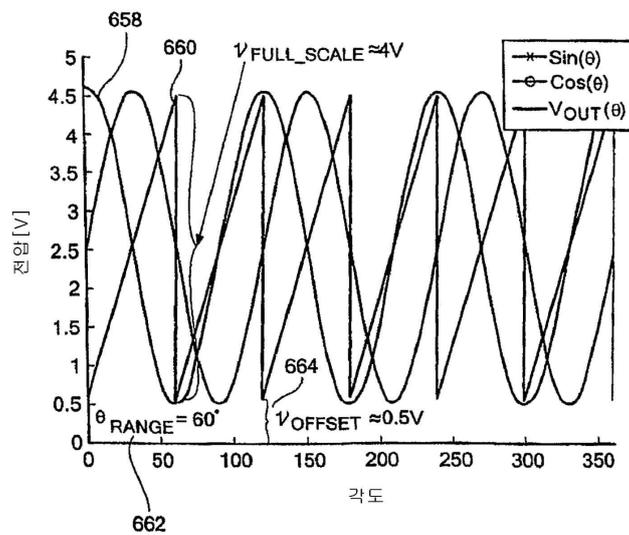
도면11



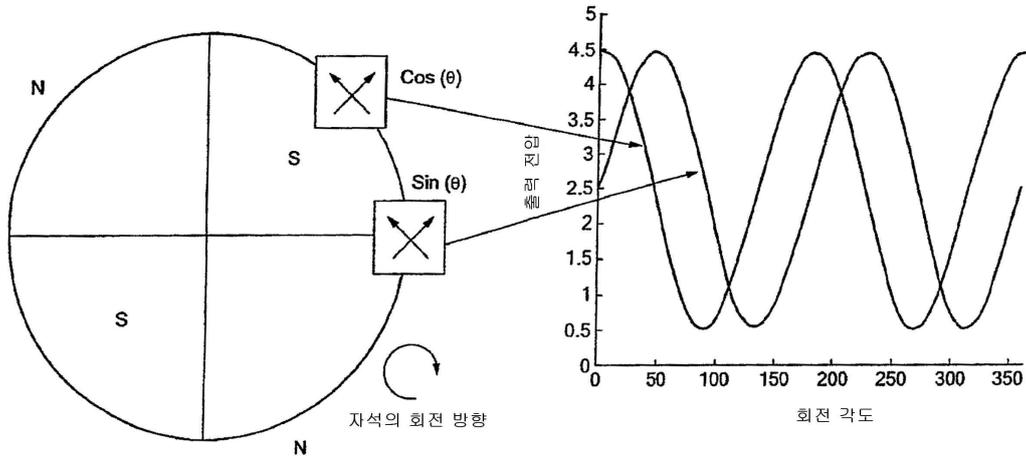
도면11A



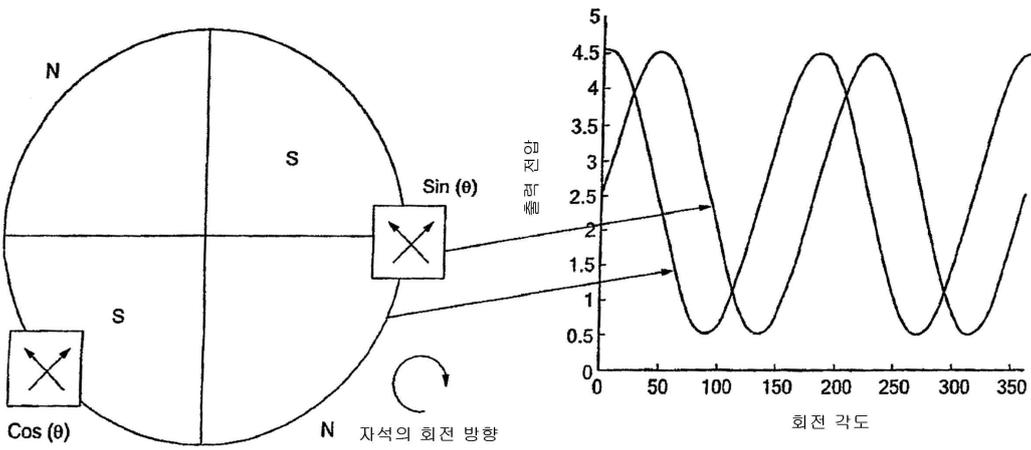
도면12



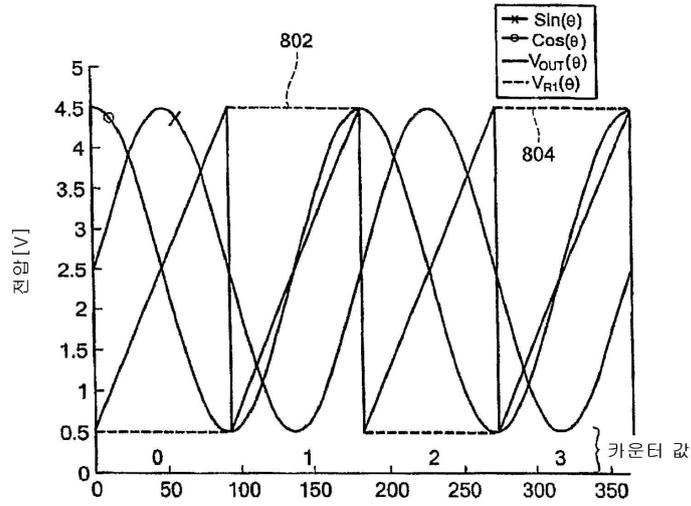
도면13



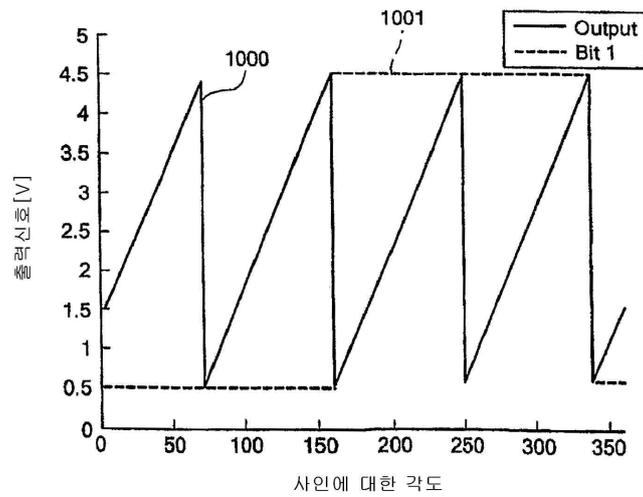
도면14



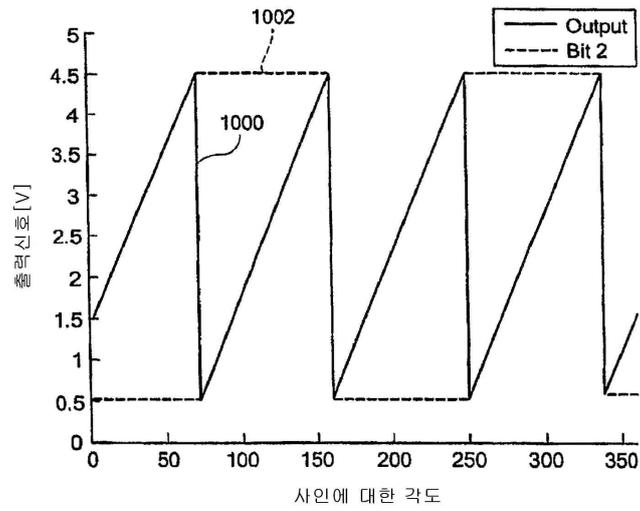
도면15



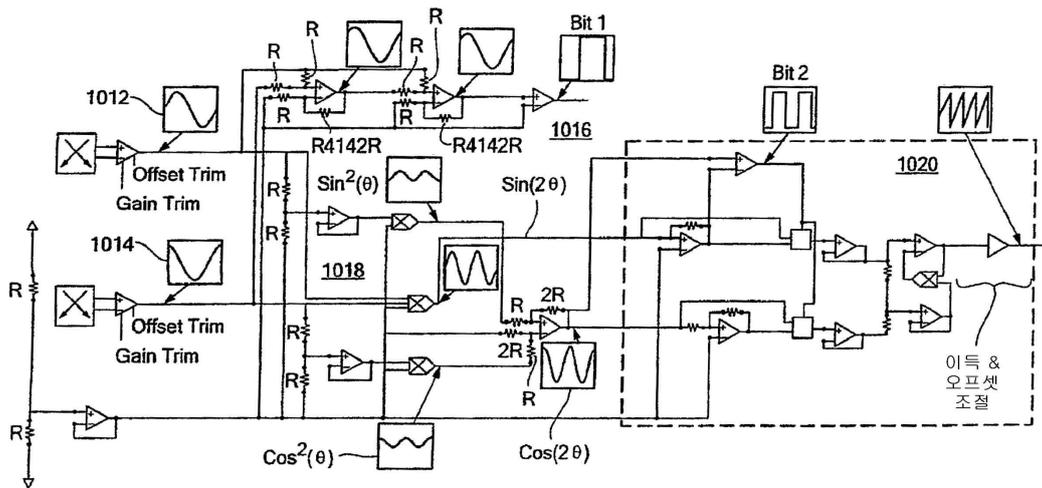
도면16



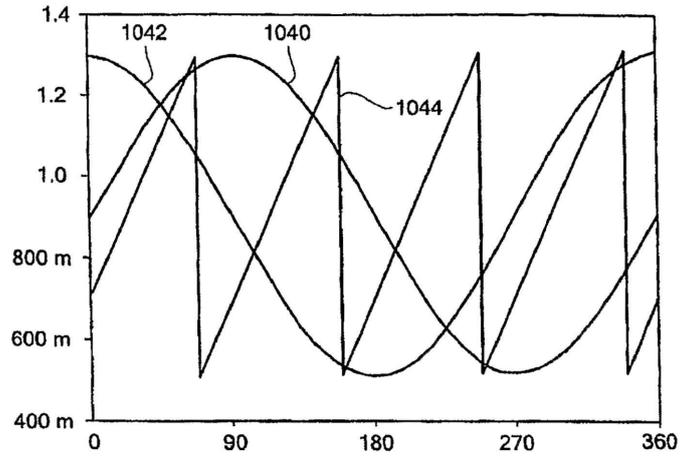
도면17



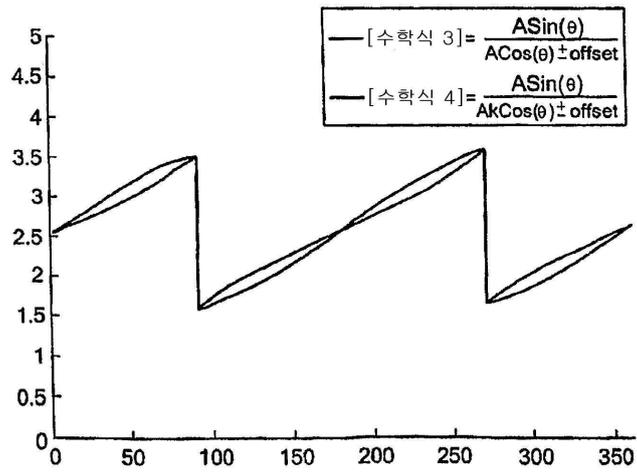
도면18



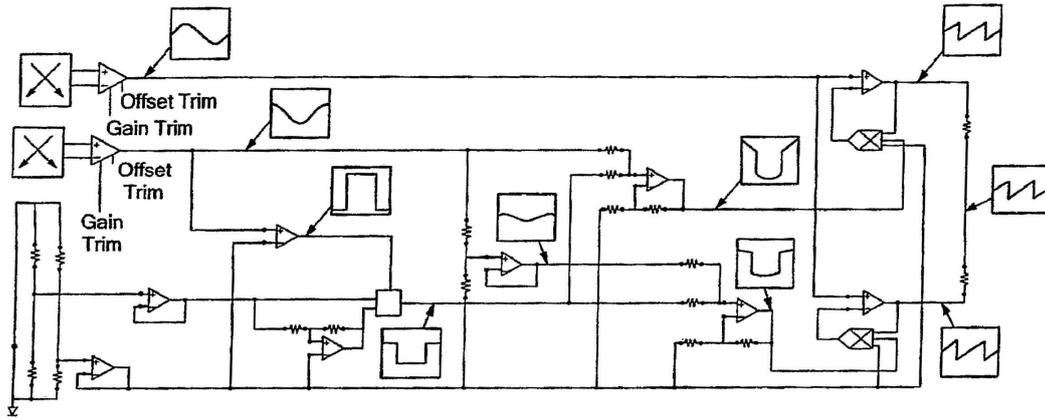
도면19



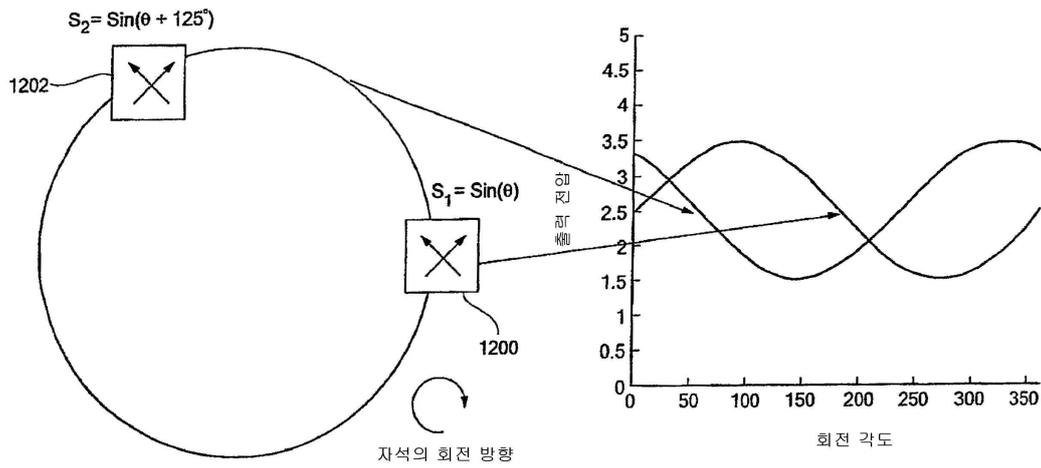
도면20



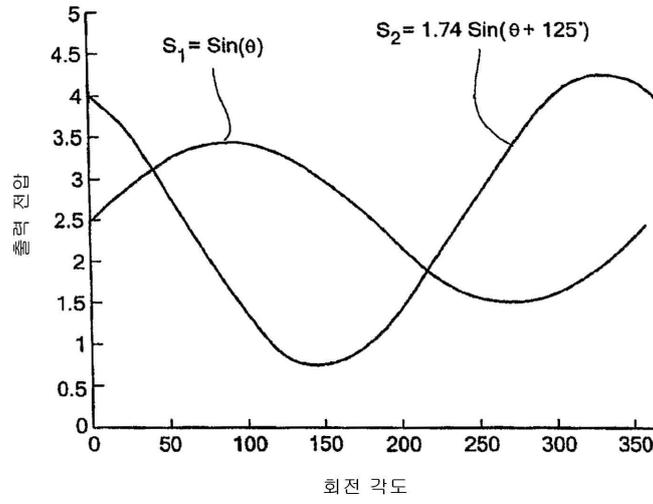
도면21



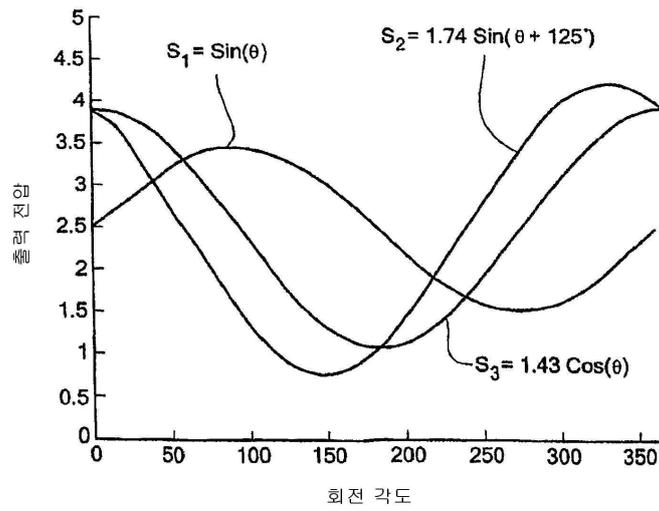
도면22



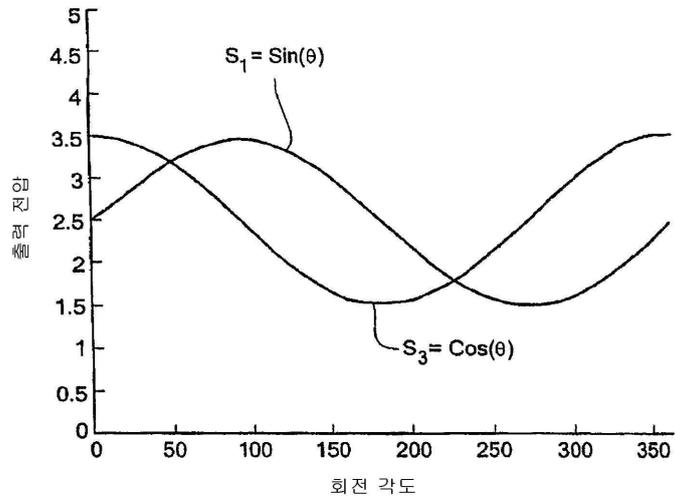
도면23



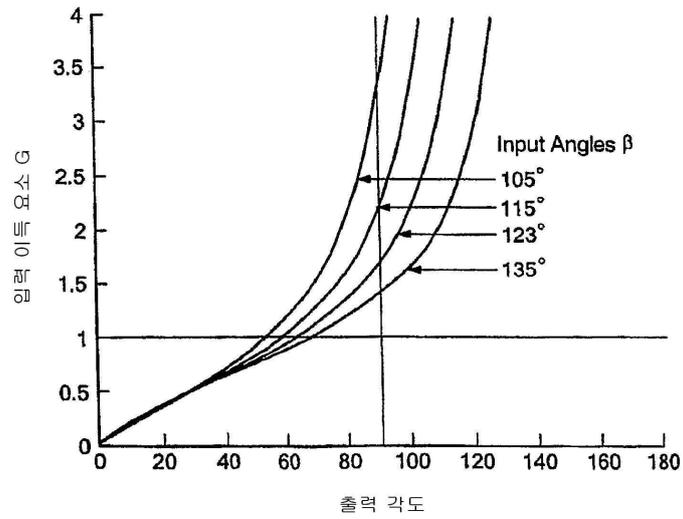
도면24



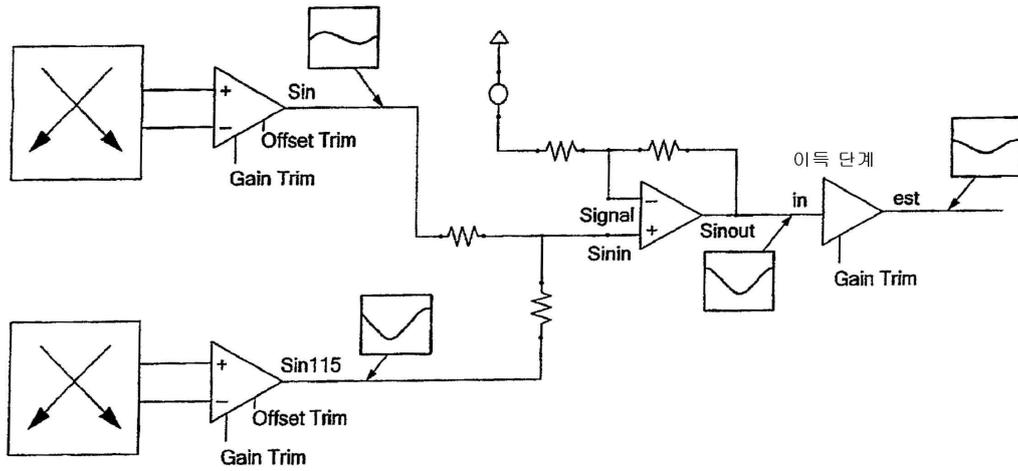
도면25



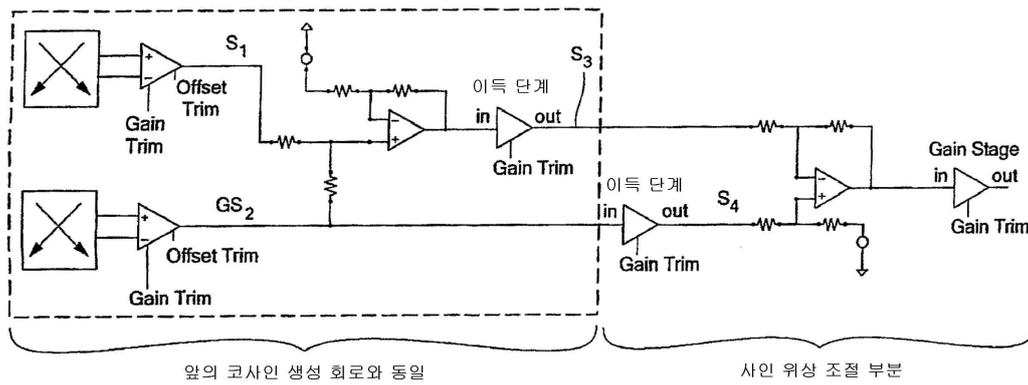
도면26



도면27



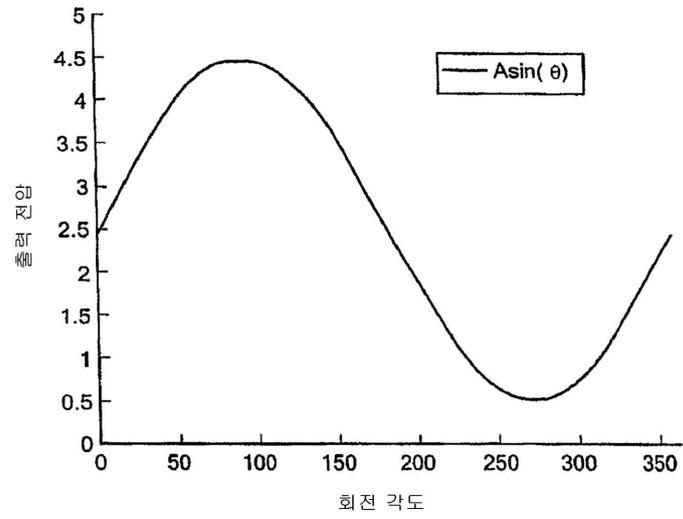
도면28



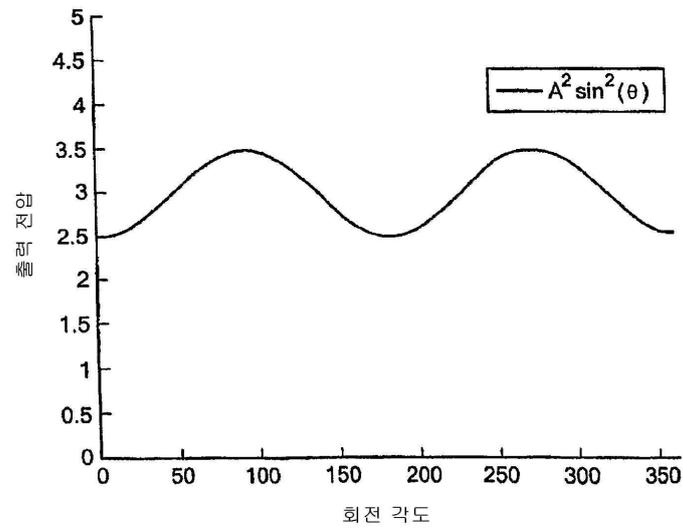
앞의 코사인 생성 회로와 동일

사인 위상 조절 부분

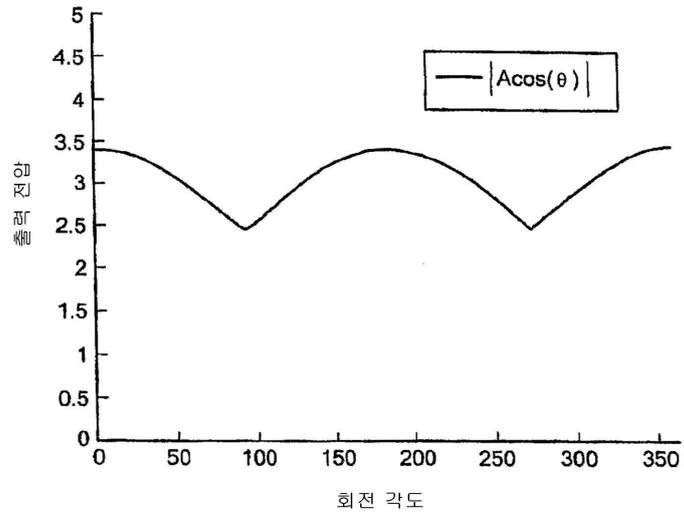
도면29



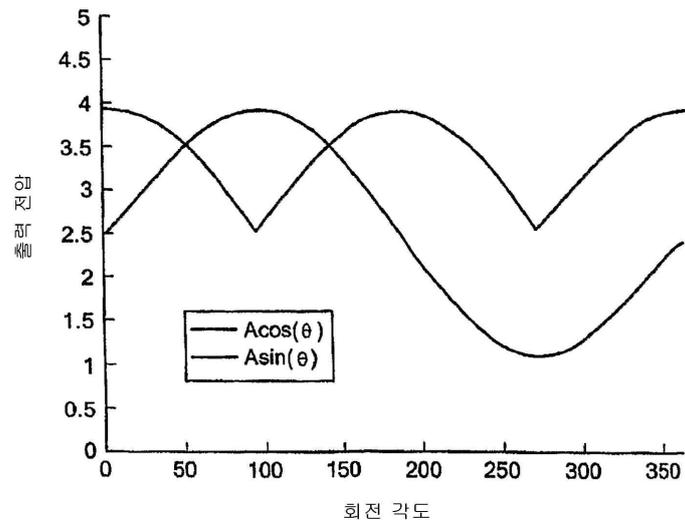
도면30



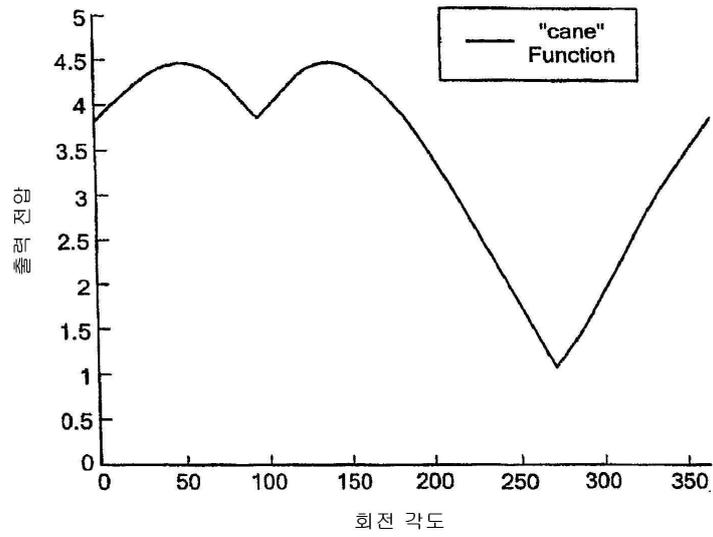
도면31



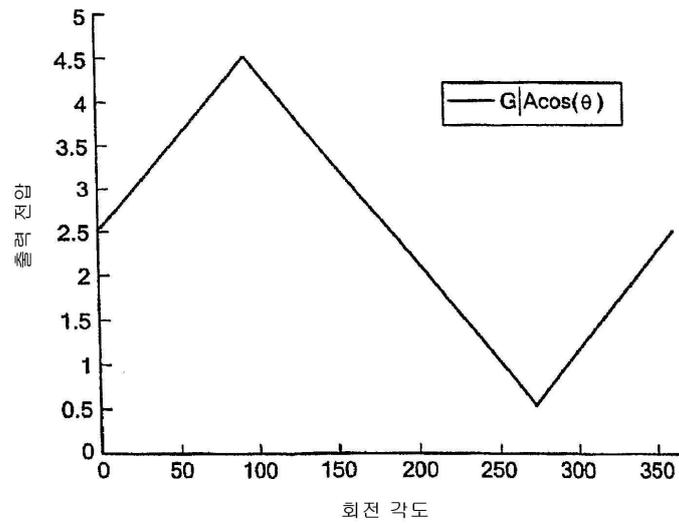
도면32



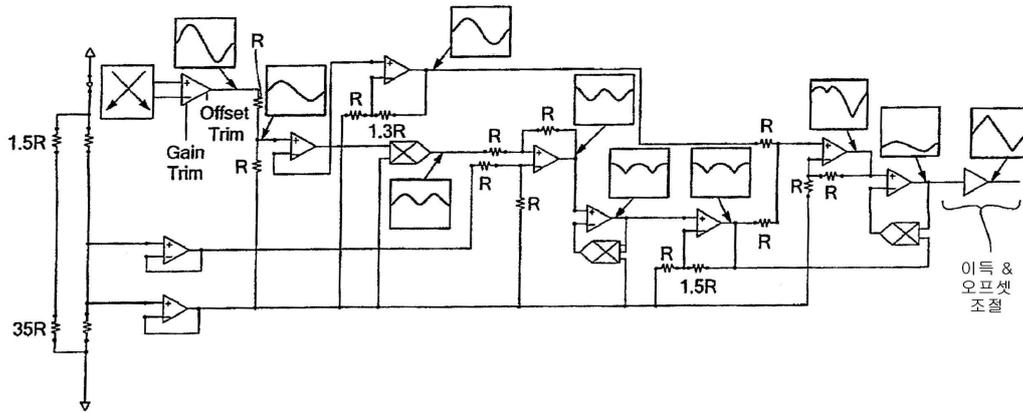
도면33



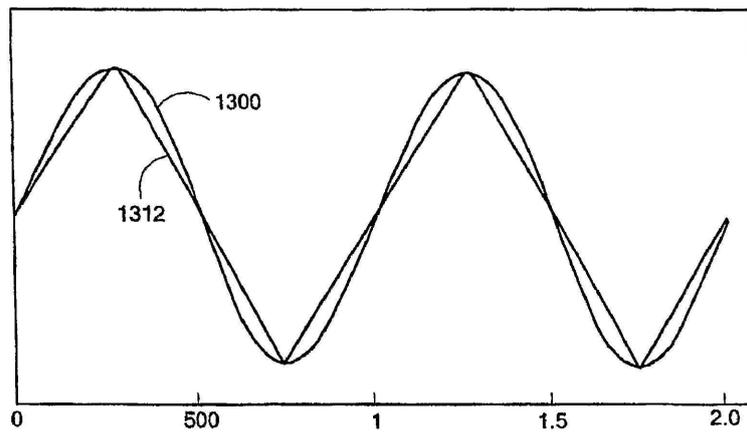
도면34



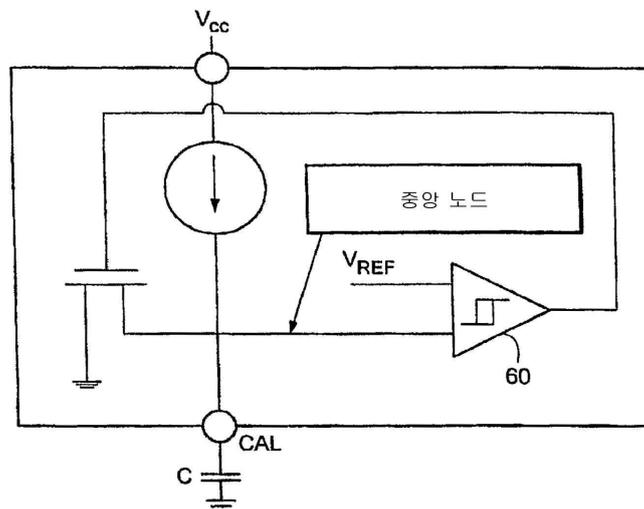
도면35



도면36



도면37



도면38

