



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년05월13일  
(11) 등록번호 10-0828737  
(24) 등록일자 2008년05월02일

(51) Int. Cl.

H01F 27/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0112425  
(22) 출원일자 2006년11월14일  
심사청구일자 2006년11월14일

(56) 선행기술조사문헌  
KR1020010087621 A  
KR1020030084903 A  
KR1020040055747 A  
KR200154966 Y1

(73) 특허권자

두원공과대학산학협력단

경기도 안성시 죽산면 장원리 678 두원공과대학내  
에이컴업(주)

경기 수원시 영통구 원천동 산5 아주대학창업보육  
센터

(72) 발명자

김호중

경기 평택시 비전동 876 한빛아파트 103동 501호

신교원

경기 고양시 일산서구 가좌동 1089 가좌마을  
208-1001

김철한

부산 해운대구 중2동 1476-6 해연빌라 B동 102호

(74) 대리인

특허법인정직과특허

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 강철수

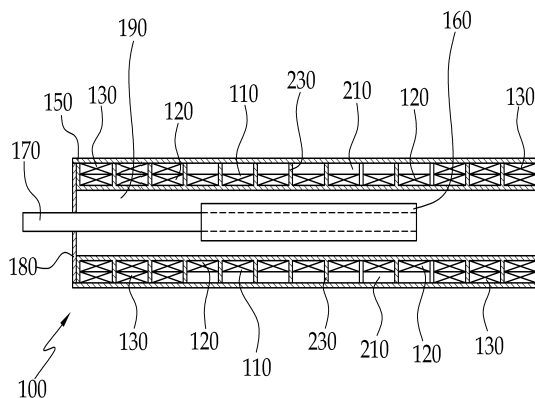
(54) 선형 가변 차동 변환기

(57) 요약

본 발명은 이중이차코일을 가진 새로운 LVDT 모델을 개발하여 몸체의 길이에 비해 광범위(Long Range)까지 선형화 측정이 가능한 선형가변차동변환기에 관한 것으로, 코일을 감는 포머, 기계적 변위를 감지하도록 자기장을 유도하는 코어, 상기 코어를 지지해주는 지지봉, 차폐케이스 및 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어주는 코일로 구성된 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 포머는 한 개의 일차코일용 포머와 두 개의 이차코일용 포머로 접촉 조립되고, 상기 일차코일용 포머와 두 개의 이차코일용 포머의 각각에 형성되어 코일이 동일한 폭으로 권선되도록 하는 다수의 포켓, 상기 포켓 사이의 간격이 일정하도록 분리하는 다수의 칸막이 및 상기 포켓 사이의 와이어의 연속성을 유지하기 위하여 상기 칸막이의 일측에 형성되는 슬롯을 포함하여 구성된다.

본 발명에 따른 선형가변차동변환기는 LVDT의 포머, 코어 및 기타 부품의 사양을 결정하여 상세설계를 수행하고, 적절한 권선기를 제작하여 LVDT의 선형화 구간이 LVDT 길이의 약 90%로 나타난다.

대표도 - 도3



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

코일을 감는 포머, 기계적 변위를 감지하도록 자기장을 유도하는 코어, 상기 코어를 지지해주는 지지봉, 차폐케이스 및 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어주는 코일로 구성된 선형가변차동변환기에 있어서,

상기 포머는 한 개의 일차코일용 포머와 두 개의 이차코일용 포머로 접착 조립되고,

상기 일차코일용 포머와 두 개의 이차코일용 포머의 각각에 형성되어 코일이 동일한 쪽으로 권선되도록 하는 다수의 포켓,

상기 포켓 사이의 간격이 일정하도록 분리하는 다수의 칸막이 및

상기 포켓 사이의 와이어의 연속성을 유지하기 위하여 상기 칸막이의 일측에 형성되는 슬롯을 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 2**

제 1항에 있어서,

상기 코어의 일측 내부에 나사탭을 형성하고, 변위를 측정하기 위한 측정 대상을 상기 나사탭에 결합하는 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 3**

제 2항에 있어서,

상기 일차코일용 포머에는 5개의 일차용 포켓이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 4**

제 3항에 있어서

상기 이차코일용 포머에는 상기 일차용 포켓의 양측에 각각 4개의 2차용 포켓이 형성된 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 5**

제 4항에 있어서,

상기 이차코일용 포머의 바깥쪽 3개의 포켓에는 이중이차코일이 더 권선되는 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 6**

제 5항에 있어서,

상기 선형가변차동변환기에서 출력전압( $v_o$ )과 입력전압( $v_i$ )은

$$v_o = \frac{-i\omega\Delta MR_L}{R_1(R_2 + R_L) + i\omega[(R_2 + R_L)L_1 + R_1(L_1 + L_2)] - \omega^2[L_1(L_2 + L_3) - \Delta M^2]} v_i$$

(단,  $L_1$ ,  $R_1$ 는 각각 일차코일의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_2$ ,  $R_2$ 는 각각 이차코일의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_3$ ,  $R_3$ 는 각각 이중이차코일의 인덕턴스와 리액턴스)관계인 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

**청구항 7**

제 6항에 있어서,

상기 와이어는 미끄러짐이 방지되고 효율을 향상시키기 위하여, 외측에 접착액이 코팅되어 권선되는 것을 특징으로 하는 선형가변차동변환기.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <14> 본 발명은 선형가변차동변환기에 관한 것으로, 특히 이중이차코일을 가진 새로운 LVDT 모델을 개발하여 몸체의 길이에 비해 광범위(Long Range)까지 선형화 측정이 가능한 선형가변차동변환기에 관한 것이다.
- <15> 일반적으로 선형가변차동변환기(Linear Variable Differential Transformer; 이하 'LVDT'로 칭함)는 상호인덕턴스(Mutual-Inductance)의 변화를 이용하는 소자이며, 기계적, 전기적으로 분리되어 움직이게 할 수 있는 코어의 변위에 비례하여 전기적 출력이 발생 된다.
- <16> 간단한 형태로서 LVDT는 도 1에 나타낸 바와 같이, 코일을 감는 포머(Former)(60)와 기계적 변위를 감지하는 코어(Core)(30), 코어(30)를 지지해주는 지지봉(40), 외부에서 발생하는 자기적간섭과 1차측과 2차측 사이에서 발생하기 쉬운 와전류(Eddy Current)를 제거하기 위한 차폐케이스(50), 그리고 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어주는 일차코일(Primary Coil)(10)과 이차코일(Secondary Coil)(20)로 구성된다.
- <17> 전기적 절연이 높은 원통형의 포머(60)는 코일을 감을 수 있게 3부분으로 나누어지며 중간 부분에 AC전압을 공급하는 일차코일(10)을 감고, 1차측으로부터 동일한 간격을 유지하면서 대칭적으로 동일한 모양을 가진 이차코일(20)을 감아서 외부적으로 반대방향으로 직렬 연결되어 있다.
- <18> 비자성체 코어(Non-Magnetic Core)(30)의 운동은 각각의 2차측에서 발생하는 여기 전압(Induced Voltage)을 일으키게 하는 1차측과 2차측의 상호인덕턴스를 변하게 한다.
- <19> 만약 코어(30)가 2차 권선들 사이의 중간에 위치한다면 각각의 2차측에 유기되는 기전력은 동일하고 180° 위상을 유지하기 때문에 출력은 영(Zero)이 된다.
- <20> 그런데, 코어(30)가 움직여서 중간을 벗어난다면 한편의 2차측과 1차측 사이의 상호 인덕턴스는 다른 쪽 2차측과 1차측 사이에서 발생하는 상호 인덕턴스보다 크게 되어 직렬로 연결되어 있는 2차측 출력단자에서는 차동전압(Differential Voltage)이 발생된다.
- <21> 코어(30)의 동작 범위 안에서 이러한 변위에 따라 발생하는 차동전압은 본질적으로 선형적으로 변한다.
- <22> 그리고, 코어(30)와 코일(10, 20) 사이에는 실질적인 접촉이 없기 때문에 LVDT의 기계적 부분은 마모되거나 약화 되지 않는다.
- <23> 따라서, 출력에 영향을 주는 마찰이 없기 때문에 무한한 분해도를 얻을 수 있으며 히스테리시스(Hysteresis)가 존재하지 않는다.
- <24> 또한, 코어(30)의 크기가 작고 마찰이 적음으로써 동적 측정(Dynamic Measurement)에 대하여 응답특성을 높일 수 있고, 기계적 과부하에 의한 영향이 없다.
- <25> 도 1에 도시된 바와 같이, 종래의 LVDT를 수학적으로 해석하면 철(Iron)을 원통형으로 가공한 코어(30)의 반경을  $r_c$ , 길이를  $L_a$ 라 하고 코일(10, 20)의 외부 반경을  $r_o$ , 내부 반경을  $r_i$ 로 한다.
- <26> 일차코일(10)이 감기는 부분의 넓이를  $b$ , 이차코일(20)이 감기는 부분의 넓이를  $m$ , 일차코일(10)과 이차코일(20) 사이의 간격을  $d$ 라고 하고, 일차코일(10)의 권선수를  $N_p$ , 이차코일(20)의 권선수를  $N_s$ 라고 했을 때, 다소간의 수학적 계산을 거치면 수학식 1, 2와 같은 좌측부의 2차측 출력전압과 우측부의 2차측 출력전압을 얻게 된다.
- <27> 즉, 주파수  $f$ 를 가진 정현파 여기전류  $I_p$ 가 일차코일(10)에 공급되었을 때 이차코일(20)에 유도되는 전압  $e_1$ 은 수학식 1로 표현된다.

**수학식 1**

<28> 
$$e_1 = \frac{4 \pi^3}{10^7} \cdot \frac{f I_p N_p N_s}{l_n (r_o / r_i)} \cdot \frac{(2 L_2 + b) x_1^2}{m L_a}$$

<29> 이와 마찬가지로, 이차코일(20)의 또 다른 한쪽 코일에 유도되는 전압  $e_2$ 는 수학식 2와 같다.

**수학식 2**

<30> 
$$e_2 = \frac{4 \pi^3}{10^7} \cdot \frac{f I_p N_p N_s}{l_n (r_o / r_i)} \cdot \frac{(2 L_2 + b) x_2^2}{m L_a}$$

<31> 수학식 1과 2에 따라 외부적으로 반대로 연결되어 있는 이차코일(20)의 양 코일에서 출력되는 전압  $v_o$ 는 수학식 3과 같이 차동전압(Differential Voltage)으로 출력된다.

**수학식 3**

<32> 
$$v_o = e_1 - e_2 = K_1 x \left( 1 - \frac{x^2}{K_2} \right)$$

<33> 여기에서  $K_1$ 은 LVDT의 감응도(Sensitivity)가 되며,  $K_2$ 는 비선형 상수(Non-linearity Factor)가 되며,  $K_1$ 과  $K_2$ 는 다음 수학식 4, 5와 같다.

**수학식 4**

<34> 
$$K_1 = \frac{16 \pi^3 f I_p N_p N_s (b + 2d) x_0 + x_0^2}{10^7 l_n (r_o / r_i) m L_a}$$

**수학식 5**

<35> 
$$K_2 = (b + 2d) x_0 + x_0^2$$

<36> 여기에서  $x_0 = (x_1 + x_2)/2$ 이다.

<37> 상기 수학식 1과 수학식 2에 의한 LVDT의 출력전압은 도 2에 도시된 바와 같이 변위에 따라 S자형 출력형태로 나타나고, 한 출력전압에 대해 2개의 상이한 변위값을 가지며, 선형구간이 매우 짧고, S자형 출력 변곡점 이전까지만 선형화할 수 있다.

<38> 또한, 변곡점 부근에서는 변위에 따른 출력전압의 변화가 미소하므로 감도가 현저히 감소하게 된다.

<39> 상기와 같은 이유로 LVDT의 특성상 출력전압은 변위에 따라 S자형 변곡점을 출력으로 선형구간이 짧아 전체 길이에 비해 측정구간이 짧다는 문제점이 있다.

<40> 또한, LVDT를 디지털화하기 위해 출력곡선을 비선형부분까지 확장하여 선형화할 경우 영점을 기준으로 선형화해야 하는데 코어와 몸체분리형의 경우 기준점을 정할 수 없다는 문제점이 있다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

<41> 본 발명의 목적은 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 이중이차코일을 가진 새로운 LVDT 모델을 개발하여 몸체의 길이에 비해 광범위(Long Range)까지 선형화 측정이 가능한 선형가변차동변환기를 제공하는 것이다.

**발명의 구성 및 작용**

<42> 본 발명은 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따른 선형가변차동변환기는 코일을 감는 포머, 기계적 변위를 감지하도록 자기장을 유도하는 코어, 상기 코어를 지지해주는 지지봉, 차폐케이스 및 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어주는 코일로 구성된 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 포머는 한 개의 일차코일용 포머와 두 개의

이차코일용 포머로 접착 조립되고, 상기 일차코일용 포머와 두 개의 이차코일용 포머의 각각에 형성되어 코일이 동일한 쪽으로 권선되도록 하는 다수의 포켓, 상기 포켓 사이의 간격이 일정하도록 분리하는 다수의 칸막이 및 상기 포켓 사이의 와이어의 연속성을 유지하기 위하여 상기 칸막이의 일측에 형성되는 슬롯을 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

<43> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 코어의 일측 내부에 나사탭을 형성하고, 변위를 측정하기 위한 측정 대상을 상기 나사탭에 결합하는 것을 특징으로 한다.

<44> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 일차코일용 포머에는 5개의 일차용 포켓이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 한다.

<45> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 이차코일용 포머에는 상기 일차용 포켓의 양측에 각각 4개의 2차용 포켓이 형성된 것을 특징으로 한다.

<46> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 이차코일용 포머의 바깥쪽 3개의 포켓에는 이중이차코일이 더 권선되는 것을 특징으로 한다.

<47> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 선형가변차동변환기에서 출력전압( $v_o$ )과 입력전압( $v_i$ )은

$$v_o = \frac{-i\omega\Delta MR_L}{R_1(R_2 + R_L) + i\omega[(R_2' + R_L)L_1 + R_1(L_1 + L_2)] - \omega^2[L_1(L_2 + L_3) - \Delta M^2]} v_i$$

<48> (단,  $L_1$ ,  $R_1$ 는 각각 일차코일의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_2$ ,  $R_2$ 는 각각 이차코일의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_3$ ,  $R_3$ 는 각각 이중이차코일의 인덕턴스와 리액턴스)관계인 것을 특징으로 하는 한다.

<49> 또 본 발명에 따른 선형가변차동변환기에 있어서, 상기 와이어는 미끄러짐이 방지되고 효율을 향상시키기 위하여, 외측에 접착액이 코팅되어 권선되는 것을 특징으로 한다.

<50> (실시예)

<51> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

<52> 도 3은 본 발명에 따른 선형가변차동변환기의 구조를 나타낸 단면도, 도 4는 본 발명에 이용되는 포머를 나타낸 사시도, 도 5는 본 발명에 이용되는 코어를 나타낸 단면도, 도 6은 본 발명에 따른 선형가변차동변환기의 등가 회로를 나타낸 회로도, 도 7은 본 발명에 따른 선형가변차동변환기의 입력전압 및 출력전압을 나타낸 파형도, 도 8은 본 발명에 따른 선형가변차동변압기의 변위에 따른 출력전압 특성을 나타낸 파형도이다.

<53> 1. 제 1실시예

<54> 본 발명의 제 1실시예에 따른 LVDT(100)는 도 3 내지 도 5에 나타낸 바와 같이, 이중코일형식(Double Coil Type)으로 구성되며, 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어주는 일차코일(Primary Coil; 110), 이차코일(Secondary Coil; 120) 및 이중이차코일(Double Secondary Coil; 130)이 감긴 포머(Former; 190), 포머(190)의 내부에 위치하며 기계적 변위를 감지하도록 자기장을 유도하는 코어(Core; 160) 그리고 외부에서 발생하는 자기적 간섭과 일차코일(110)과 이차코일(120) 및 이중이차코일(130)에 의해서 발생하는 와전류(Eddy Current)를 제거하기 위해서 포머(190)가 내장되는 케이스(Case; 150), 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 케이스(150)의 양단에 결합되는 커버(180)를 기본으로 구성된다.

<55> 전기적 절연도가 높은 원통형의 포머(190)는 도 4의 (a)에 나타낸 바와 같이 한 개의 일차코일(110)용과, 도 4의 (b)에 나타낸 바와 같이 두 개의 이차코일(120)용의 3부분으로 분리 제작한 후 접착하여 조립하는 방식으로 제작된다.

<56> 포머(190)에는 코일(110, 120, 130)이 권선 되는 부분이 동일한 쪽으로 유지되도록 하는 포켓(210)이 형성되고, 포켓(210)과 포켓(210) 사이의 간격을 일정하게 유지되도록 하기 위한 칸막이(230)가 구비된다.

<57> 일차코일(110)용 포켓(210)은 5개의 포켓(210)이 형성되고, 이차코일(120)용 포켓(210)은 4개의 포켓(210)이 일차코일용 포켓(210) 양단에 형성된다.

<58> 본 발명에 따른 LVDT(100)의 이중코일형식은 일차코일(110)용 포켓(210)에 일차코일(110)을 권선하고, 일차코일(110)의 양편에 대칭으로 형성된 이차코일(120)용 포켓(210)에 이차코일(120)을 권선하며, 이차코일(120)의 바깥쪽 3개의 포켓 위에 이중이차코일(130)을 더 추가하여 권선한다.

- <59> 따라서, 이차코일(120) 쪽에 와이어가 각각 2개가 된다.
- <60> 그리고, 권선 시 와이어의 연속성을 유지하기 위하여 칸막이(230)의 일측에 슬롯(250)을 형성한다.
- <61> 슬롯(250)은 모든 칸막이(230)에 형성되며 와이어가 신호분석장치에 연결되도록 LVDT(100) 와이어의 출입구 역할도 한다.
- <62> 포머(190)의 재질은 내충격성, 내열성, 내한성이 높은 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)수지 등을 사용할 수도 있으며, 사용 환경에 따라 선택되는 것이 바람직하다.
- <63> 코어(160)는 포머(190) 내부에서 운동하는 부분이므로 자유로이 움직일 수 있어야 한다.
- <64> 이를 위하여 코어(160)와 포머(190) 내경 사이의 간격을 적절히 하는 것이 바람직하며, 도 5에 도시한 바와 같이 수동 탭 등을 이용하여 일반적인 바벨의 플레이트와 같이 상기 코어(160)는 한쪽 끝의 내부에 나사탭(165)을 형성하고, 변위를 측정하기 위한 다른 부품을 상기 나사탭(165)에 결합할 수 있도록 하였다.
- <65> 코어(160)는 외경이 9.4밀리미터, 내경이 5.9밀리미터, 길이는 74밀리미터, 나사탭(165)은 M4×0.7이며, 코어(160)로 사용되는 재료는 환경변화에 대한 영향을 적게 받으며 투자율이 높은 자성체를 사용하는 것이 바람직하다.
- <66> 케이스(150)는 일차코일(110)과 이차코일(120) 및 이중이차코일(130) 사이에서 발생하는 와전류 현상을 줄이고, 외부로부터 야기되는 자속이 LVDT(100)에 끼치는 영향을 줄이기 위하여 차폐된 케이스(150)를 사용한다.
- <67> 케이스(150)는 외경이 20밀리미터, 두께는 0.2밀리미터, 재질은 스테인리스 강이며 커버(150)는 외경이 19.6밀리미터, 내경은 10.2밀리미터, 두께는 0.5밀리미터, 재질은 ABS 수지로 형성하는 것이 바람직하다.
- <68> 본 발명의 제 1실시예에 따른 LVDT(100)는 일차코일(110), 이차코일(120) 및 이중이차코일(130)을 포머(190)에 전체적으로 균일하게 양쪽이 대칭되도록 감는다.
- <69> 이러한, 코일의 권선은 코어(160)가 포머(190) 바깥쪽으로 이동함에 따라 약화되는 선형도를 보상시킬 수 있어 포머(190)의 바깥 부분까지 최대한으로 사용할 수 있기 때문에 LVDT(100)의 길이를 줄일 수 있다.
- <70> 본 발명에 따른 제 1실시예의 LVDT(100)에서 일차코일(110)의 권선수를 1250회 ~ 1350회 권선하고, 이차코일(120)의 권선수를 650 ~ 750회 권선하며, 이중이차코일(130)의 권선수를 500회 ~ 550회 권선하였다.
- <71> 그리고, 코일의 권선수와 코어의 치수는 사용상태 또는 설계자의 설계에 따라 최적의 권선비가 설정될 수 있도록 선택할 수 있는 것이다.
- <72> 본 발명에서는 많은 실시 과정 중에 하나인 일 예로 상기와 같은 권선수 및 코어가 제작되는 것을 중심으로 설명하였으나, 권선수 또는 코어의 상기 수치에만 한정되는 것이 아니며 본 발명에 나타난 수치는 본 발명의 기술적 사상을 명료하게 설명하기 위한 한 예에 불과한 것이다.
- <73> 포머(190)에 코일을 권선하기 위해서는 전용 권선기가 필요하며, 코일은 미끄러짐이 방지되고 효율을 향상시키기 위하여 권선 작업시 코일의 외측에 접착액을 코팅시킨 후, 권선 후에 접착액이 녹으면서 코일 간 서로 접촉되는 셀프본딩와이어 방식의 구리선을 사용하는 것이 바람직하다.
- <74> 권선기에서 권선 부 최대 직경은 150밀리미터, 최대 권선 폭은 80밀리미터, 최대 권선 속도는 1400알피엠, 피치는 0.001~10밀리미터, 주축 회전수는 0 ~ 10000알피엠, 모터는 AC 400W(인버터), 전원전압은 AC 220V 60Hz, 소비전력은 최대 200와트, 코일 지름은 0.14밀리미터인 것이 바람직하다.
- <75> 그리고, 본 발명에 따른 LVDT(100)의 각 코일의 인덕턴스 및 리액턴스를 고려하여 회로를 모델링 하면 도 6에 나타낸 바와 같으며, 이 회로 모델을 기준으로 입력전압( $v_i$ )의 크기와 출력전압( $v_o$ )의 크기는 수학식 6과 같다.

**수학식 6**

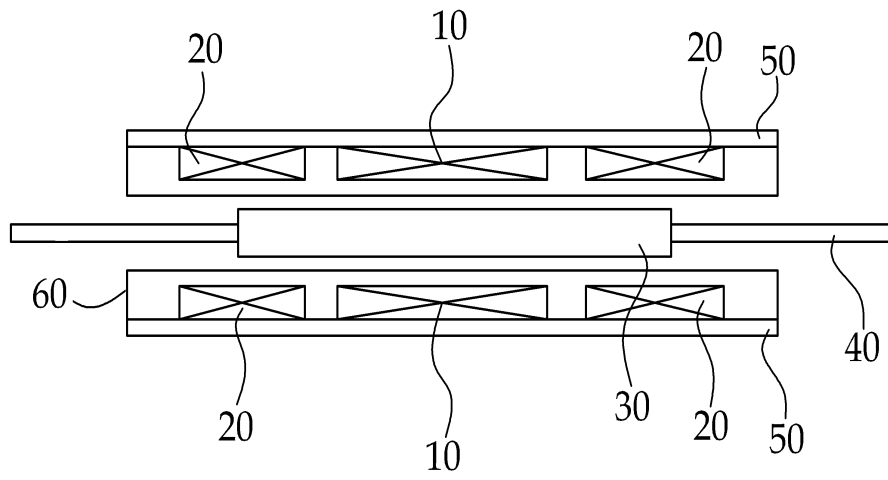
$$v_o = \frac{-i\omega\Delta MR_L}{R_1(R_2 + R_L) + i\omega[(R_2 + R_L)L_1 + R_1(L_1 + L_2)] - \omega^2[L_1(L_2 + L_3) - \Delta M^2]} v_i$$

- <76>
- <77> 여기서,  $L_1$ ,  $R_1$ 는 각각 일차코일(110)의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_2$ ,  $R_2$ 는 각각 이차코일(120)의 인덕턴스와 리액턴스,  $L_3$ ,  $R_3$ 는 각각 이중이차코일(130)의 인덕턴스와 리액턴스를 나타낸다.

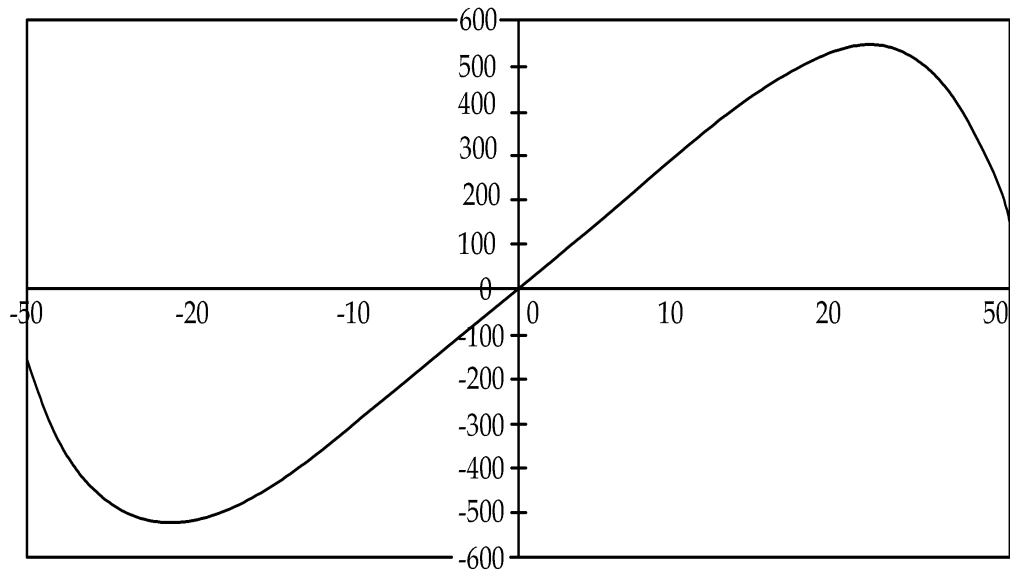


도면

도면1

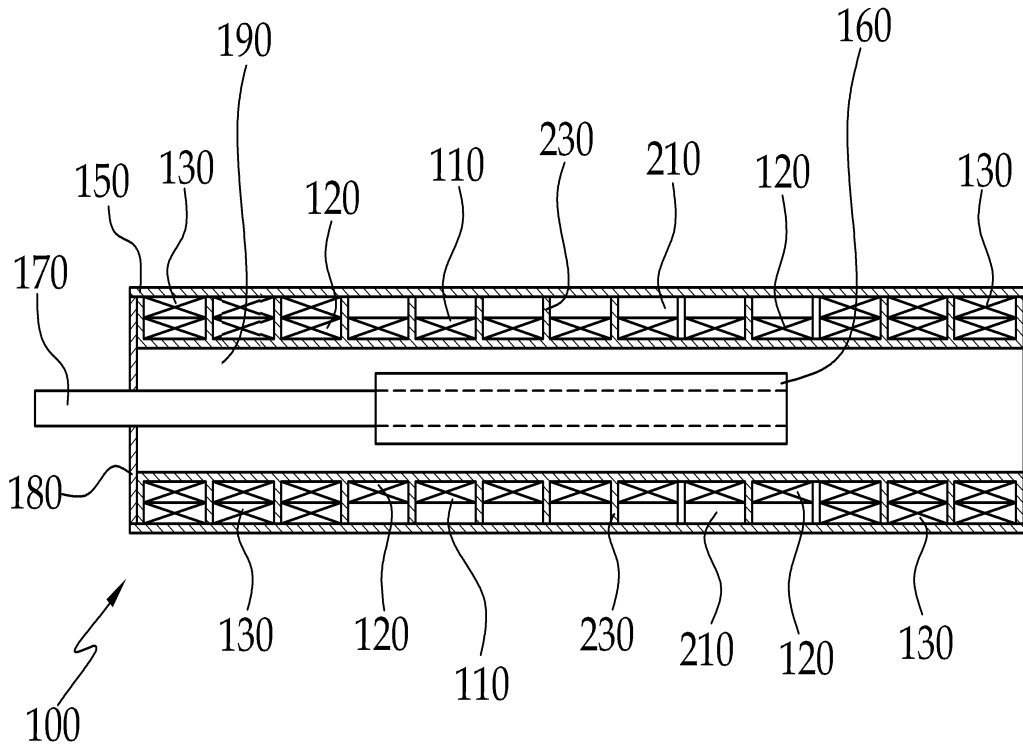


도면2

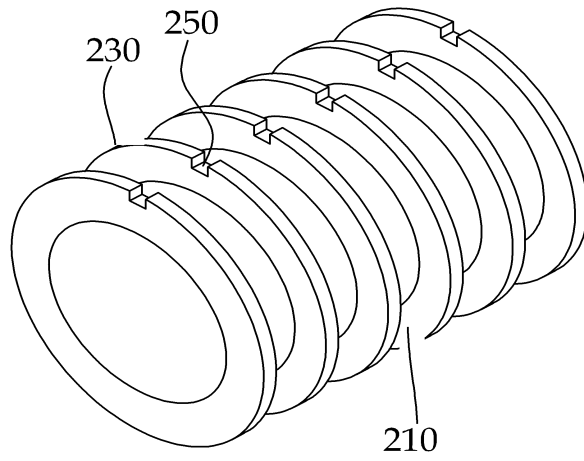




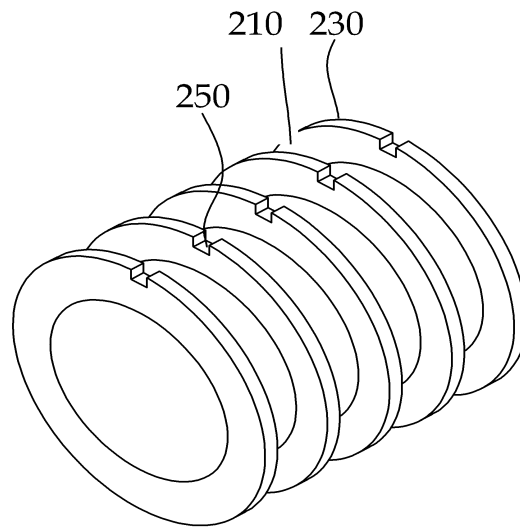
도면3



도면4

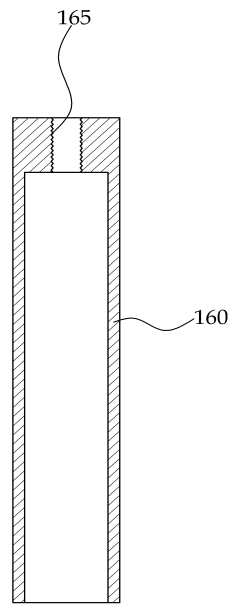


(a)

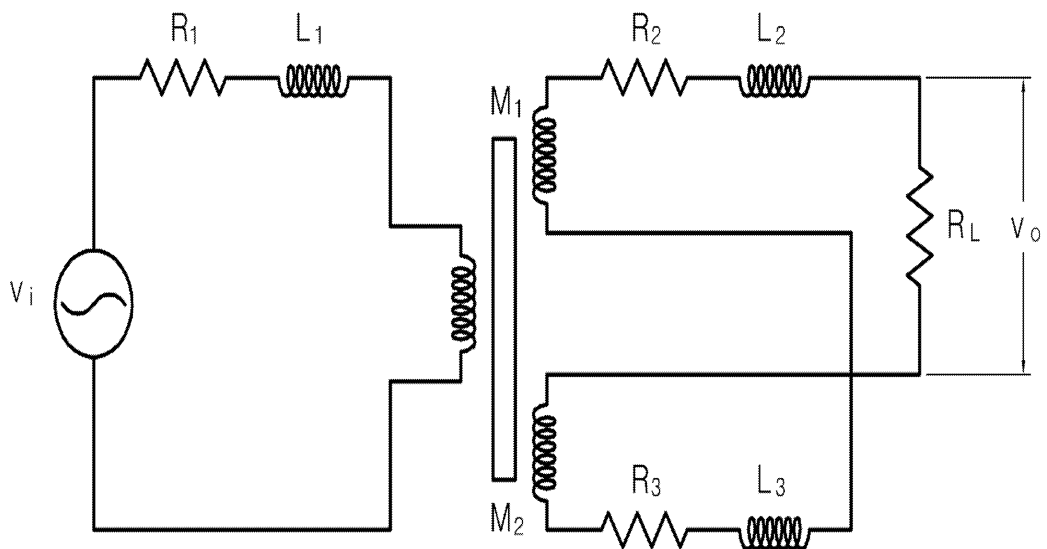


(b)

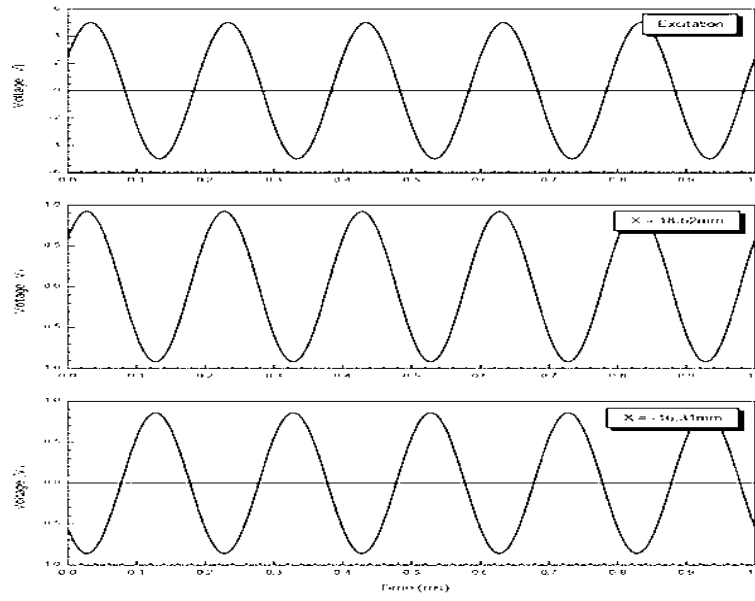
도면5



도면6



도면7



도면8

