



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년01월23일
(11) 등록번호 10-1354158
(24) 등록일자 2014년01월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 35/02 (2014.01)
(21) 출원번호 10-2012-0109196
(22) 출원일자 2012년09월28일
심사청구일자 2012년09월28일
(56) 선행기술조사문헌
W02009057348 A1*
JP2009100523 A
JP3163956 U9
KR1020120061994 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
기술이전 희망 : 기술양도

(73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93
(72) 발명자
정귀상
울산광역시 울주군 범서읍 구영로 75-25, 105동
1202호 (동문굿모닝힐아파트)
(74) 대리인
이형석, 김종선

전체 청구항 수 : 총 8 항

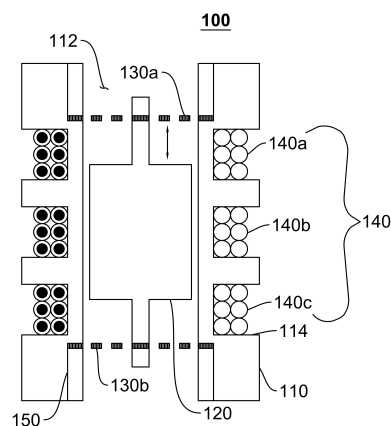
심사관 : 이재빈

(54) 발명의 명칭 진동형 전자기식 에너지 하베스터

(57) 요약

본 발명은 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 관한 것이다. 본 발명은 내부에 중공부가 형성되는 원통 형상의 하우징과, 상기 하우징의 상단과 하단에 각각 설치되는 FR-4 스프링과, 상기 FR-4 스프링 사이에 위치하며 상기 중공부 내에서 상하 이동하는 NdFeB 영구자석과, 상기 NdFeB 영구자석 주위에 위치하고 상기 하우징의 외주면을 권취하는 코일부를 포함하고 있다. 아울러 코일부는 상기 하우징의 외주면에 일정 간격 이격되어 형성되는 복수의 요홈에 각각 권취되는 제 1 내지 제 3 코일로 이루어진다. 그리고 상기 제 1 내지 제 3 코일은 입력 주파수(input frequency), 입력 가속도(input acceleration) 및 부하 저항(load resistance)에 따라 출력 전압(output voltage)이 각각 상이하게 발생한다. 아울러 본 발명의 에너지 하베스터는 0.2 가속도(g)와 16 Hz 입력 주파수에서 1.59 mW의 출력을 발생함을 확인할 수 있다. 이와 같은 본 발명에 따르면 저주파수에서 고 출력을 갖는 하베스터를 설계 및 제작할 수 있어, 소형 전자기기의 에너지원으로 사용이 가능한 이점이 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012-0380

부처명 교육과학기술부

연구사업명 지역대학우수과학자지원사업

연구과제명 공진주파수 튜닝이 가능한 고효율 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 관한 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산대학교 산학협력단

연구기간 2012.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

내부에 중공부가 형성되는 원통 형상의 하우징;

상기 하우징의 상단과 하단에 설치되며 FR-4 재질로 제조된 제 1 스프링 및 제 2 스프링;

상기 제 1 스프링 및 제 2 스프링 사이에 위치하며 상기 중공부 내에서 상하 이동하는 자석; 및

상기 자석의 위치와 대응되는 상기 하우징의 외주면을 권취하며, 상기 자석의 상하 이동에 따라 기전력을 발생 하는 코일부를 포함하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 자석은 NdFeB 영구 자석임을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 하우징의 외주면에는 일정 간격 이격되는 복수의 요홈이 형성되고,

상기 요홈에는 상기 코일부의 코일이 각각 권선풀음을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 요홈은 상기 하우징의 세로 방향을 따라 소정 간격 이격되면서 상/중/하 위치로 구획되어 형성되며,

상기 상/중/하 위치의 각 요홈에 권선풀 제 1 코일 내지 제 3 코일은, 입력 주파수(input frequency), 입력 가속도(input acceleration) 및 부하 저항(load resistance)에 따라 출력 전압(output voltage)이 각각 상이하게 발생함을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 입력 주파수에 따른 출력 전압 값은 상기 제 1 코일에서 가장 높고, 상기 제 2 코일에서 가장 낮게 출력됨 을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 입력 가속도가 증가하면, 상기 제 1 코일 내지 제 3 코일의 출력 전압 값도 증가함을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 부하 저항의 변화에 따라 제 1 코일과 제 3 코일의 출력 전압은 증가하나, 제 2 코일의 출력 전압은 제로 (zero)임을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

청구항 9

제 5 항에 있어서,

상기 부하 저항의 변화에 따른 출력 전원은 0.2 가속도(g)와 16 Hz 입력 주파수에서 1.59 mW의 출력을 발생하는 것을 특징으로 하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자기식 에너지 하베스터에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 FR-4 스프링을 기반으로 하여 영구자석의 좌우 움직임을 방지하면서 상/하의 선형 움직임만으로 저 주파수에서 고출력을 갖는 고효율 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현재, 화학 반응을 통해 발생하는 에너지를 전기적인 에너지로 변환하는 화학전지(chemical battery)가 휴대용 전자기기의 전원으로 널리 사용되고 있다. 이러한 화학전지는 높은 에너지 밀도, 작은 사이즈, 저비용 등의 장점을 가지지만, 반면 제한된 수명, 대체 또는 재충전 등이 쉽지 않다는 문제점도 함께 가지고 있다.

[0003] 이에 최근에는 무공해 대체 에너지의 개발에 역점을 두고 있다. 대체 에너지의 예로는 태양, 열, 풍력, 진동 등과 같이 주변에서 얻을 수 있는 하베스팅 에너지원이 있다. 하베스팅 에너지 기술은 주변 환경에서 에너지를 추출해내는 동안 오염물질의 배출이 없는 친환경 녹색 기술로서, 소량의 전력으로 구동될 수 있는 저전력 통신기기, 센서 네트워크, 체내 삽입형 기기, 모바일 기기 등이 주된 응용분야이다.

[0004] 하지만 상술한 대체 에너지 중, 태양이나 열, 풍력 등을 이용한 발전 방법은 아직까지 변환효율이 높지 않으면서 설비 및 관리비용도 적지 않게 소요되고 있다. 아울러 이러한 에너지 발전 방법은 휴대용, 착용식 및 이동형 소형 전자기기의 에너지원으로는 한계가 있다.

[0005] 반면, 진동을 이용한 에너지 변환 방법은 특히 소형 전원 소자로 적용이 가능하고, 기기가 외부에 노출될 필요가 없어 장비에 부착하거나 삽입이 유리하다는 이점이 있다. 또한 시간과 장소의 제약 없이 지속적인 사용이 가능하다는 잠재적 가능성으로 인해 소형 전자기기나 무선 센서노드(WSN: Wireless Sensor Nodes) 및 의료용 기기 등의 전원장치로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0006] 진동을 이용하여 에너지를 수집하는 대표적 발전기술에는 소재와 변환 방식에 따라 정전식(electrostatic), 압전식(piezoelectric), 전자기식(electromagnetic)으로 구분한다.

[0007] 정전식은 MEMS(micro electromechanical system) 제조공정에 따라 집적화가 용이하지만 낮은 에너지 변환효율과 초기에 외부 전압원이 필요로 하기 때문에 소형 전원으로 적합하지 않다.

[0008] 압전식은 PZT 또는 PVDF(폴리피닐렌디플루오라이드)와 같은 압전 물질이 사용되며, 소형화가 용이하고 외부 전원이 불필요하다. 그러나 높은 임피던스와 수백 Hz의 높은 주파수에서 동작하기 때문에 압전 물질이 파손될 수 있는 위험성이 존재한다.

[0009] 한편 전자기식은 유도코일(induction coil)과 영구자석(permanent magnet) 사이의 상대적인 움직임을 이용하는 방식이다. 전자기식은 구조 및 제작이 간단하나 집적화가 어렵고 출력 전압레벨이 매우 낮은 단점이 있다. 반면, 간단한 기계적인 공진기의 구조로 인하여 매우 높은 에너지 변환효율과 저 주파수의 설계가 가능한 장점이 있다.

[0010] 이처럼 전자기식은 저 주파수로의 설계가 가능한 이점 때문에 최근에 소형 전자기기의 에너지원으로 활용하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 일상 생활에서 발생하는 진동 주파수가 100 Hz 미만의 영역이라는 점을 고려한다면 진동형 에너지 하베스터는 전자기식의 저 주파수로 설계되는 것이 바람직할 것이다.

[0011] 전자기식 에너지 하베스터에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 그리고 출력 전원을 향상시키기 위한 다양한 방법이 제안되고 있다.

[0012] 그런데, 현재까지의 전자기식 에너지 하베스터에는 특정 재료로 만들어진 스프링이 사용된다. 스프링에 사용되는 재료로는 실리콘(silicon)이나 구리(copper) 등이 있다. 하지만 이들 재료는 탄성계수가 높고 그 제작 공정

이 복잡하여 저주파를 수용할 수 있는 스프링을 설계하는데 많은 어려움이 있었다.

[0013] 따라서, 저 주파수로 설계가 용이한 재료를 이용하여 전자기식 에너지 하베스터의 스프링을 제조할 필요가 있다. 즉 진동형 전자기식 에너지 하베스터가 휴대용 소형 전자기기의 전원으로 주목을 받는 현 시점에서 사람이 움직일 때 인체의 각 부분에서 발생하는 운동 주파수 대역은 1 ~ 10 Hz와 약 0 ~ 1 G의 가속도로 저 주파수에서 높은 에너지 변환효율을 갖도록 저주파 설계가 가능한 스프링이 장착된 에너지 하베스터에 대한 연구 개발이 요구되는 것이다.

[0014] 한편, 전자기식 에너지 하베스터는 전술한 바와 같이 유도 코일과 영구 자석 사이의 상대적인 움직임을 이용하여 전기 에너지를 생산하는데, 이때 영구 자석은 선형적으로 이동하여야 상대적으로 높은 출력 전원의 생산이 가능하다.

[0015] 이를 위해서는 영구 자석의 좌우 움직임을 방지하면서 상하 방향으로 선형적으로 이동되게 할 필요성이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 따라서 본 발명의 목적은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 영구 자석의 좌우 움직임을 방지하면서 상하 방향으로 선형적으로 이동되게 하여 저 주파수에서 고 출력을 갖는 진동형 전자기식 에너지 하베스터를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따르면, 내부에 중공부가 형성되는 원통 형상의 하우징; 상기 하우징의 상단과 하단에 설치되는 제 1 스프링 및 제 2 스프링; 상기 제 1 스프링 및 제 2 스프링 사이에 위치하며 상기 중공부 내에서 상하 이동하는 자석; 및 상기 자석의 위치와 대응되는 상기 하우징의 외주면을 권취하며, 상기 자석의 상하 이동에 따라 기전력을 발생하는 코일부를 포함하는 진동형 전자기식 에너지 하베스터가 제공된다.

[0018] 상기 제 1 스프링 및 제 2 스프링은, FR-4 재질로 제조됨을 특징으로 한다.

[0019] 상기 자석은 NdFeB 영구 자석임을 특징으로 한다.

[0020] 상기 하우징의 외주면에는 일정 간격 이격되는 복수의 요홈이 형성되고, 상기 요홈에는 상기 코일부의 코일이 각각 권선됨을 특징으로 한다.

[0021] 상기 요홈은 상기 하우징의 세로 방향을 따라 소정 간격 이격되면서 상/중/하 위치로 구획되어 형성되며, 상기 상/중/하 위치의 요홈에 권선된 제 1 코일 내지 제 3 코일은 입력 주파수(input frequency), 입력 가속도(input acceleration) 및 부하 저항(load resistance)에 따라 출력 전압(output voltage)이 각각 상이하게 발생한다.

[0022] 상기 입력 주파수에 따른 출력 전압 값은 상기 제 1 코일에서 가장 높고, 상기 제 2 코일에서 가장 낮다.

[0023] 상기 입력 가속도가 증가하면, 상기 제 1 코일 내지 제 3 코일의 출력 전압 값도 증가한다.

[0024] 상기 부하 저항의 변화에 따라 제 1 코일과 제 3 코일의 출력 전압은 증가하나, 제 2 코일의 출력 전압은 제로(zero)이다.

[0025] 상기 부하 저항의 변화에 따른 출력 전원은 0.2 가속도(g)와 16 Hz 입력 주파수에서 1.59 mW의 출력을 발생하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0026] 이와 같이 구성된 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 따르면, 원통 형상의 하우징의 상단과 하단에 FR-4 스프링을 장착하고 그 FR-4 스프링 사이에서 NdFeB 영구 자석이 상하 이동하게 구성된다. 아울러 하우징의 외주면에는 일정 간격으로 형성된 요홈에 코일을 권취하고 있다.

[0027] 이에 따라, 에너지 하베스터에 적용되는 스프링을 저 주파수용으로 제작이 가능하고, 또한 NdFeB 영구 자석의 좌우 움직임을 방지하면서 상하 방향으로 선형적으로 움직임을 발생하기 때문에 고출력을 얻을 수 있는 효과를 제공한다.

- [0028] 즉, 본 실시 예에 따른 에너지 하베스터는 0.2 가속도(g)와 16Hz 입력 주파수에서 1.59 mW의 출력을 발생시키고 있어, 다른 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 비해 대략 10 배 이상의 출력을 얻을 수 있음이 확인되었다.
- [0029] 따라서, 저 주파수에서 동작이 가능하고 고효율의 발전소자를 제공할 수 있어, 휴대용이나 이동형 소형 전자기기에 최적화된 에너지원으로 활용할 수 있어 시장성 및 경제성을 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 진동형 전자기식 에너지 하베스터의 구조를 보인 단면도
- 도 2는 스프링 형상에 대한 재료별 공진 주파수를 나타낸 도면
- 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 적용된 FR-4 스프링의 기하학적인 예를 보인 도면
- 도 3c는 본 발명에 따른 FR-4 스프링의 예를 보인 사시도
- 도 4a 내지 도 4c는 본 발명에 따라 자석과 FR-4 스프링의 모드에 따른 형상 변화를 나타낸 도면
- 도 5는 본 발명에 따라 입력 주파수에 따른 자석의 최대 변위량을 도시한 그래프
- 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 입력 주파수 대비 출력 전압을 나타낸 그래프
- 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 입력 가속도 대비 출력 전압을 나타낸 그래프
- 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 실시 예에 따른 부하 저항의 변화에 따른 제 1 ~ 제 3 코일의 출력 전압 및 출력 전원을 나타내고 있는 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하 본 발명에 의한 진동형 전자기식 에너지 하베스터의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0032] 우선, 본 실시 예의 진동형 전자기식 에너지 하베스터는 높은 출력 전원과 낮은 공진 주파수를 제공하며, ANSYS - FEM (Finite element model) 구조 해석에 따라 제조됨에 유의하도록 한다. 아울러 진동형 전자기식 에너지 하베스터의 구성인 FR-4 스프링과 NdFeB 영구자석의 구성을 스프링-질량계(spring-mass system)로 정의한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 진동형 전자기식 에너지 하베스터의 구조를 보인 단면도이다. 도 1에 도시된 바와 같이 진동형 전자기식 에너지 하베스터(이하, '에너지 하베스터'라 칭함)(100)는 하우징(110), 자석(120), 스프링(130), 코일부(140) 및 지그(jig)(140)를 포함하여 구성된다.
- [0034] 하우징(110)은 그 외형과 골격을 몸체가 형성하며, 실질적으로 몸체가 에너지 하베스터(100)의 외부 형상을 이룬다. 몸체는 원통형으로 형성되며, 내부에는 상하 방향으로 중공부(112)가 형성되어 자석(120)의 상하 이동을 가능하게 한다. 또한 하우징(110)의 외주면에는 구리 코일(140)이 권취되는데, 이때 상기 구리 코일(140)이 안정되게 감기도록 복수 개의 요홈(114)이 형성된다. 요홈(114)은 하우징(110)의 세로 방향으로 상/중/하 영역과 같이 3개의 영역으로 구분되어 형성된다. 그리고 하우징(110)은 테프론(teflon)으로 제조된다.
- [0035] 하우징(110)의 중공부(112)에는 중공부(112)를 따라 상하로 이동하는 자석(120)이 수용된다. 본 실시 예의 자석(120)은 자속 밀도가 우수한 원통형 NdFeB 영구자석('120'으로 부여함)이다. 그리고 자석(120)은 자석(120)의 편향과 관성을 증가시키기 위하여 스프링(130)의 중앙에 위치한다. 실시 예에서 자석은 27.5 g의 질량을 갖는다.
- [0036] 하우징(110)의 상단과 하단에는 제 1 스프링(130a) 및 제 2 스프링(130b)이 장착된다. 스프링(130)은 FR-4 재질로 제조된다. 이하 설명에서는 스프링과 FR-4 스프링은 동일한 의미로 사용되며, 동일 부호를 부여하기로 한다. FR-4는 PCB (Printed Circuit Board) 기판의 주재료로 사용되는 물질로서, 탄성계수가 종래 사용되었던 실리콘(Si), 구리보다 낮아 저 주파수용 스프링 제작에 용이한 이점이 있다. 이들의 탄성계수를 살펴보면 실리콘은 150 GPa 이고, 구리는 120 GPa이며, FR-4는 15 GPa ~ 20 GPa이다. 이는 전자기식 변환기에서, 스프링과 질량(mass)으로 이루어져 있는 진동계인 스프링 질량계(spring-mass system)의 공진 주파수는 스프링과 질량에 의존하고, 스프링의 재질은 에너지 하베스터의 기능에 영향을 미치는 요인으로서 작용하기 때문이다. 한편 FR-4로 만들어진 스프링(130)은 낮은 스프링 상수, 고 증폭, 낮은 응력도 등의 이유로 나선형 또는 곡선형으로 제조가

능하다. 그리고 스프링(130)의 제조에는 실시 예에서 CNC 3D 모델링이 사용된다.

- [0037] 본 실시 예에서 FR-4 스프링(130)은 제 1 스프링(130a)과 제 2 스프링(130b)이 자석(120)의 상단과 하단에 각각 설치된다. 이처럼 2개의 FR-4 스프링이 사용됨으로써, 파괴 피로(fatigue failure)를 연장하고 또한 자석(120)이 좌우 방향으로의 움직임은 방지되면서 상하 방향에서 선형적으로 움직이게 할 수 있다.
- [0038] 하우징(110)에 형성된 복수 개의 요홈(114)에는 코일부(140)가 권취된다. 코일부(140)는 제 1 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)로 구성되고, 구리로 만들어지며 실시 예에서 코일의 직경은 0.1 mm이다. 이와 같은 제 1 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)은 중공부(112)에서 상하 이동하는 자석(120)의 상대적 위치 변화에 따른 자계의 변화에 의하여 기전력을 발생시키는 부분이다. 그리고 제 1 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)은 입력 주파수(input frequency), 입력 가속도(input acceleration) 및 부하 저항(load resistance)에 따라 출력 전압(output voltage)을 각각 상이하게 발생한다. 이에 대해서는 후술하는 시뮬레이션 결과를 통해 설명한다.
- [0039] 하우징(120)의 상단과 하단에는 플라스틱 재질로 만들어지는 지그(150)가 결합한다. 지그(150)는 제 1 스프링(130a)과 제 2 스프링(130b)이 중공부(112) 내에서 고정되도록 하는 역할을 한다.
- [0040] 상술한 바와 같이 본 실시 예에 따른 에너지 하베스터(100)는 하우징(110)의 상단과 하단에 FR-4 스프링(130)이 각각 설치됨을 그 기본적인 특징으로 하고 있으며, 또한 하우징(110)의 내부에서 상하 이동하는 자석(120)의 상대적인 위치 변화에 따라 서로 다른 출력 값을 발생하도록 3개의 코일(140a ~ 140c)이 하우징(110)의 상/중/하 영역에 각각 권취되는 것이다.
- [0041] 다음에는 본 실시 예의 에너지 하베스터(100)에 채용된 스프링의 재료인 FR-4에 대해서 기존 스프링의 재료로 사용되는 실리콘, 알루미늄 및 구리와는 상대적인 공진주파수 값을 살펴보기로 한다. 이는 도 2를 참조하며, 도 2는 스프링 형상에 대한 재료별 공진 주파수를 나타낸 도면이다. 도 2에는 FR-4, 실리콘, 알루미늄 및 구리의 공진 주파수 값이 도시되어 있다.
- [0042] 전술한 바와 같이 저 주파수에서 고 출력을 갖는 에너지 하베스터(100)를 설계하기 위해서는 스프링(130)의 재료는 피로 파괴와 같은 내구성을 극복하며, 아울러 낮은 탄성계수나 높은 인장력에 대한 특성을 제공해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 재료가 FR-4 재질이며 본 실시 예에서 스프링의 재료로 사용되는 것이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, FR-4 재질이 1 ~ 3차 공진 모드에서 모두 가장 낮은 공진 주파수를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 다른 재료인 실리콘, 알루미늄, 및 구리와는 각 공진모드에서 공진 주파수를 비교해봤을 때, FR-4은 1차 모드: 16.25 Hz, 2차 모드 : 75.24 Hz 및 3차 모드 : 91.96 Hz의 값이 나타났으며, 이는 전술한 다른 3개의 재질인 실리콘, 알루미늄, 구리보다 상대적으로 낮은 공진 주파수 값을 가짐을 확인할 수 있다.
- [0044] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 적용된 FR-4 스프링(130)의 기하학적인 예를 보인 도면으로, 도 3a는 곡선형(curve-type) FR-4 스프링, 도 3b는 직각형(right type) FR-4 스프링의 예를 도시하고 있다.
- [0045] 이들 두 종류의 FR-4 스프링(130)에 대하여 스프링-질량계의 피로 수명에 영향을 미치는 최대 응력(stress)를 살펴보면, 곡선 타입의 FR-4 스프링은 182 MPa이고 직각 타입의 FR-4 스프링은 246 MPa로 나타났다.
- [0046] 이의 결과로서 직각 타입의 FR-4 스프링이 곡선 타입의 FR-4 스프링에 비하여 최대 응력은 64 MPa 가 더 높음을 알 수 있다. 여기서, 최대 응력 값은 FR-4 스프링(130)의 곡선 및 직각 영역부분에서 추출한 값이다.
- [0047] 한편, 도 3c는 본 발명에 따른 FR-4 스프링의 예를 사시도로 도시하고 있다. 도시된 바와 같이 FR-4 스프링(130)은 박막 형태로 형성되어, 자석(120)의 상단과 하단에 위치하고 있다. 그리고 실시 예에서 FR-4 스프링(130)은 1 mm 너비와 200 μ m 두께로 제조된다. 아울러 빔들 사이의 간격, 내부 직경 및 외부 직경은 각각 1 mm, 17 mm, 20 mm로 형성된다. 물론, 상술한 수치는 일 실시 예에 불과하며 이와 다른 사이즈로 제조할 수 있음은 당연할 것이다.
- [0048] 도 4a 내지 도 4c는 본 발명에 따라 자석과 FR-4 스프링의 모드에 따른 형상 변화를 나타낸 도면이다.
- [0049] 즉, FR-4 스프링의 1차 공진모드의 공진주파수가 16.25 Hz 일 때의 형상은 도 4a에 도시되어 있고, FR-4 스프링의 2차 공진모드의 공진주파수가 75.24 Hz 일 때의 형상은 도 4b에 도시되어 있고, FR-4 스프링의 3차 공진모드의 공진주파수가 91.96 Hz 일 때의 형상은 도 4c에 도시되어 있다.
- [0050] 도 5는 입력 주파수에 따른 자석의 최대 변위량을 도시하고 있는 그래프이다.

- [0051] 도 5를 보면, FR-4 스프링(130)의 최대 변위는 2.36 mm 일 때 자석(120)이 코일방향인 아래(z축)로 이동하는 1차 모드 (16.25 Hz)에서 발생하는 것을 알 수 있다.
- [0052] 즉 자석(120)은 제 1 코일(140a) 및 제 3 코일(140c)의 중앙에서 1 mm 높거나 낮게 위치하는데, 중력 조건하에서 자석(120)은 아래 방향으로 0.8 mm 이동하게 되는 것이다.
- [0053] 따라서 자석(120)의 상단 모서리 부분은 제 1 코일(140a)의 중앙과 약 0.2 mm 갭(gap)이 생기고, 자석(120)의 하단 모서리부분은 제 3 코일(140c)의 중앙과 1.8 mm 갭(gap)이 생기게 된다.
- [0054] 다음에는 본 실시 예에 따른 진동형 전자기식 에너지 하베스터에 대한 테스트 과정을 설명하기로 한다.
- [0055] 이를 위해 에너지 하베스터의 출력 측정 및 분석에 사용된 장비 및 조건은 다음과 같다. 우선 진동 신호를 발생하고 이를 제어하기 위하여 신호발생기(Generator), 제어기, 증폭기, 진동 가속도계(accelerometer), 진동기(vibrator), 및 계측기(oscilloscope) 등을 포함하게 된다. 실시 예에 따르면, 신호 발생기는 'SCO-01P', 제어기는 'LAS-200', 증폭기는 'PA25E-CE', 진동 가속도계는 'IEPE-8341', 진동기는 'LDS-V201-M4', 계측기는 'LeCroy'를 사용하였다.
- [0056] 이를 이용한 분석 조건은, 주파수, 진동가속도 및 부하 저항을 입력 값으로 하고, 코일부(140)의 제 1 코일(140a) 내지 제 3 코일(140c)에서 출력되는 출력 전압(Vrms)을 측정하였다.
- [0057] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 입력 주파수 대비 출력 전압을 나타낸 그래프이다.
- [0058] 도 6에 도시된 바와 같이 제 1 코일 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)의 출력 전압은 입력 주파수가 16 Hz 일 때 가장 큰 출력 값을 발생하고 있다. 특히 0.2 가속도(g)와 16 Hz 입력 주파수에서, 제 1 코일(140a)은 2.56 Vrms 값이고, 제 3 코일(140c)은 2.24 Vrms 값이며, 제 2 코일(140b)은 0.72 Vrms 값을 나타낸다. 물론, 제 1 코일 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)이 직렬 연결된 경우는 5.52 Vrms의 출력 전압 값이 발생함을 알 수 있다.
- [0059] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 입력 가속도 대비 출력 전압을 나타낸 그래프이다.
- [0060] 도 7을 보면, 입력 가속도가 증가함에 따라 제 1 코일 내지 제 3 코일(140a ~ 140c)의 출력 전압도 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다. 그 중 제 1 코일(140a)의 출력 전압이 다른 제 2 코일(140b) 및 제 3 코일(140c)에 비하여 출력 전압이 더 높게 발생하고 있다.
- [0061] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 실시 예에 따른 부하 저항의 변화에 따른 제 1 코일 내지 제 3 코일의 출력 전압 및 출력 전원을 나타내고 있는 그래프이다.
- [0062] 그 중, 도 8a는 부하저항에 따른 출력 전압 값을 나타낸다. 도시된 바와 같이 제 1 코일 및 제 3 코일(140a ~ 140c)은 부하저항이 증가함에 따라 대응되어 출력 전압도 증가하고 있다. 반면, 하우징(110)의 중앙에 위치한 제 2 코일(140b)에서는 부하 저항이 증가하더라도 출력 전압은 제로(zero) 상태이거나 제로(zero)에 가까운 만큼 낮은 값을 발생하게 된다.
- [0063] 도 8b는 부하저항에 따른 출력 전원 값을 나타낸다. 도 8b를 보면 부하 저항이 1.66 kΩ 일 때 1.59 mW의 전원이 출력됨을 알 수 있다.
- [0064] 이와 같은 실험 결과를 기초로 하면, 본 실시 예에 따른 진동형 전자기식 에너지 하베스터(100)는 0.2 g의 가속도와 16 Hz에서 1.59 mW의 출력을 발생시키고 있고, 전력밀도(power density)는 $1.125 \text{ mW/cm}^3 \text{ g}^2$ 로서, 저주파수에서 고출력을 제공할 수 있음을 알 수 있다. 이는 다음의 [표 1]를 통해 좀더 명확하게 확인이 가능하다.
- [0065] 즉, [표 1]에는 본 실시 예에 따른 에너지 하베스터와, 이와 관련된 분야에서 개시하고 있는 종래의 다른 진동형 전자기식 에너지 하베스터(EMEH)와의 주파수, 전원 및 전력밀도를 각각 비교한 결과를 정리한 것이다.

표 1

Research group	Frequency(Hz)	Power(mW)	NPD($\text{mW/cm}^3 \text{ g}^2$)
G.Hatipoglu and H.Urey (1)	24.4	0.4	$1.7 * 10^{-2}$
Yang et.al. (2)	369	$3.2 * 10^{-3}$	-
N.G.Elvin, A.A. Elvin (3)	112.25	-	$1.7 * 10^{-3}$
S.Cheng, D.P.Arnold (4)	9.2	0.55	$2.3 * 10^{-2}$

C.Cepnik et al. (5)	50	13.4	-
P.Wang et al. (6)	280.1	$21.2 * 10^{-3}$	$1.01 * 10^{-1}$
Ching et al. (7)	110	0.83	$8.7 * 10^{-3}$
Pan et al. (8)	60	0.1	$8.6 * 10^{-1}$
Von Buren et al. (9)	20	$2.5 * 10^{-2}$	$9.6 * 10^{-3}$
Beeby et al. (10)	52	$4.6 * 10^{-3}$	$4.48 * 10^{-8}$
본 발명의 에너지하베스터	16	1.59	1.125

- [0067] 상기 [표 1]을 보면, 본 발명의 에너지 하베스터(100)는 논문 (1) ~ (10)에서 개시하고 있는 종래의 에너지 하베스터에 비해 보다 낮은 공진 주파수를 가지면서 출력 전원 및 전력 밀도가 높게 발생하고 있음을 알 수 있다. 즉 대략 최대 10배 이상의 출력을 얻고 있다.
- [0068] 한편 본 발명의 에너지 하베스터와의 성능을 비교하기 위하여 종래 진동형 전자기식 에너지 하베스터를 언급하고 있는 [표 1]에 개시한 논문 (1) ~ (10)은 다음과 같다.
- [0069] (1). Hatipoglu G and Urey 2010 FR-4 based electromagnetic energy harvester for wireless sensor nodes *Smart Mater. Struct.* **19** 015022-015032
- [0070] (2). Yang B, Lee C, Xiang W, Xie J, He J H, Kotlanka R K, Low S P and Feng H 2009 Electromagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies *J. Micromech. Microeng.* **19** 035001
- [0071] (3). Elvin N G and Elvin A A 2011 An experimentally validated electromagnetic energy harvester *J. Sound Vib.* **330** 2314-2324
- [0072] (4) Cheng S and Arnold D P 2010 A study of a multi-pole magnet generator for low-frequency vibrational energy harvesting *J. Micromech. Microeng.* **20** 025015
- [0073] (5) Cepnik C, Radler O, Rosenbaum S, Stohla T and Wallrabe U 2011 Effective optimization of electromagnetic energy harvesters through direct computation of the electromagnetic coupling, *Sensors Actuators A* **167** 416-421
- [0074] (6) Wang P, Liu H, Dai X, Yang Z, Wang Z and Zhao X 2012 Design, simulation, fabrication and characterization of a micro electromagnetic vibration energy harvester with sandwiched structure and air channel *J. Microelectro.* **43** 154-159
- [0075] (7) Ching N N H, Wong H Y, Li w j, LEONG P H W and Wen Z 2002 A laser micro-machined multi-modal resonating power transducer for wireless sensing systems *Sensors Actuators A* **97-98** 685-690
- [0076] (8) Pan C T, Hwang Y M and Hu H L 2006 Fabrication and analysis of a magnetic self-power microgenerator *J. Magn. Magn. Mater.* **304** 394-396
- [0077] (9) Buren T V and Troster G 2007 Design and optimization of a linear vibration-driven electromagnetic micro-power generator *Sensors Actuators A* **135** 765-775
- [0078] (10) Beeby S P, Torah R N, Tudor M J, Glynne-Jones P, O'Donnell T, Saha C R and Roy S 2007 A micro electromagnetic generator for vibration energy harvesting *J. Micromech. Microeng.* **17** 1257-1265
- [0079] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 실시 예는 2개의 FR-4 스프링, NdFeB 영구자석, 그리고 3개 영역으로 구분되어 권취된 구리 코일을 포함하여 구성된 진동형 전자기식 에너지 하베스터는 영구 자석의 좌우 움직임을 방지하면서 상하 움직임으로 저 주파수에서 기존의 에너지 하베스터에 비하여 몇 배 이상의 출력을 획득하고 있음을 알 수 있다.
- [0080] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명

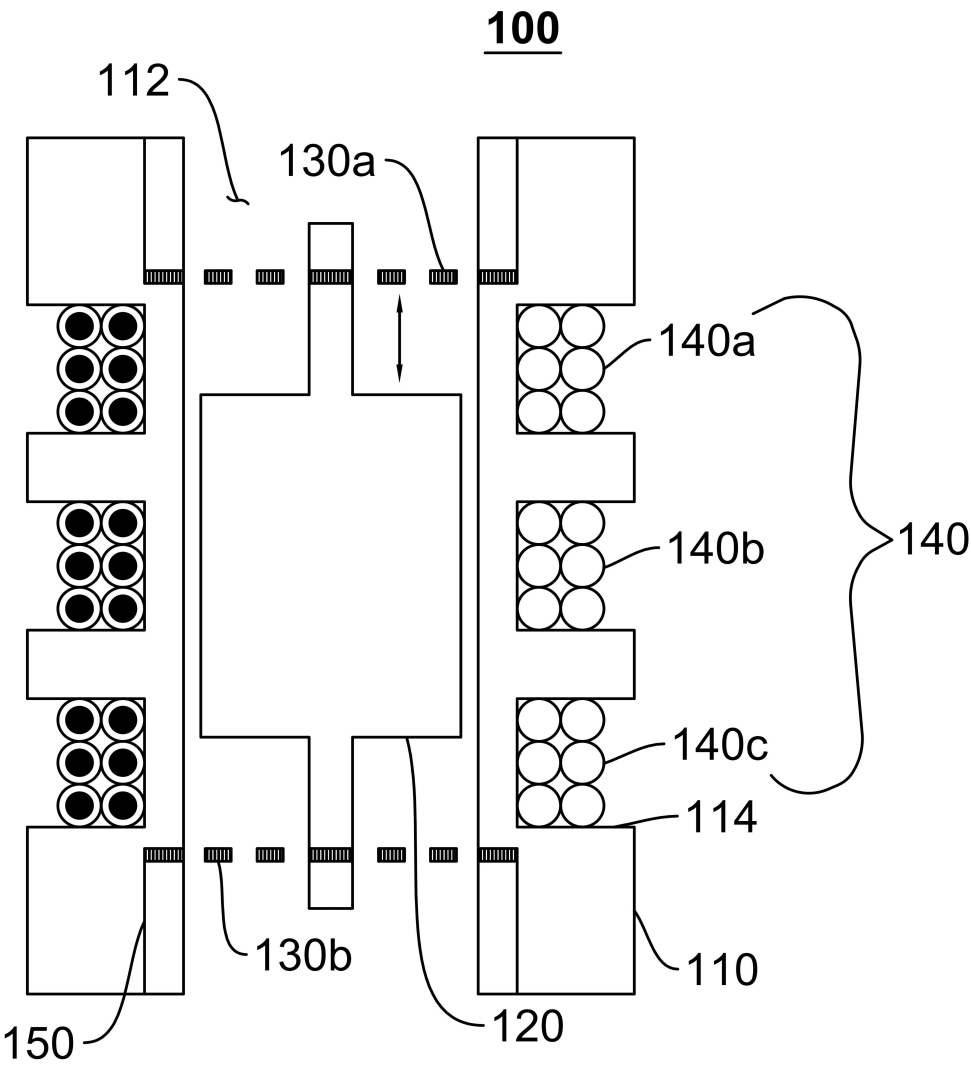
이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

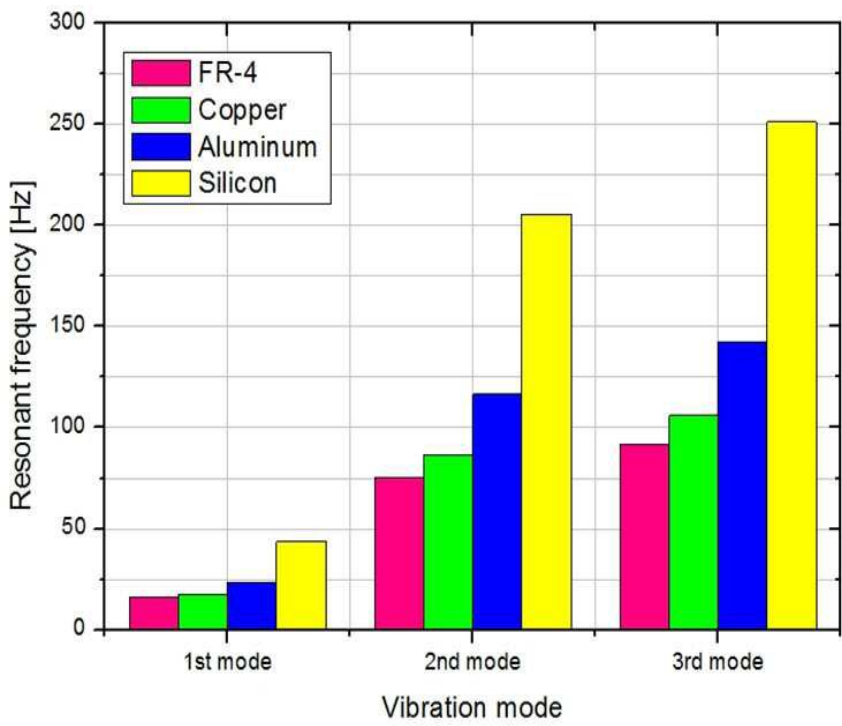
- [0081]
- | | |
|-----------------|-----------|
| 110 : 하우징 | 112 : 증공부 |
| 114 : 요홈 | 120 : 자석 |
| 130 : FR -4 스프링 | 140 : 코일 |

도면

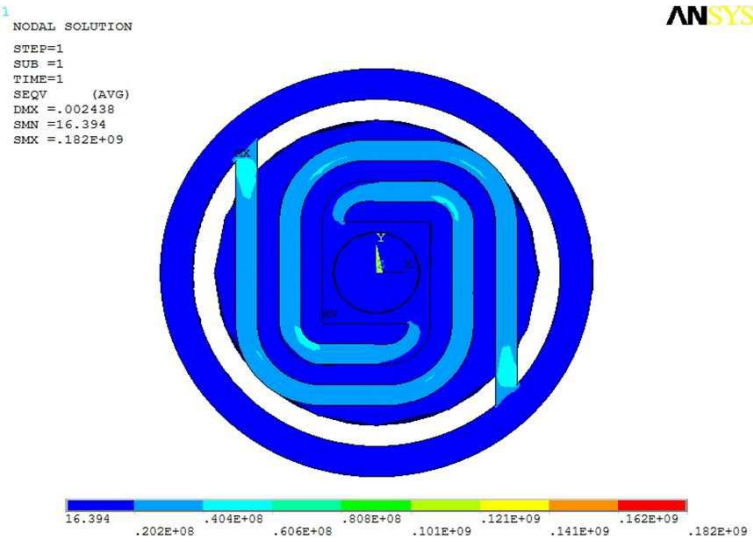
도면1



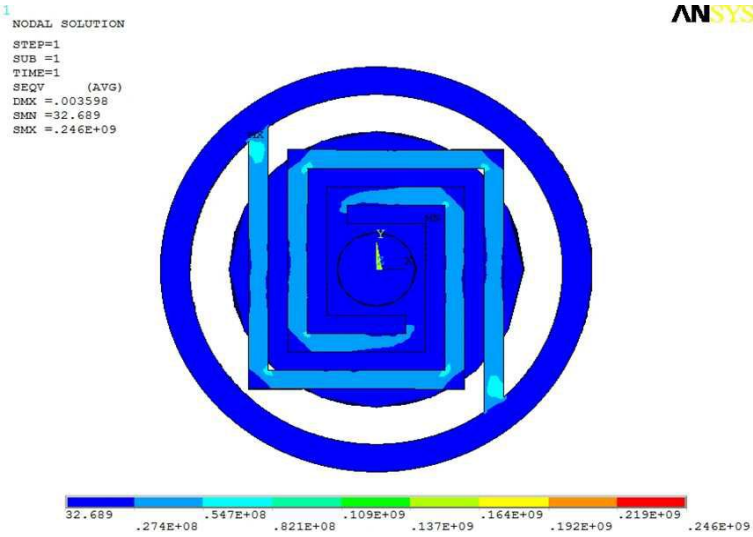
도면2



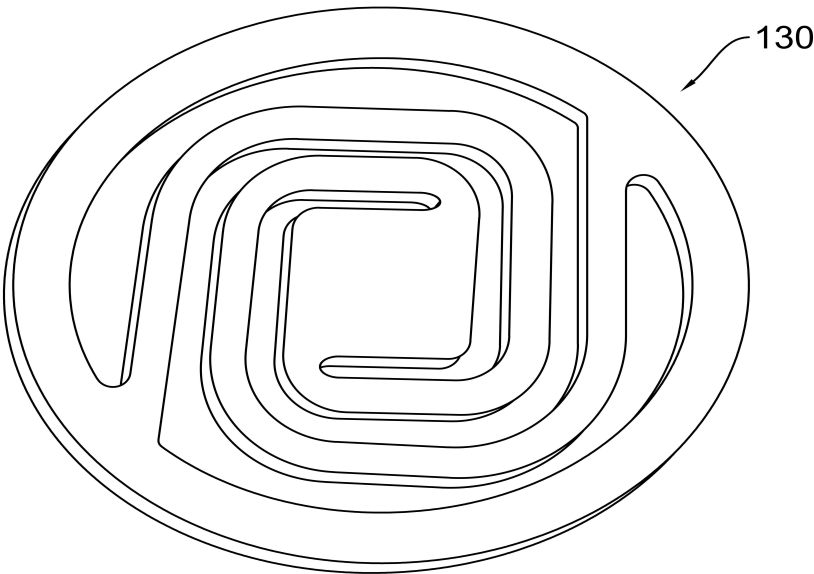
도면3a



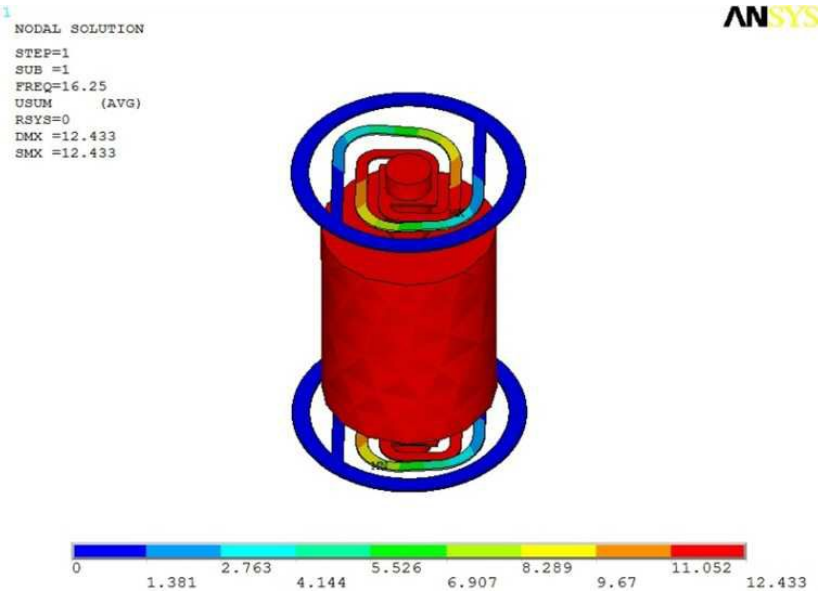
도면3b



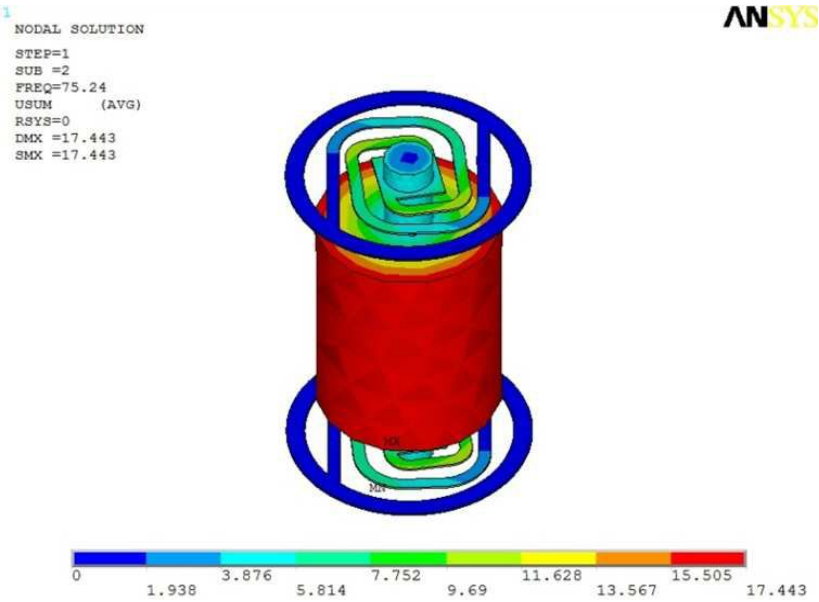
도면3c



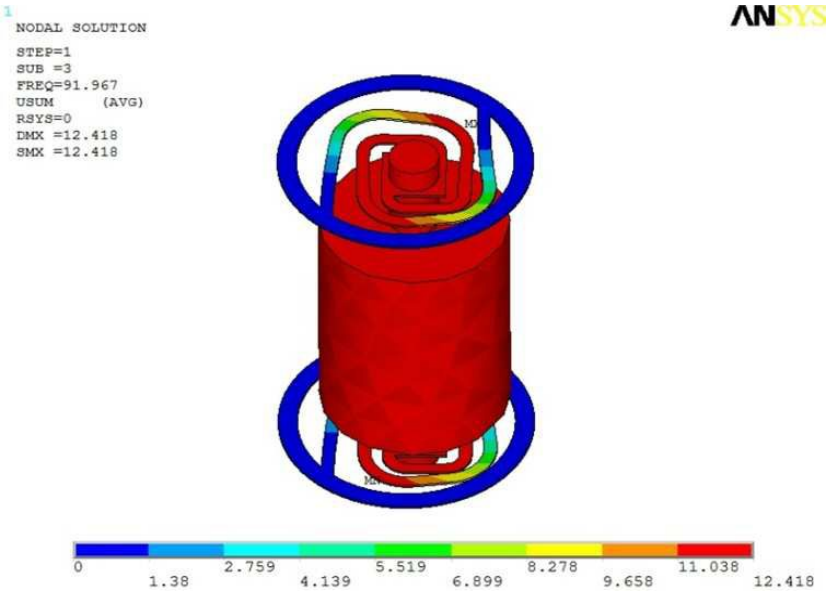
도면4a



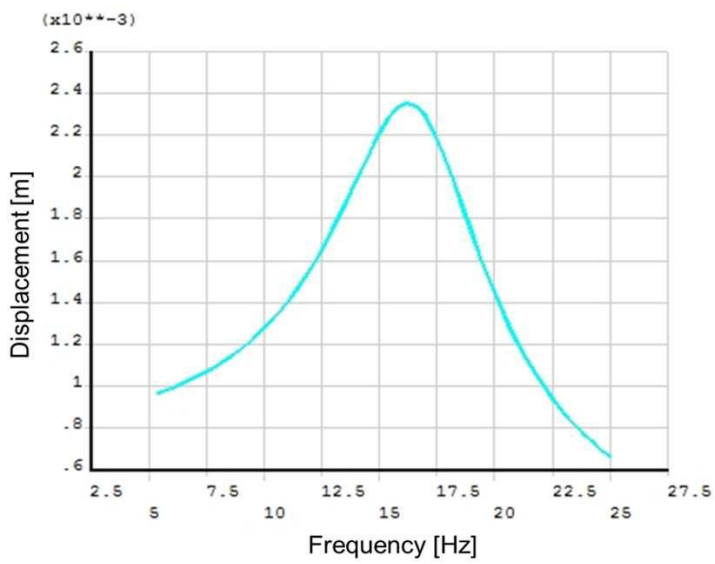
도면4b



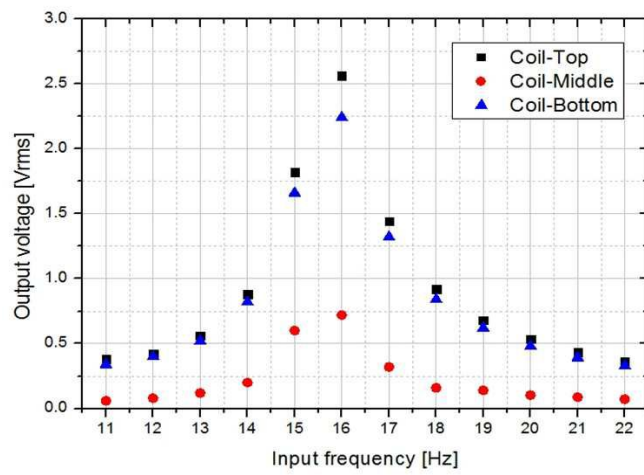
도면4c



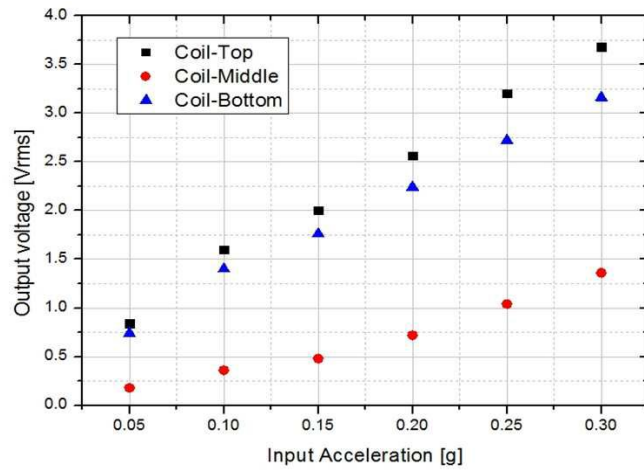
도면5



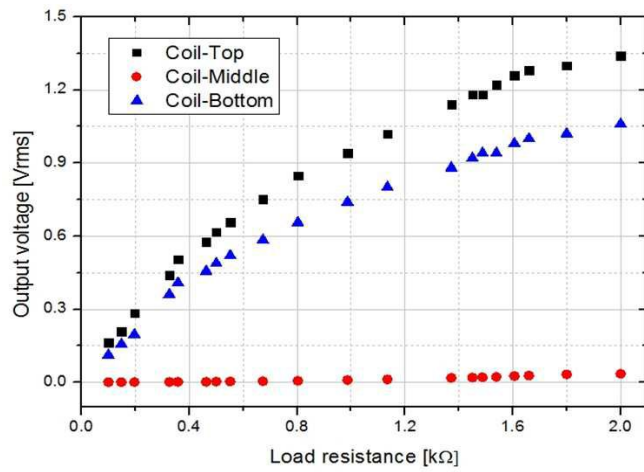
도면6



도면7



도면8a



도면8b

