



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월25일

(11) 등록번호 10-1606664

(24) 등록일자 2016년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02J 17/00 (2006.01) H02J 7/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7022324(분할)

(22) 출원일자(국제) 2008년10월13일

심사청구일자 2014년08월08일

(85) 번역문제출일자 2014년08월08일

(65) 공개번호 10-2014-0102778

(43) 공개일자 2014년08월22일

(62) 원출원 특허 10-2013-7032687

원출원일자(국제) 2008년10월13일

심사청구일자 2013년12월09일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/079681

(87) 국제공개번호 WO 2009/049281

국제공개일자 2009년04월16일

(30) 우선권주장

60/979,381 2007년10월11일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR101507265 B1*

KR1020140010170 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

켈컴 인코퍼레이티드

미국 92121-1714 캘리포니아주 샌 디에고 모어하우스 드라이브 5775

(72) 발명자

쿡 나이젤 피

미국 92121 캘리포니아주 샌디에고 모어하우스 드라이브 5775

도미니악 스티븐

미국 92121 캘리포니아주 샌디에고 모어하우스 드라이브 5775

비드메르 한스페터

미국 92121 캘리포니아주 샌디에고 모어하우스 드라이브 5775

(74) 대리인

특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 22 항

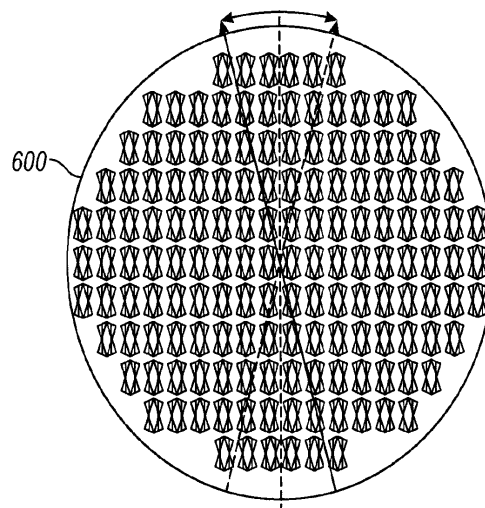
심사관 : 곽태근

(54) 발명의 명칭 자기 기계 시스템을 이용하는 무선 전력 전송

(57) 요약

무선 전력 전송이 자기 기계 시스템을 이용하여 수신된다. 자기 기계 시스템의 이동은 전력으로 변환된다.

대표도 - 도6



명세서

청구범위

청구항 1

외부 교변 자기 필드를 통해 전력을 수신하고, 부하로 전력을 전달하도록 구성되는 장치로서,
자기 발진기들의 어레이로서, 상기 어레이 내의 각각의 상기 발진기들은 상기 외부 교변 자기 필드에 응답하여 발진하도록 구성되고 발진 유도 필드를 생성하도록 구성되는, 상기 자기 발진기들의 어레이; 및
상기 발진 유도 필드로부터 전력을 추출하도록 구성되고, 상기 추출된 전력의 적어도 일부를 상기 부하에 공급하도록 구성되는 수신 회로를 포함하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 발진기들은 방사상으로 대칭인 형상으로 배열되는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 자기 발진기들의 어레이의 적어도 일부는 디스크 형상을 포함하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 스페로이드 (spheroid) 형상의 축을 따라 지향하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 회전 가능하게 탑재되는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
상기 발진기들의 무게 중심은 상기 발진기들의 회전축과 일치하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 7

제 5 항에 있어서,
각각의 상기 발진기들은 자기 다이폴 모멘트의 벡터에 수직인 축을 중심으로 한 회전 모멘트를 가지는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
상기 어레이 내의 각각의 발진기는 서스펜션에 결합되고, 전자기 필드에 의해 유도된 토크에 응답하여 상기 서스펜션의 힘에 상대적으로 반하여 이동하도록 구성되는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 MEMS 디바이스인, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 10

삭제

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 수신 회로는 코일을 포함하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 12

부하에 무선으로 전력을 공급하는 방법으로서, 상기 방법은:

외부 교변 자기 필드에 놓이는 자기 발진기들의 어레이를 통해, 발진 유도 필드를 생성하는 단계;

수신 회로를 통해 상기 발진 유도 필드로부터 전력을 추출하는 단계; 및

상기 추출된 전력의 적어도 일부를 상기 부하에 공급하는 단계를 포함하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 적어도 일부는 디스크 형상을 포함하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 스페로이드 (spheroid) 형상의 축을 따라 지향하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 어레이 내의 각각의 발진기는 서스펜션에 결합되고,

상기 방법은 전자기 필드에 의해 유도된 토크에 응답하여 상기 서스펜션의 힘에 상대적으로 반하여 상기 발진기들 중 적어도 하나를 이동하는 단계를 더 포함하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

복수의 상기 자기 발진기들의 각각은 회전 가능하게 탑재되는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 발진기들의 무게 중심은 상기 발진기들의 회전축과 일치하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

각각의 상기 발진기들은 자기 다이폴 모멘트의 벡터에 수직인 축을 중심으로 한 회전 모멘트를 가지는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 19

제 12 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 MEMS 디바이스인, 무선 전력 공급 방법.

청구항 20

삭제

청구항 21

제 12 항에 있어서,

상기 수신 회로는 코일을 포함하는, 무선 전력 공급 방법.

청구항 22

외부 교변 자기 필드를 통해 전력을 수신하고, 부하로 전력을 전달하도록 구성되는 장치로서,

외부 교변 자기 필드에 놓이는 자기 발진기들의 어레이를 통해, 발진 유도 필드를 생성하는 수단;

수신 회로를 통해 상기 발진 유도 필드로부터 전력을 추출하는 수단; 및

상기 추출된 전력의 적어도 일부를 상기 부하에 공급하는 수단을 포함하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 적어도 일부는 디스크 형상을 포함하는, 전력 수신 및 전달 장치.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 자기 발진기들의 어레이의 각각의 발진기는 스페로이드 (spheroid) 형상의 축을 따라 지향하는, 전력 수신 및 전달 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2007년 10월 11일에 출원된 미국 가출원 제 60/979,381호로부터 우선권 주장하며, 그 개시물의 전체 내용이 여기에 참조로서 포함된다.

배경 기술

[0002] 본 출원인의 이전 출원은 자기 기계 시스템을 설명하였다. Nigel Power LLC 에 의한 이전 출원은 실질적으로 변조되지 않은 반송파로 자기 신호를 전송하는 송신기를 이용하는 무선 전력공급 및/또는 충전 시스템을 설명하였다. 수신기는 송신기의 방사 필드로부터 에너지를 추출한다. 추출된 에너지는 정류되어, 부하에 전력공급하거나 배터리를 충전하는데 이용될 수 있다.

[0003] 본 출원인의 이전 출원은 커플링된 자기 공진을 이용하는 전기 에너지의 무방사 전송을 설명한다. 무방사는, 수신 및 송신 안테나가 파장과 비교하여 "작고", 따라서 헤르츠 파에 관하여 낮은 방사 효율을 갖는 것을 의미한다. 높은 효율은 송신 안테나와 이 송신 안테나의 근역장 (near field) 내에 위치하는 수신 안테나 사이에서 획득될 수 있다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0004] 개요

[0005] 본 출원은 자기 전송에 기초한 무선 전력을 캡처하는 기술을 설명한다.

도면의 간단한 설명

- [0006] 도 1 은 송신 루프와 수신 루프 사이의 유도의 블록도를 도시한다.
- 도 2 는 기본 토션 진자 (elemental torsion pendulum) 를 도시한다.
- 도 3 은 다이내모 수신기를 도시한다.
- 도 4a 및 도 4b 는 구체 내의 플럭스 및 필드 세기를 도시한다.
- 도 5 는 집적된 실시형태를 도시한다.
- 도 6 은 디스크 형상의 어레이를 도시한다.
- 도 7 은 코일이 디스크 형상의 어레이 주위에 감겨질 수 있는 방법을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0007] 상세한 설명
- [0008] 무방사 에너지 전송의 종래의 원리는 패러데이의 유도 법칙에 기초한다. 송신기는 1차를 형성하고, 수신기는 송신 거리만큼 분리된 2차를 형성한다. 1차는 교변 자기 필드를 발생시키는 송신 안테나를 나타낸다. 2차는 패러데이의 유도 법칙을 이용하여 교변 자기 필드로부터 전력을 추출하는 수신 안테나를 나타낸다.
- [0009]
$$-\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}(t)}{\partial t} = \nabla \times \mathbf{E}(t)$$
- [0010] 여기서 $\nabla \times \mathbf{E}(t)$ 는 교변 자기 필드에 의해 발생된 전기 필드의 컬 (curl) 을 표시한다.
- [0011] 그러나, 본 발명자들은 1차와 2차 사이에 존재하는 약한 커플링 (weak coupling) 이 표유 인덕턴스로 간주될 수도 있다는 것을 인지한다. 다음에, 이 표유 인덕턴스는 리액턴스를 증가시키고, 이 리액턴스는 1차와 2차 사이의 에너지 전송을 방해할 수도 있다.
- [0012] 이러한 종류의 약하게 커플링된 시스템의 전송 효율은 동작 주파수의 리액턴스의 정확히 반대로 튜닝되는 커패시터를 이용함으로써 향상될 수 있다. 시스템이 이러한 방식으로 튜닝되는 경우, 이 시스템은 그 동작 주파수에서 공진하는 보상된 변압기가 된다. 이후, 전력 전송 효율은 1차 및 2차에서의 손실에 의해서만 제한된다. 이들 손실은 이들의 품질 또는 Q 팩터에 의해서 정의된다.
- [0013] 표유 인덕턴스의 보상은 또한 전력 전송을 최대화하기 위해 소스 및 부하 임피던스 매칭의 일부로 간주될 수도 있다. 따라서, 이러한 방식의 임피던스 매칭은 전력 전송량을 증가시킬 수 있다.
- [0014] 도 1 은 무방사 시스템의 송신 부분과 수신 부분 사이의 임피던스 매칭을 도시한다.
- [0015] 송신기 (100) 와 수신기 (150) 사이의 거리 D 가 증가함에 따라, 전송 효율은 감소할 수 있다. 증가된 거리에서, 더 큰 루프, 및/또는 더 큰 Q 팩터가 효율을 향상시키는데 이용될 수도 있다. 그러나, 이들 디바이스가 포터블 디바이스에 통합되는 경우, 루프의 사이즈는 포터블 디바이스의 파라미터에 의해 제한될 수도 있다.
- [0016] 안테나 손실을 감소시키므로써 효율이 향상될 수 있다. 1 MHz 미만과 같은 낮은 주파수에서, 손실은 불완전 전도 재료, 및 루프 근처의 와상 전류에 기인할 수 있다.
- [0017] 페라이트 재료와 같은 플럭스 확대 (magnification) 재료는 안테나의 사이즈를 인공적으로 증가시키는데 이용될 수 있다. 와상 전류 손실은 본래 자기 필드에 집중함으로써 감소된다.
- [0018] 특수한 종류의 와이어가 또한 낮은 주파수에서 연선 또는 리츠선과 같이, 저항을 낮춰서 표피 효과 (skin effect) 를 완화하는데 이용될 수 있다.
- [0019] 무방사 전송에 대한 대안은, 2008년 9월 14일에 출원된 본 출원인의 동시 계류중인 미국 출원 제 12/210,200호에서 설명된 바와 같은 자기 기계 시스템을 이용한다. 이는 자기 필드로부터 에너지를 픽업하고, 이를 역학 에너지로 변환한 후, 패러데이의 유도 법칙을 이용하여 전기 에너지로 재변환한다.
- [0020] 일 실시형태에 따르면, 자기 기계 시스템은 교변 자기 필드로부터 에너지를 수신하는 에너지 수신 시스템의 일

부일 수도 있다.

[0021] 일 실시형태에 따르면, 자기 기계 시스템은 외부 교변 자기 필드의 힘 하에서 발진하게 하는 방식으로 탑재된 자석, 예를 들어, 영구 자석으로 형성된다. 이는 자기 필드로부터의 에너지를 역학 에너지로 변환한다.

[0022] 하전 입자가 속도 v 및 자기 필드 H 에서 이동하는 것으로 가정한다.

[0023]
$$\mathbf{F} = q \mu_0 (\mathbf{v} \times \mathbf{H})$$

[0024] 일 실시형태에서, 이 발진은 자기 다이폴 모멘트 m 의 벡터에 수직인 축을 중심으로 한 회전 모멘트를 이용하며, 또한 자석의 중력의 중심에 위치한다. 이는 평형을 허용하여서, 중력의 영향을 최소화한다. 이 시스템에 인가된 자기 필드는

[0025]
$$\mathbf{T} = \mu_0 (\mathbf{m} \times \mathbf{H})$$

[0026] 의 토크를 생성한다.

[0027] 이 토크는 필드 벡터의 방향을 따라 기본 자석의 자기 다이폴 모멘트를 정렬한다. 토크는 가동 자석(들)을 가속함으로써, 발진하는 자기 에너지를 역학 에너지로 변환한다.

[0028] 기본 시스템이 도 2 에 도시된다. 자석 (200) 은 토션 스프링 (210) 에 의해 제자리에 유지된다. 이 토션 스프링은 자기 필드로부터의 어떠한 토크도 인가되지 않는 경우에 201 로 표시된 위치에 자석을 유지한다. 이 토크 없는 위치 201 은 $\theta=0$ 으로 고려된다.

[0029] 자기 토크는 자석 (200) 이 스프링 상수가 K_R 인 스프링의 힘에 반하여, 위치 202 로 스프링의 힘에 반하여 이동하게 한다. 이 이동은 관성 모멘트 I 에 대한 비율 K_R 의 제곱근에 비례하는 주파수에서 공진을 나타내는 토션 진자를 생성하는 관성 모멘트 I 를 형성한다.

[0030] 마찰 손실 및 전자기 방사는 발진하는 자기 다이폴 모멘트에 의해 야기된다.

[0031] 이 시스템이 시스템의 공진에서 교변 필드 H_{AC} 에 놓이면, 토션 진자는 인가된 자기 필드의 세기에 따른 각도 변위 데이터로 발진할 것이다.

[0032] 다른 실시형태에 따르면, 토션 스프링의 일부 또는 전부가 추가적인 정적 자기 필드 H_{DC} 로 대체된다. 이 정적 자기 필드는 토크

[0033]
$$\mathbf{T} = \mu_0 (\mathbf{m} \times \mathbf{H}_{DC})$$

[0034] 를 제공하도록 배향된다.

[0035] 다른 실시형태는 스프링 및 정적 자기 필드 둘 다를 이용하여 디바이스를 유지할 수도 있다.

[0036] 역학 에너지는 보통의 패러데이 유도, 예를 들어, 다이너모 원리를 이용하여 전기 에너지로 재변환된다. 이는, 예를 들어, 도 3 에 도시된 바와 같이 자기 전기 시스템 (200) 주위에 감겨진 유도 코일 (305) 에 이용될 수 있다. 310 과 같은 부하는 코일 (305) 에 걸쳐 접속될 수 있다. 이 부하는 기계적 저항으로 나타난다. 부하는 시스템을 약하게 하고 (dampen), 기계적 발진기의 Q 팩터를 낮춘다. 또한, 코일이 이에 걸친 부하를 가지는 경우, 자석에서의 와상 전류는 증가할 수도 있다. 이들 와상 전류는 또한 시스템 손실에 기여할 것이다.

[0037] 일 실시형태에서, 와상 전류는 코일 전류로부터 기인하는 교변 자기 필드에 의해 생성된다. 자기 시스템의 더 작은 자석은 와상 전류를 감소시킬 수도 있다. 일 실시형태에 따르면, 더 작은 자석의 어레이가 이 와상 전류 영향을 최소화하기 위해 이용된다.

[0038] 자기 기계 시스템은 자석의 각도 변위가 피크 값에 도달하면 포화 (saturation) 를 나타낼 것이다. 이 피크 값은 외부 H 필드의 방향으로부터 또는 315 와 같은 변위 스톱퍼 (stopper) 의 존재에 의해 결정되어 소정 변형으로부터 토션 스프링을 보호할 수 있다. 이는 또한 자석 엘리먼트에 대한 제한되는 이용가능한 공간과 같이, 패키징에 의해 제한될 수도 있다.

- [0039] 일 실시형태에 따르면, 부하 시의 Q 가 무부하 시의 Q 의 절반이 되는 경우에 최적 매칭이 획득된다. 일 실시형태에 따르면, 유도 코일은 그 조건을 충족하여 출력 전력량을 최대화하도록 설계된다.
- [0040] 이러한 가동 자석의 어레이를 이용하는 경우, 이 어레이를 형성하는 자석들 사이에 상호 커플링이 있을 수도 있다. 이 상호 커플링은 내력 및 자기소거 (demagnetization) 를 야기할 수 있다. 일 실시형태에 따르면, 이 어레이는 도 4a 및 도 4b 에 도시된 바와 같이, 방사상으로 대칭형, 예를 들어, 레귤러 또는 장형 중 어느 하나인 스페로이드형일 수 있다. 도 4a 는 자화된 구체의 평행 플럭스 라인을 도시한다. 이는 자속 밀도 B 를 나타낸다. 도 4b 는 자화된 구체에서의 자기 필드 세기를 도시한다. 이들 도면으로부터, 스페로이드 형상의 3차원 어레이에서의 자석들 사이에 유효하게 0 변위가 있다는 것을 알 수 있다.
- [0041] 따라서, 이 자석들은 400 으로 도시된 스페로이드의 축과 인라인으로 되는 것이 바람직하다. 이는 자석의 각도 변위에 대해 내부 힘이 소멸되게 한다. 이는 공진 주파수가 기계 시스템 파라미터에 의해서만 정의되게 한다. 구체는 이들 유리한 팩터를 가지지만, 또한 $1/3$ 과 같이 낮은 자기소거 팩터를 가질 수도 있는데, 여기서 최적 자기소거 팩터는 1 이다. 모든 방향에서의 축의 동일한 배향을 가정할 때, 디스크 형상의 어레이가 또한 이용될 수 있다. 디스크는 매우 높은, 예를 들어, 1 에 더욱 가까운 자화 (magnetization) 팩터를 가진다.
- [0042] 디스크의 자화 팩터는 폭 대 직경 비율에 따를 것이다. 이 형상의 엘리먼트는 또한, 디바이스에 집적하는데 더욱 적절한 폼 팩터를 갖는데, 그 이유는 스페로이드가 구조의 두께를 증가시키지 않고 더욱 용이하게 이용될 수도 있는 평탄한 파트를 갖기 때문이다.
- [0043] 다음은 자기 기계 시스템과 종래의 페리 자성 재료 (페라이트) 의 비교이다. 페리 자성 재료 또는 페라이트는 자기 기계 시스템으로 모델링될 수도 있거나, 반대로, 자기 기계 시스템이 종래의 페라이트 재료로 달성가능하지 않을 수도 있는 특수한 특성을 갖는 페라이트로 간주될 수도 있다. 이는 다음에서 나타내어질 것이다:
- [0044] 페리 자성 물질에서, 인접 원자의 자기 모멘트는 반강자성 재료에서와 같이 반대로 정렬되지만, 이 모멘트는 네트 (net) 자기 모멘트가 있도록 완전히 보상하지 않는다. 그러나, 이는 영구 자석에 이용될 수 있는 강자성 재료에서보다 적다.
- [0045] 더욱 약한 자기 영향이 있더라도, 페라이트로 알려진 이들 페리 자성 재료는 낮은 전기 전도성을 가진다. 이는, 유도된 와상 전류가 더 낮으므로 이들 재료가 AC 인덕터 및 변압기의 코어에서 유용하게 한다.
- [0046] 낮은 전기 전도성은 또한, 와상 전류가 감소되도록 서로 전기적으로 절연되는 다수의 작은 기본 자석으로 구성된 자기 기계 시스템에서 발견될 수 있다.
- [0047] 결정질 강자성 및 페리 자성 재료는 통상적으로, 바이스 (Weiss) 도메인으로 불리는 자기 도메인에서 구성된다. 도메인에서의 원자는 네트 자기 모멘트가 발생하도록 정렬된다. 이들 도메인은 자기 기계 시스템의 자석으로 간주될 수도 있다.
- [0048] 많은 자기 재료에서, 달라지기는 하지만, 도메인 자화는 주요 결정 방향 중 하나를 따라 정렬되는 경향이 있다. 이 방향은 자화의 용이한 방향으로 불리고, 최소 에너지의 상태를 나타낸다. 페라이트 재료에서, 결정 도메인의 방향은, 어떠한 외부 자기 필드도 인가되지 않으면, 완벽한 소거가 존재하여 그 결과적으로 거시적 레벨에서의 네트 자기 모멘트가 0 이 되도록 랜덤하게 배향되는 것으로 간주될 수도 있다. 이는 "기본" 자석이 동일하게 배향되는 자기 기계 시스템과는 다르다.
- [0049] 다른 (용이하지 않은) 방향으로 결정질 도메인의 자기 모멘트를 회전시키기 위해, 회전 각도에 따라 일정 힘 및 작용이 필요하다. 이러한 작용은 페리 자성 재료가 외부 자기 필드에 놓이는 때에 수행된다. 기초가 되는 물리 현상은 상술한 바와 같이, 자기 모멘트에 인가되는 로렌즈 힘이다.
- [0050] 자기 기계 시스템의 토션 스프링 (기계 또는 자기) 은 도메인의 자기 배향을 그 최소 에너지의 상태로 다시 설정한다. 외부 필드가 제거되면, 이는 자기 기계 시스템의 토션 스프링으로 간주될 수도 있다. 페라이트의 결정 도메인이 상이한 형상 및 사이스를 가지므로, 이들은 상이한 스프링 상수로 나타난다. 다른 실시형태는, 모두 동일한 스프링 상수를 갖는 기본 발진기를 이용한다.
- [0051] 더 강한 외부 필드는 더 많은 도메인이 외부 자기 필드에 의해 주어진 방향으로 정렬 또는 더 잘 정렬되게 한다. 이 영향은 자기 분극 (magnetic polarization) 으로 불린다. 이는

$$B = \mu_0 H + J = \mu_0 (H + M) = \mu_0 \mu_r H$$

와 같이 수학적으로 표현될 수도 있다. 여기서 J 는 자기 분극이고, M 은 자화이며, μ_r 는 상대 투자율이다.

자화 영향은 회전가능한 자기 모멘트를 이용하는 팩터 μ_r 에 의한 수신 위치에서의 자속 밀도의 확대로서 간주될 수도 있다. 자속 밀도의 국부 확대의 이러한 원리는 상술한 자기 기계 시스템에 고유하다. 따라서, 상대 투자율은 자기 기계 시스템에 귀속될 수도 있다. 공진 시스템에서, 이 상대 투자율은 주파수의 함수일 것이고, 공진 주파수에 가까운 최대에 도달한다.

페라이트 재료에서 발생될 수도 있는 도메인 자화를 변경하는 다른 메커니즘은 자화의 방향이 동일하게 유지되지만, 개별 도메인에 의해 점유되는 체적은 변경될 수도 있다. 도메인 벽 이동 (domain wall motion) 으로 불리는 이 프로세스는, 파일링된 방향에 가장 가까운 자화 방향을 갖는 도메인이 커지는 동안에, 더 알맞지 않게 배향되는 도메인은 사이즈가 축소된다.

이러한 종류의 자화 프로세스는 상술한 바와 같은 자기 기계 시스템의 자화 프로세스와 상이하다. 외부 자기 필드가 연속적으로 증가하면, 페라이트 재료는 포화 지점에 도달할 때까지 점진적으로 자화될 것이다. 포화는 도메인의 네트 자기 모멘트가 외부 자기 필드에 최대로 정렬되는 상태이다.

상술한 바와 같이, 자기 기계 시스템은, 기본 자석의 각도 변위가 최대 피크 각도 변위에 도달하는 경우에 포화된다. 교번 외부 자기 필드가 인가되는 경우의 동적 거동 (dynamic behavior) 은 상이하다. 이를 목적으로, 벌크 페라이트 재료의 자화 프로세스가 고려될 수 있다. 페라이트의 통상적인 자화 곡선 (외부 필드 H 의 함수로서의 M) 을 고려하면, 페라이트가 상이한 동적 거동을 나타내는 3 개의 주요 영역이 식별될 수 있다.

낮은 자화에서, 도메인 벽 이동 및 회전은 주로 가역이다. 가역이란, 히스테리시스 현상 이외에, 외부 필드가 증가한 후 이의 오리지널 필드 세기로 다시 감소되는 경우에 오리지널 자화 상태가 리턴될 수 있다는 것을 의미한다.

자화 곡선의 제 2 영역은 자화의 기울기 (M 대 H) 가 더 크고 비가역 도메인 벽 이동이 발생하는 영역이다.

곡선의 제 3 섹션은 비가역 도메인 회전 중 하나이다. 여기서, 기울기는 매우 평탄하며, 이는 외부 자기 필드와 인라인으로 나머지 도메인 자화를 회전시키는데 필요한 높은 필드 세기를 표시한다.

비가역 도메인 벽 이동 또는 도메인 회전은 다소 명백하게 모든 페라이트에 의해 제시되는 자화 곡선에서의 공지된 히스테리시스를 설명한다. 히스테리시스란, 자화 또는 유도 B 가 외부 자기 필드에 비해 지연 (lag) 된다는 것을 의미한다. 그 결과, 주어진 필드 H 에서의 유도 B 는 페라이트 샘플의 이전의 자기 이력의 정보 없이는 특정될 수 없다. 따라서, 히스테리시스는 재료에 고유한 메모리로 간주될 수도 있다.

히스테리시스 루프에 포함된 영역은, 예를 들어, 교번 외부 자기 필드로부터 기인하는 것과 같이, 순환적인 자화 프로세스에서 초래되는 자기 손실의 측정치이다.

무선 에너지 전송의 애플리케이션에 대하여, 적어도 히스테리시스 손실이 통상적으로 현저해지는 자화의 제 2 영역으로 페라이트를 드라이브하는 요건이 있을 것이다. 이 요건은, 예를 들어, 통신 수신기 안테나에 대해 상이하다. 그러나, 이는 더 이상 여기서 설명되지 않는다.

더 높은 주파수에서, 2 개의 주요한 손실 기여자가 페라이트 재료에서 식별될 수 있다:

- 비가역 도메인 변경으로 인한 히스테리시스 손실; 및

- 페라이트에서의 잔여 전도성으로 인한 와상 전류 손실. 히스테리시스 루프 주위를 한번 순환하는 에너지가 스피드에 독립적이므로, 히스테리시스 손실은 주파수에 비례하여 증가한다. 와상 전류 손실은 히스테리시스 루프를 넓히는 영향을 준다.

상술한 바와 같이 토션 스프링을 이용하는 자기 기계 시스템은 대부분 히스테리시스가 없는데, 여기서 비가역 영향이 관련된다. 더 높은 주파수에서, 와상 전류 손실이 또한 예상되어야 한다. 더 낮은 주파수 (《 1 MHz) 에서, 자기 기계 시스템은 포화에 가까운 레벨에서 높은 Q 팩터를 제공할 가능성을 가진다.

- [0068] 교번 필드에 대해, 페라이트 코어 재료는 그 복소 투자율을 특징으로 할 수도 있다.
- [0069]
$$\mu = \mu' + j\mu''$$
- [0070] 실수부 및 허수부는 각각 외부 필드에 대한 동위상 및 직교위상의 자화의 투자율을 나타낸다.
- [0071] 2 개의 투자율은 종종 페라이트 재료에 대한 데이터 시트에서 플롯되는 것으로 발견될 수 있다. 통상적으로, 실수 성분은 주파수에 따라 어느 정도 일정하고, 약간 상승한 후, 더 높은 주파수에서 급속도로 하강한다. 다른 한편으로, 허수 성분은 먼저 느리게 상승한 후, 실수 성분이 급격히 하강한 곳에서 꽤 갑자기 증가한다.
- [0072] 컷오프 바로 전에 발생하는 μ' 의 최대값은 페리 자성 공진이다. 페리 자성 공진은 페라이트 재료의 내인 성 특성이며, 이 재료가 이용될 수 있는 상위 주파수로 간주될 수도 있다. 또한, 재료의 투자율 μ' 가 높을수록, 페리 자성 공진의 주파수가 더 낮아지는 것이 발견된다. 이 공진 현상은 도메인 회전, 카운터 토크 (스프링), 및 일정 관성 모멘트를 표시한다. 공진 주파수는 소위 회전자기 (gyromagnetic) 비율에 따른다는 것이 설명될 수 있다.
- [0073] 페라이트는 자기 기계 시스템과 유사한 공진을 나타내지만 너무 낮은 Q 팩터를 가져서, 이 효과는 특정된 주파수에서 높은 투자율 μ' 를 갖는 재료를 얻는데 기술적으로 이용될 수 없다.
- [0074] 높은 Q 팩터 (10,000 까지) 의 회전자기 공진은, 일정 페라이트 재료 (예를 들어, 이트륨 철 가닛) 가 강한 정적 자기 필드에 놓이면, 이 재료에 있어서 마이크로파 주파수 (> 1 GHz) 에서 관찰될 수 있다. 전자 스핀 세차운동 (electron spin precession) 에 기초한 이 효과는 서클레이터, 아이솔레이터, 높은 Q 필터 및 발진기와 같은 마이크로파 컴포넌트를 구축하는데 이용될 수 있다. 그러나, 마이크로파 범위에서 커플링된 자기 공진을 이용하는 무방사 에너지 전송은 극도로 짧은 범위에 제한된다.
- [0075] 회전자기 공진은 원자 레벨에서의 자기 기계 시스템으로 간주될 수도 있다. 그러나, 그 차이는 자기 모멘트가 축상으로 발진하는 것보다는 정적 자기 필드의 필드 라인을 중심으로 세차운동한다는 것이다. 그러나 두 경우 모두에서, 이동 자기 모멘트 및 각도 변위가 있다.
- [0076] 따라서, 자기 기계 시스템은 그 에너지 전송의 일부로서 페리 자성 및 회전자기를 이용할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0077] 자기 기계 시스템은 단일 영구 자석으로 또는 기본 자석의 다수 (어레이) 로 형성될 수도 있다. 이론적 분석은 다음을 나타낸다:
- [0078] · 자기 모멘트 대 관성 모멘트의 비율은 기본 자석의 수에 따라 증가한다. 이 비율은 페리 자성으로부터 알려진 회전자기 비율과 유사하다.
- [0079] · 자기 기계 시스템의 성능은 이 모멘트의 비율에 따라 증가한다. 자기 기계 시스템의 성능에 대한 성능 지수 (figure of merit) 는 다음과 같다.
- [0080]
$$k_c = \frac{P_{av}}{H_{AC}^2 V_s}$$
- [0081] 여기서, P_{av} 는 최적 매칭의 조건 하에서 이용가능한 전력을 나타내고, H_{AC} 는 외부 교번 자기 필드 세기이며, V_s 는 자기 기계 시스템에 의해 요구되는 체적이다. 특정 전력 변환 팩터로 불리는 이 성능 지수는, 진자가 여기 자기 필드의 방향에 수직으로 배향되는 경우에 얼마나 많은 단위 시스템 체적 당 전력이 교번 자기 필드 H_{AC} 로부터 추출될 수 있는지를 표시한다.
- [0082] 길이 l_{cm} 의 로드 자석의 가정을 이용하는 이론 분석은, 주어진 시스템 Q 팩터 및 동작 주파수에 대해, 특정 전력 변환 팩터가 l_{cm}^2 에; 이에 따라 $N_e^{2/3}$ 에 반비례하게 증가한다는 것을 나타내는데, 여기서 N_e 는 단위 시스템 체적에 피팅되는 기본 발진기의 수이다. 이 식은 포화에서 아이템에 대해 유지되지 않으며, 이는 토션 진자의 각도 변위가 스톱에 의해 제한되지 않는다는 것을 의미한다. 이는 단일 발진 자석에 비해 기본 자석의 어레이의 이점을 표시하는 매우 흥미로운 결과이다.

[0083] 특정 전력 변환 팩터가 높을수록, 이 시스템이 포화되는 경우에 이 특정 전력 변환 팩터는 더 작은 필드 세기를 가질 수 있다.

[0084] 포화의 결과로서, 주어진 주파수에서, 이용가능한 단위 시스템 체적 당 전력에 대한 상한이 존재하며, 이는

[0085] · 최대 피크 각도 변위 θ_{peak}

[0086] · 외부 교번 자기 필드의 세기 H_{AC}

[0087] 에 좌우된다.

[0088] 이론은 이 상한이 H_{AC} 에 따라 선형으로 증가하는 것을 나타낸다. 이 상한은 자기 기계 시스템에 대한 중요한 설계 파라미터이다. 또한, 비율

[0089]
$$\frac{Q_{UL} \cdot H_{AC}}{I_{em}^2}$$

[0090] 이 일정하게 유지되는 한, 자기 기계 시스템을 설계하기 위해 어느 정도의 자유도가 존재한다는 것을 나타내며, 여기서 Q_{UL} 은 자기 기계 시스템의 무부하 시의 Q 팩터이다.

[0091] 상기의 분석은, 마이크로 자기 기계 발진기의 어레이를 이용하는 것이 단일 매크로 발진기로 실제 달성가능한 것보다 더 우수한 성능을 갖는 시스템의 설계를 가능하게 한다는 것을 나타낸다. 매크로 사이즈의 발진기는 기계 시스템에서 실현될 수 없는 극도로 높은 Q 팩터를 필요로 한다.

[0092] 다른 실시형태는 마이크로 전자 기계 시스템 (MEMS) 을 이용하여 자기 기계 시스템을 생성한다. 도 5 는 MEMS 기술을 이용하여 자기 기계 발진기의 어레이를 형성하는 일 실시형태를 도시한다.

[0093] 어레이 (500) 는 502 와 같은 수개의 자석 엘리먼트로 형성될 수도 있다. 각 자석 엘리먼트 (502) 는 실리콘 기판으로 마이크로-기계 가공된 2 개의 U 형상 슬롯 (512, 514) 으로 형성된다. 유사한 사이즈의 영구 로드 자석 (504, 506) 이 이들 슬롯 내에 형성된다. 이 자석은 10 μm 이하일 수도 있다. 마이크로미터 레벨에서, 결정질 재료는 더 큰 사이즈와 상이하게 거동할 수도 있다. 따라서, 이 시스템은 상당한 각도 변위, 예를 들어, 10° 정도의 각도 변위를 제공할 수 있다. 이는 이러한 시스템의 Q 팩터를 증가시키는 능력을 제공할 수도 있다.

[0094] 이 자석은 10 μm 정도 또는 그 이하일 수도 있다. 이들 디바이스는 실리콘과 같은 단일 벌크 재료에서 형성될 수도 있다. 자석 (504, 506) 은 높은 자화, 예를 들어, 1 테슬라보다 높은 자화를 가질 수 있다.

[0095] 이 자석은, 하나의 조각이 상부 측에 부착되고 다른 하나의 조각이 하부 측에 부착된 2 개의 절반 조각으로 구성된다. 바람직하게는, 이들 디바이스는 중력의 중심이 회전축과 일치하도록 탑재된다.

[0096] 이 디바이스는 낮은 마찰 재료로 커버될 수도 있거나, 이 타입의 마찰을 감소시키기 위해 텅 (tongue) 과 벌크 재료 사이의 영역에 위치하는 진공을 가질 수도 있다.

[0097] 도 6 은 3차원 자석의 어레이의 컷스루 영역을 도시한다. 일 실시형태에서, 이 어레이는 디스크 형상과 같이, 방사 대칭 형상으로 형성된다. 도 6 의 디스크 형상 어레이 (600) 는 실질적으로 모든 변위 각도에서 실질적으로 일정 자기소거 팩터를 제공할 수도 있다. 이 실시형태에서, 유도 코일은 디스크 주위에 감겨서, MEMS-자기 기계 시스템에 의해 발생된 발진하는 유도 필드의 동적 성분을 픽업할 수도 있다. 이 시스템의 결과적인 동적 성분은

[0098]
$$\mathbf{m}_x(t) = |\mathbf{m}| \cdot \sin \theta(t) \cdot \mathbf{e}_x$$

[0099] 로 표현될 수도 있다.

[0100] 도 7 은 코일이 디스크 주위에 감겨질 수 있는 방법을 도시한다.

[0101] 단위 시스템 체적 당 자기 기계 시스템을 통해 전송될 수 있는 전력에 대한 수학식은

[0102] · 기하학적 구조와 같은 시스템 파라미터 (예를 들어, 사이즈 또는 기본 발진기의 수)

- [0103] · 재료 특성
- [0104] · 주파수
- [0105] · 외부 교변 자기 필드 세기에 관하여 도출될 수 있다.
- [0106] 최대 이용가능한 전력에 대한 수학식은 자기 기계 발전기의 Q 팩터 및 제한된 각도 변위의 제약 하에서 결정된다.
- [0107] 이들 수학식은 자기 기계 시스템의 포텐셜을 분석하여 최적 설계 파라미터를 알아낸다.
- [0108] 1차 시스템 파라미터는 임의의 다른 파라미터 세트와 무관한 파라미터이므로, 다른 파라미터의 함수로 표현될 수 없다.
- [0109] 이 시스템을 분석하기 위해, 다음의 1차 파라미터 세트가 선택되었다:
- [0110] V_s : 자기 기계 시스템의 체적 [m^3]
- [0111] l_{em} : 기본 로드 자석의 길이 [m]
- [0112] ρ_{em} : 기본 자석의 길이 대 반경 비율
- [0113] v_{em} : 기본 자석의 비체적 (specific volume) [m^3/kg]
- [0114] H_{em} : 기본 자석의 내부 자기 필드 세기 [A/m]
- [0115] α : 필 팩터 (fill factor)(총 자기 체적 대 시스템 체적의 비율)
- [0116] Q_{UL} : 기계적 공진기(들)의 무부하 시의 Q 팩터. 이는 기계적 마찰, 방사, 그리고 역학 에너지에서 전기 에너지로의 변환으로 인한 손실을 포함한다.
- [0117] Θ_{peak} : 기계적 공진기에 의해 지지되는 자석 로드의 최대 피크 변위 각도 [rad].
- [0118] f_0 : 공진 주파수 [Hz]
- [0119] H_{AC} : 외부 인가된 교변 자기 필드 [A/m]
- [0120] P_{av_mech} : 이용가능한 기계 전력 (부하로의 최대 전력)
- [0121] 2차 시스템 파라미터 및 물리량은 다음을 포함한다.
- [0122] r_{em} : 기본 로드 자석의 반경 [m]($=l_{em}/\rho_{em}$)
- [0123] V_{em} : 기본 자석의 체적 $= l_{em}^3 \pi / \rho_{em}$
- [0124] V_e : 기본 시스템 (공진기) 에 의해 요구되는 체적 ($=V_{em}/\alpha$)
- [0125] N_e : 시스템 체적에서의 기본 자석의 수 $= V_s/V_e$
- [0126] I : 기본 자석의 관성의 모멘트 [$kg\ m^2$]. 이는 v_{em} , l_{em} , 및 ρ_{em} 의 함수이다.
- [0127] K_r : 토션 스프링 상수 [$kg\ m^2\ s^{-2}$]. 이는 Q_{UL} , f_0 , 및 I 의 함수이다.
- [0128] Γ_s : 모든 시스템 손실을 나타내는 동적 회전 마찰 (토크에 비례하는 각속도) [$kg\ m^2\ s^{-1}$]. 이는 Q_{UL} , f_0 , 및 I 의 함수이고, 기계적 마찰, 방사, 및 역학 에너지에서 전기 에너지로의 변환으로 인한 손실을 포함한다.
- [0129] Γ_L : 부하 등가 동적 회전 마찰 [$kg\ m^2\ s^{-1}$]

[0130]

$\bar{\omega}$: 발진하는 기본 시스템의 각속도

[0131]

m: 자기 모멘트 (벡터) $[Am^2]$. 이는 l_{em} , ρ_{em} 및 H_{em} 의 함수이다.

[0132]

θ : 변위 각도 [rad]

[0133]

ϕ : 0 변위에서의 자기 모멘트 벡터와 외부 인가된 교번 자기 필드의 벡터 사이의 각도 [rad]

[0134]

인덕턴스, 커패시턴스, 및 저항으로 구성된 선형 전기 시스템과; 토션 스프링, 관성 모멘트, 및 동적 마찰 (dynamic friction)(토크에 비례하는 각속도) 로 형성된 회전 기계 시스템 사이에 유사성이 있다. 이 유사성을 표 1 에 나타낸다.

표 1

전기 시스템		회전 기계 시스템
물리량 :		
I (전류)	\Leftrightarrow	T (토크)
U (전압)	\Leftrightarrow	$\bar{\omega}$ (각 속도)
컴포넌트 파라미터 :		
L	\Leftrightarrow	$1/K_r$
C	\Leftrightarrow	I
R_p	\Leftrightarrow	$1/\Gamma$
공진 주파수 :		
$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	\Leftrightarrow	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_r}{I}}$
무부하 시의 Q (병렬 회로) :		
$Q_{UL} = R_p \sqrt{\frac{C}{L}}$	\Leftrightarrow	$Q_{UL} = \frac{1}{\Gamma} \sqrt{K_r I}$

[0135]

[0136]

식의 도출을 이하 나타낸다. 공진 조건으로부터, 토션 스프링 상수를 얻는다.

[0137]

$$K_r = (2\pi f_0)^2 I$$

[0138]

최적 매칭 조건

[0139]

$$\Gamma_L = \Gamma_s$$

[0140]

은 자기 전기 트랜듀서 (유도 코일 더하기 부하) 로 달성될 수 있다고 가정한다. Q 팩터 식 (표 1 참조) 으로부터, 동적 마찰은

[0141]

$$\Gamma_s = \Gamma_L = \frac{\sqrt{K_r I}}{Q_{UL}} = \frac{2\pi f_0 I}{Q_{UL}}$$

[0142]

이 된다.

상기에서 정의된 파라미터를 이용하여, 기본 자석의 자기 모멘트는

$$m = V_{em} \cdot H_{em}$$

으로 그리고 관성의 모멘트는

$$I = \frac{V_{em} \cdot l_{em}^2}{12 \nu_{em}}$$

로 표현될 수도 있다.

상기의 공지의 토크 수식식에 기초하여, 구동 토크의 RMS 값은

$$T = m \cdot \mu_0 H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

이 된다.

키르히호프의 노드 법칙을 적용하는 것은 회로의 토크들 사이의 다음의 관계를 제공한다.

$$T - T_{K_r} - T_I - T_{\Gamma_s} - T_{\Gamma_L} = 0$$

공진 주파수에서, 정의

$$T_{K_r} = -T_I$$

및 그에 따른

$$T = T_{\Gamma_s} + T_{\Gamma_L}$$

에 의해 그리고 매칭 조건

$$T_{\Gamma_L} = \frac{T}{2}$$

으로부터 얻는다.

기본 시스템당 이용가능한 기계 전력은 이하

$$T_{\Gamma_L} = \frac{T}{2}$$

로 단순히 표현될 수도 있다.

상기의 식을 이용하여, 전체 자기 기계 시스템으로부터 이용가능한 총 전력에 대한 다음의 관계가 획득될 수 있다.

$$P_{av_mech} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{\mu_0^2 H_{em}^2 Q_{UL} \nu_{em} V_s \alpha}{f_0 l_{em}^2} \cdot (H_{AC} \cdot \sin(\varphi))^2$$

이 식은 주어진 Q_{UL} 및 주파수에 대해, 이용가능한 전력이 결과적으로 생긴 각도 변위를 무시하여 기본 로드 자석의 길이에 반비례하게 증가하는 것을 표시한다. 기본 발진기의 피크 각도 변위에 대해, 주어진 Q 팩터 및 주파수에서의 피크 각도 변위가 기본 로드 자석의 길이에 반비례하게 증가하는 것을 표시하는

$$\theta_{peak} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} \nu_{em}}{f_0^2 l_{em}^2} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

를 얻어서, 외부 자기 필드 세기 H_{AC} 및 그에 따른 외부 자기 필드로부터 추출될 수 있는 전력에 대해서도 몇몇

제약을 설정한다. 최대 각도 변위 제약을 도입하는 것은 주파수-자석 길이 곱

$$f_0 \cdot l_{em} = \left(\frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} v_{em}}{\theta_{peak}} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi) \right)^{\frac{1}{2}}$$

에 대한 관계를 초래한다.

피크 각도 변위에 대한 제약 (포화) 을 이용하여, 최대 이용가능한 전력에 대한 흥미로운 식이 획득될 수 있다.

$$P_{av_mech} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \mu_0 H_{em} V_s \alpha f_0 \theta_{peak} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

이 식은 또한 다음과 같이 외부 자기 유도 B_{AC} 및 자기 기계 시스템의 총 자기 모멘트 m_{tot} 에 관하여 표현될 수도 있다.

$$P_{av_mech} = \frac{1}{2} (2\pi f_0) \cdot |\mathbf{m}_{tot} \times \mathbf{B}_{AC}| \cdot \frac{\theta_{peak}}{\sqrt{2}}$$

이 식은 Q 팩터, 및 로드 자석의 길이에 더 이상 좌우되지 않으며, 이는 자기 기계 시스템의 설계에서 일정 정도의 자유도를 표시한다. 그러나, 이들 파라미터는 피크 각도 변위 θ_{peak} 에 대해 은닉되거나 암시적이다.

최대 이용가능한 전력은 주파수에 따라 선형으로 증가한다. 이 거동은 또한 패러데이의 유도 법칙에 직접 기초하는 시스템에서 발견될 수 있다.

자기 기계 시스템의 성능을 정량화하는 유용한 정의는 이미 설명된 특정 전력 변환 팩터인

$$k_c = \frac{P_{av_mech}}{H_{AC}^2 V_s} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{\mu_0^2 H_{em}^2 Q_{UL} v_{em} \alpha}{f_0^2 l_{em}^2} \cdot \sin \varphi$$

뿐만 아니라, 포화 필드 세기

$$H_{AC_sat} = \theta_{peak} \left(\frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} v_{em}}{f_0^2 l_{em}^2} \cdot \sin(\varphi) \right)^{-1}$$

이다.

시스템은 보다 낮은 포화 레벨과 타협하는 것을 포함하여, 보다 높은 k_c 에 대해 설계될 수도 있다.

반대로, 시스템은 보다 낮은 k_c 와 타협하는 더 높은 포화 레벨에 대해 설계될 수도 있다.

수치 예

수치 예에 대해, 다음의 파라미터가 가정된다:

$$V_s = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ (} = 4 \text{ cm 의 직경과 } 3.1 \text{ mm 의 두께를 갖는 디스크와 등가인 } 4 \text{ cm}^3 \text{)}$$

$$v_{em} = 131.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$H_{em} = 1\text{T} / \mu_0 \text{ A/m}$$

$$\alpha = 0.25$$

$$Q_{UL} = 1000$$

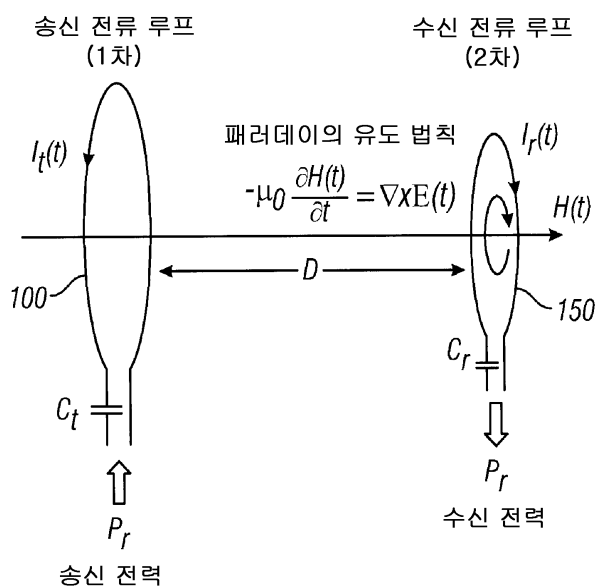
$$\theta_{peak} = 0.175 \text{ rad (} -10^\circ \text{)}$$

$$\phi = 0$$

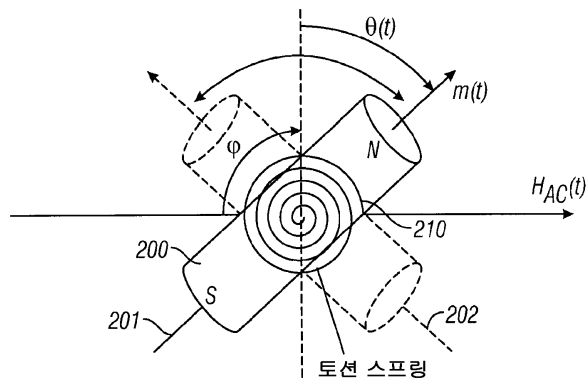
- [0192] 주요 관심 주파수는 $f = 135 \text{ kHz}$ 이다.
- [0193] 주요 관심 필드 세기는 $H_{AC} = 5 \text{ A/m}$ 이다.
- [0194] 이 전력은 이론상 주파수에 따라 선형으로 증가한다. 그러나, 더 높은 주파수에서 전력이 시스템에서의 최대 저장된 발진 에너지, 기계적 스트레인 등과 같은 다른 팩터에 의해 추가적으로 제한될 수도 있다는 것을 인식하여야 한다. 이는 이 분석에서 고려되지 않는다.
- [0195] 외부 교변 자기 필드 세기의 함수로서의 이용가능한 전력은 기본 자석의 상이한 길이에 대해 계산될 수 있다.
- [0196] $20 \mu\text{m}$ 길이의 로드 자석을 이용하는 시스템은 대략적으로 2.5 W 에서 포화되는 반면, $10 \mu\text{m}$ 막대 길이를 이용하는 시스템은 약 600 mW 의 더 낮은 값에서 포화된다. 그러나, $10 \mu\text{m}$ 시스템은 $20 \mu\text{m}$ 막대를 이용하는 것보다 더 민감하다 (특정 전력 변환 팩터가 더 높다). 이는 5 A/m 의 필드 세기에서 체크될 수 있다.
- [0197] 이 예에 기초하여, 4 cm 직경 3 mm 두께의 디스크 형상 시스템이 135 kHz 에서 5 A/m 의 자기 필드로부터 260 mW 까지 추출할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0198] 상기에서 단지 수개의 실시형태가 상세히 개시되었지만, 다른 실시형태도 가능하며 본 발명자들은 이들이 본 명세서 내에 포함되는 것으로 의도한다. 이 명세서는 다른 방식으로 달성될 수도 있는 더욱 일반적인 목표를 달성하기 위해 특정 실시예를 설명한다. 이 개시물은 예시적인 것으로 의도되고, 청구범위는 당업자에게 예측가능할 수도 있는 임의의 변형 또는 대안을 커버하는 것으로 의도된다. 예를 들어, 다른 사이즈, 재료 및 접속이 이용될 수 있다. 다른 구조가 자기 필드를 수신하는데 이용될 수 있다. 일반적으로, 전기 필드는 1차 커플링 메커니즘으로서 자기 필드 대신에 이용될 수 있다. 다른 종류의 자석 및 다른 형상의 어레이가 이용될 수 있다.
- [0199] 또한, 본 발명자들은 단어 "~하는 수단"을 이용하는 청구항만이 35 USC 112, 여섯번째 단락 하에서 해석되도록 의도되는 것으로 의도한다. 게다가, 명세서로부터의 어떠한 제한도, 이들 제한이 청구항에서 명백하게 포함되지 않으면, 이러한 제한은 임의의 청구항으로 관독되도록 의도되지 않는다.
- [0200] 특정 수치가 본 명세서에서 언급되지만, 몇몇 상이한 범위가 특별히 언급되지 않는 한, 이 수치는 본 출원의 교시 내에 여전히 유지되면서 20% 증가 또는 감소될 수도 있다는 것이 고려되어야 한다. 특정된 논리적 의미가 이용되지만, 반대의 논리적 의미도 또한 포함되는 것으로 의도된다.

도면

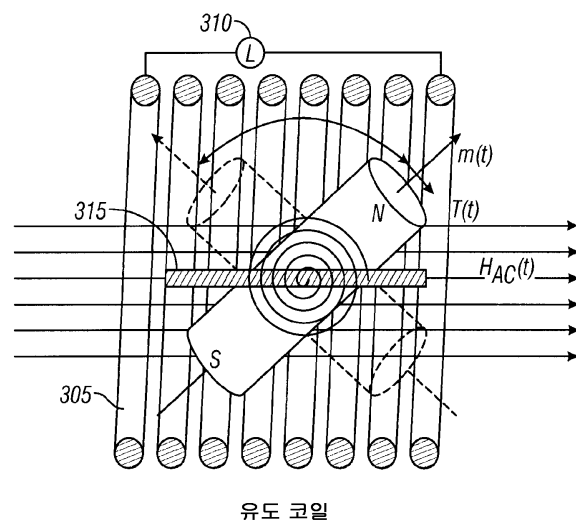
도면1



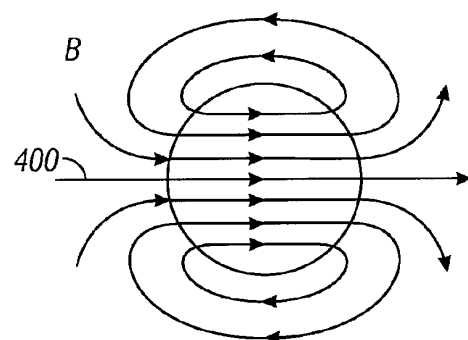
도면2



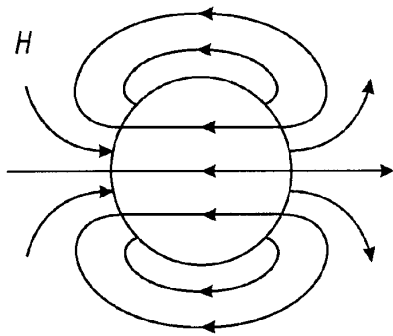
도면3



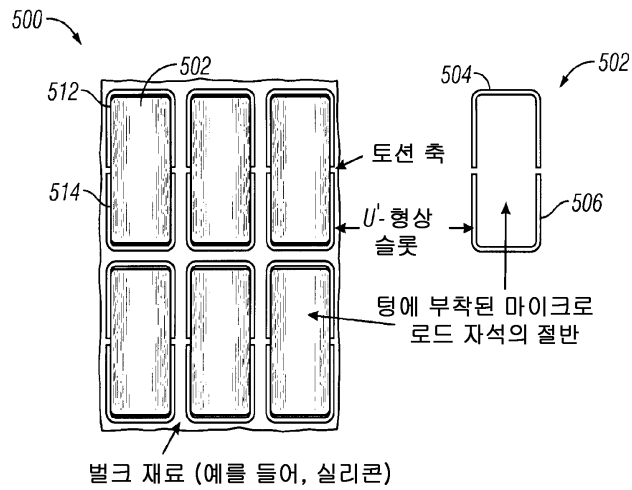
도면4a



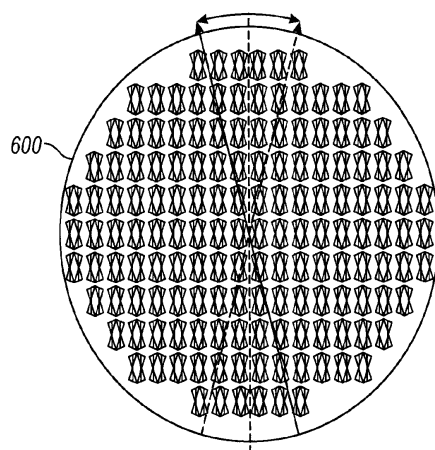
도면4b



도면5



도면6



도면7

