



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년01월21일  
(11) 등록번호 10-1586134  
(24) 등록일자 2016년01월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 17/00 (2006.01) H02J 7/00 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7034483
- (22) 출원일자(국제) 2011년05월31일  
심사청구일자 2013년12월26일
- (85) 번역문제출일자 2013년12월26일
- (65) 공개번호 10-2014-0025537
- (43) 공개일자 2014년03월04일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2011/038633
- (87) 국제공개번호 WO 2012/166124  
국제공개일자 2012년12월06일
- (30) 우선권주장  
61/491,844 2011년05월31일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP01206482 A\*  
JP2009106136 A\*  
JP2011101524 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
애플 인크.  
미합중국 95014 캘리포니아 쿠퍼티노 인피니트 루프 1
- (72) 발명자  
탄, 리-관  
미국 95014 캘리포니아주 쿠퍼티노 엠에스 305-3 비비 인피니트 루프 1
- (74) 대리인  
권성락, 권강, 양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 13 항

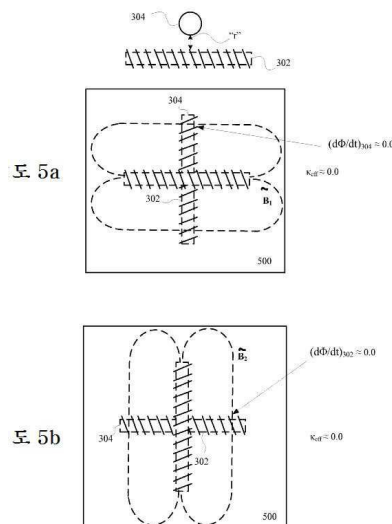
심사관 : 최창락

(54) 발명의 명칭 밀집된 어레이 내의 자기 분리형 다중 공진 코일

(57) 요약

무선으로 전력을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경의 다양한 실시예들이 기술되어 있다. 컴퓨팅 환경에서 무선 근거리 장 자기 공진(near field magnetic resonance, NFMR) 전력 전송을 이용하는 시스템 및 방법이 기술되어 있다. 소형 인수 무선 전원 유닛이 종래의 배터리를 대체하는 데 사용될 수 있다.

대표도



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

무선 전원 유닛으로서, 상기 무선 전원 유닛은, 공진 주파수  $\omega_T$ 에 따라 동작하는 NFMR(near field magnetic resonance, 근거리장 자기 공진) 송신기 유닛에 의해 제공되는 자기장으로부터, 상기 자기장에 대한 상기 무선 전원 유닛의 공간 배향에 관계없이, 전력을 무선으로 수신하도록 구성되어 있으며,

상기 무선 전원 유닛은,

제1 공진 주파수  $\omega_1$  을 가지는 제1 공진기 구조물;

제2 공진 주파수  $\omega_2$  를 가지는 제2 공진기 구조물 - 상기 제1 공진 주파수  $\omega_1$  은 상기 제2 공진 주파수  $\omega_2$ 와 상이하고, 상기 제1 공진기 구조물과 상기 제2 공진기 구조물은 서로에 대하여, 상기 제1 공진기 구조물과 상기 제2 공진기 구조물 사이의 자기 결합 계수(magnetic coupling coefficient)  $\kappa_{eff}$ 가 상기 NFMR 송신기 유닛에 의해 제공되는 자기장에 대한 상기 무선 전원 유닛의 공간 배향에 관계없이 0이도록 하는 위치에 고정되어 있음 -; 및

자기적으로 분리된(magnetically decoupled) 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물에 결합되는 전력 결합 유닛

을 포함하고,

상기 전력 결합 유닛은,

상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물 중 어느 것이 더 큰 전력량을 제공하고 있는지에 기초하여, 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물 중 연결할 하나를 선택하고,

상기 무선 전원 유닛이 상기 자기장으로부터 상기 공간 배향에 관계없이 전력을 무선으로 수신하도록, 상기 자기 결합 계수를 상기 자기장에 대한 상기 무선 전원 유닛의 상기 공간 배향에 관계없이 0으로 유지하도록 구성되는, 무선 전원 유닛.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물 중 적어도 하나가 상기 NFMR 송신기 유닛에 대해 동조된 상태에 있을 때, 상기 NFMR 송신기 유닛과 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물 사이의 비방사 전력 전송은 상기 제1 공진기 구조물과 상기 제2 공진기 구조물 사이의 자기 공진 결합을 통해 조정되는(mediated) 무선 전원 유닛.

**청구항 3**

제2항에 있어서, 상기 전력 결합 유닛은 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물에 의하여 나타나는 자속의 양에 더 기초하여 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물 중 연결할 하나를 선택하도록 구성되는 무선 전원 유닛.

**청구항 4**

제3항에 있어서, 상기 제1 공진기 구조물은,

제1 공진 코일을 포함하고,

상기 제1 공진 코일은,

제1 중앙 코어 영역; 및

상기 제1 중앙 코어 영역 주위에 원주상으로 감겨 있는(circumferentially wrapped) 연속적인 전도성 물질의

제1 복수의 루프  
를 포함하는 무선 전원 유닛.

**청구항 5**

제4항에 있어서, 상기 제2 공진기 구조물은  
제2 공진 코일을 포함하고,  
상기 제2 공진 코일은,  
제2 중앙 코어 영역; 및  
상기 제2 중앙 코어 영역 주위에 원주상으로 감겨 있는 연속적인 전도성 물질의 제2 복수의 루프  
를 포함하며,  
상기 제1 공진 코일에 유도된 제1 EMF가 상기 제2 공진 코일에 전체 EMF를 유도하지 않는 무선 전원 유닛.

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제5항에 있어서, 상기 제1 공진 코일의 세로축은 상기 제2 공진 코일의 세로축에 수직인 무선 전원 유닛.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 제1 구성에서, 상기 제1 공진 코일의 제1 단부는 상기 제2 공진 코일의 세로축의 중간점으로부터 미리 정해진 거리만큼 떨어져 있고 그 중간점과 동일 평면에 있는 무선 전원 유닛.

**청구항 10**

제9항에 있어서, 상기 제1 구성에서,  
제3 중앙 코어 영역을 포함하는 제3 공진 코일; 및  
상기 제3 중앙 코어 영역 주위에 원주상으로 감겨 있는 연속적인 전도성 물질의 제3 복수의 루프  
를 더 포함하며,  
상기 제3 공진 코일의 제1 단부는 상기 제2 공진 코일의 세로축의 중간점으로부터 미리 정해진 거리만큼 떨어져  
있고 그 중간점과 동일 평면에 있으며 상기 제1 공진 코일과 동일 평면에 있고, 상기 제3 공진 코일의 세로축은  
상기 제1 공진 코일의 세로축과 정렬되어 있고 상기 제2 공진 코일의 세로축에 수직인 무선 전원 유닛.

**청구항 11**

제9항에 있어서, 상기 제1 구성은 "T자형" 구조물인 무선 전원 유닛.

**청구항 12**

제10항에 있어서, 상기 제3 공진 코일은 상기 제1 공진기 구조물 및 상기 제2 공진기 구조물과 함께 십자형 구  
조물을 형성하는 무선 전원 유닛.

**청구항 13**

제8항에 있어서, 제2 구성에서, 상기 제1 공진 코일의 세로축은 상기 제2 공진 코일의 세로축에 수직이고, 상기  
제1 공진 코일의 세로축의 중간점과 상기 제2 공진 코일의 세로축의 중간점이 정렬되어 있고 서로로부터 적어도  
거리  $r$ 만큼 변위를 가지는(displaced) 무선 전원 유닛.

**청구항 14**

제1항에 있어서, 상기 무선 전원 유닛은 이동식 컴퓨터 주변 장치에 포함되어 있는 무선 전원 유닛.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 컴퓨터 주변 장치는 컴퓨터 마우스인 무선 전원 유닛.

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

삭제

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

삭제

**청구항 20**

삭제

**청구항 21**

삭제

**청구항 22**

삭제

**청구항 23**

삭제

**청구항 24**

삭제

**청구항 25**

삭제

**청구항 26**

삭제

**청구항 27**

삭제

**청구항 28**

삭제

**청구항 29**

삭제

**청구항 30**

삭제

**청구항 31**

삭제

**청구항 32**

삭제

**청구항 33**

삭제

**청구항 34**

삭제

**청구항 35**

삭제

**청구항 36**

삭제

**청구항 37**

삭제

**청구항 38**

삭제

**청구항 39**

삭제

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 기술된 실시예들은 일반적으로 휴대용 컴퓨팅 환경에서 무선 전력 전송을 이용하는 것에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 에너지 또는 전력이 다양한 공지된 방사(radiative) 또는 원거리장(far-field) 및 비방사(non-radiative) 또는 근거리장(near-field) 기법을 사용하여 무선으로 전송될 수 있다. 예를 들어, 무선 및 셀룰러 통신 시스템 및 홈 컴퓨터 네트워크에서 사용되는 것과 같은 저지향성(low-directionality) 안테나를 사용하는 방사 무선 정보 전송은 무선 에너지 전송인 것으로 간주될 수 있다. 그렇지만, 이 유형의 방사 전송은 아주 비효율적인데, 그 이유는 공급된 또는 방사된 전력의 작은 부분, 즉 수신기의 방향에 있는 그리고 수신기와 중복(overlap)하는 그 부분만이 포착되기 때문이다. 전력의 대부분은 모든 다른 방향으로 방사되어 나가 자유 공간에서 없어진다. 이러한 비효율적인 전력 전송이 데이터 전송에 대해서는 타당할 수 있지만, 전기 장치에 전원을 공급하거나 그를 충전하는 것과 같은 작업을 하기 위해 유용한 양의 전기 에너지를 전송하는 데는 실용적이지 않다.

[0003] 일부 방사 에너지 전송 방식의 전송 효율을 향상시키는 한가지 방법은 방사된 에너지를 한정하여 수신기 쪽으로 우선적으로 지향시키기 위해 지향성 안테나를 사용하는 것이다. 그렇지만, 이들 지향된 방사 방식은, 모바일 송신기 및/또는 수신기의 경우에, 방해받지 않는 LOS(line-of-sight) 및 어찌면 복잡한 추적 및 조정 메커니즘을 필요로 할 수 있다. 그에 부가하여, 이러한 방식들은, 보통 내지 많은 양의 전력이 전송되고 있을 때, 빔

을 가로질러 가거나 빔과 교차하는 물체 또는 사람들에 위협을 줄 수 있다. 공지된 비방사 또는 근거리장 무선 에너지 전송 방식[종종 유도(induction) 방식 또는 종래의 유도(traditional induction) 방식이라고 함]은 (의도적으로) 전력을 방사하지 않고, 근방의 수신 또는 2차 코일에 전류를 유도하는 진동 근방 자기장을 발생하기 위해 1차 코일을 통과하는 진동 전류를 사용한다. 종래의 유도 방식은 보통 내지 많은 양의 전력의 전송을 보여주었지만, 단지 아주 짧은 거리에 걸쳐 이루어지고, 1차 전원 유닛과 2차 수신기 유닛 사이에 아주 작은 오프셋 공차가 있다. 전기 변압기 및 근접 충전기(proximity charger)는 이러한 공지된 단거리 근거리장 에너지 전송 방식을 이용하는 장치의 예이다.

[0004] 사용가능 전력이 전원으로부터 근거리장이라고 하는 거리 내에 위치해 있는 수신기로 무선으로 전송될 수 있는 것이 공지되어 있다. 근거리장이라는 것은, 전송에 관여되어 있는 양 물체의 거리보다 몇배 더 큰 거리(대부분의 응용에 대해 약 1 미터 정도) 내에서, 비교적 많은 양의 전력(적어도 수 와트 정도)이 무선 소스 장치와 수신기 사이에서 타당한 효율로 전송될 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 방식으로, 제한된 응용에 적당한 거리에 걸쳐 사용가능 양의 전력을 무선 전송하는 현실적이고 실용적인 방식이 실현될 수 있다. 통상적으로, 무선 전자 장치 등의 각각의 배터리 전원 장치는 그 자신의 충전기 및 전원[보통 교류(AC) 전원 콘센트임]을 필요로 한다. 이러한 유선 구성은 많은 장치가 충전을 필요로 할 때 불편하게 된다.

[0005] 무선으로 전원을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경에서 주변 장치들 간의 효율적이고 사용하기 쉬운 상호작용을 위한 방법, 시스템, 및 장치가 요망된다.

[0006] 이하는 2007년 4월 27일자에 온라인에서 이용가능한, Aristeidis Karalis 등의 Annals of Physics 323 (2008) 34-48 "Efficient Wireless non-radiative mid-range energy transfer"에서 온 것이다.

[0007] 1. 서론

[0008] 전자학의 초창기에, 전력망(electrical-grid wire)이 활용되기 전에는, 어떠한 전송 매체(carrier medium)도 사용하지 (예컨대, 무선으로) 장거리에 걸쳐 에너지를 전송하는 방식의 개발에 진지한 관심과 노력이 (가장 주목할 만한 것은 Nikola Tesla [1]에 의해) 집중되었다. 이러한 노력은 거의 성과를 내지 못한 것 같다. (정보 전송에 아주 잘 기능하는) 무지향 안테나(omni-directional antenna)의 방사 모드는, 대부분의 에너지가 자유 공간에서 허비되기 때문에, 이러한 에너지 전송에는 적당하지 않다. 레이저 또는 고 지향성 안테나(highly-directional antenna)를 사용하는, 유향 방사 모드(directed radiation mode)는 장거리에 대해서도 (전송 거리  $L_{TRANS} \gg L_{DEV}$ , 여기서  $L_{DEV}$ 는 장치의 특성 크기(characteristic size)임), 에너지 전송에 효율적으로 사용될 수 있지만, 이동 객체(mobile object)의 경우에는, 방해되지 않는 LOS(line-of-sight) 및 복잡한 추적 시스템의 존재를 필요로 한다. 최근의 자율적 전자 기기(예컨대, 모두가 통상적으로 화학 에너지 저장에 의존하는 랩톱, 셀폰, 가정용 로봇)의 급속한 개발은 이러한 문제점을 다시 연구하는 것을 정당화한다. 오늘날, 우리는 Tesla와 다른 도전에 직면해 있다: 기존의 전력망이 에너지를 거의 모든 곳에 전달하기 때문에, 중거리( $L_{TRANS} \approx L_{DEV}$ 의 몇배;  $L_{TRANS} \approx \text{few} * L_{DEV}$ ) 무선 에너지 전송이 많은 응용에 아주 유용할 것이다. 비방사 모드(자기 유도)에 의존하는 현재 사용되는 몇몇 방식이 있지만, 이들은 아주 가까운 범위( $L_{TRANS} \ll L_{DEV}$ ) 또는 아주 저전력 (~mW) 에너지 전송으로 제한된다[2-6].

[0009] 상기한 방식들 모두와 달리, 효율적인 무선 비방사 중간 범위 에너지 전송을 위해, 극소화된 느린 소산장(evanescent field) 패턴을 갖는 수명이 긴 발진 공진 전자기 모드를 사용하는 것의 실현가능성을 연구하고 있다. 이 제안된 방법은 공진 결합(다른 비공진 환경 객체와 약하게 상호작용하면서 2개의 동일 주파수 공진 객체가 결합하는 경향이 있다는 사실), 특히 공진 소산 결합(결합 메커니즘이 2개의 객체의 비방사 근거리장의 중첩을 통해 조정되는 경우)이라는 공지된 원리에 기초하고 있다. 이 공지된 물리학은 사소하게는 극근거리장에서 (예컨대, 광 도파관 또는 캐비티 결합기에서 그리고 공진 유도 전기 변압기에서) 객체들 사이에 에너지가 효율적으로 결합될 수 있다는 결과를 가져온다. 그렇지만, 이 동일한 물리학이 중간 범위 거리에서 어떻게 기능하는지가 명백하지 않고, 우리가 아는 한, 전송에 관여된 양 객체의 최대 치수보다 몇배 더 큰 거리에 대한 효율적인 에너지 전송을 설명하는 연구가 문헌에 없다. 본 논문에서, 상세한 이론적 및 수치적 분석은, 교환 시스템이 모든 고유 손실율에 비해 "강한 결합"의 영역에서 동작하도록 주의 깊게 설계되지만 한다면, 다른 비공진 객체로의 에너지의 단지 약간의 전송 및 소실을 겪으면서, 이러한 효율적인 중간 범위 무선 에너지 교환이 실제로 달성될 수 있다는 것을 보여준다. "강한 결합"의 물리학도 역시 아주 다른 분야(광-물질 상호작용의 분야[7] 등)에서 공지되어 있다. 이 바람직한 동작 영역에서, 다음과 같은 문제들을 정량적으로 다루고 있다: 어느 거리까지 이러한 방식이 효율적일 수 있는지 및 외부 섭동에 얼마나 민감한지? 근거리장의 무지향성이지만

정지된(무손실) 성질은 이 메커니즘을 이동 무선 수신기에 적합하게 만들어준다. 따라서, 예를 들어, 장치들(로봇, 차량, 컴퓨터 기타)가 공장 실내 내에서 자유롭게 이동하면서(유선 전기 네트워크에 연결되어 있는) 소스를 공장 실내의 천장에 배치하는 것을 비롯한 각종의 가능한 응용이 있을 수 있다. 다른 가능한 응용으로는 전기 엔진 버스, RFID, 및 아마도 심지어 나노 로봇이 있다.

[0010] 2. 결합 범위 및 레이트

[0011] 제안된 무선 에너지 전송 방식의 범위 및 레이트는, 연구에 사용하기 위한 시스템으로부터의 에너지 소모(drainage)를 고려함이 없는, 조사의 첫번째 주제이다. 이 공진 에너지 교환을 모델링하는 적절한 분석 프레임워크는 공진된 결합 모드 이론(CMT)[8]이다. 이와 관련하여, 2개의 공진 객체 1 및 2의 시스템의 필드는  $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t) \approx a_1(t)\mathbf{F}_1(\mathbf{r}) + a_2(t)\mathbf{F}_2(\mathbf{r})$ 에 의해 근사화되고, 여기서  $\mathbf{F}_{1,2}(\mathbf{r})$ 은 1 및 2만의 고유 모드이고, 이어서 필드 진폭  $a_1(t)$  및  $a_2(t)$ 는 최하위 차수까지 식 (1)을 만족하도록 나타내어질 수 있다[8].

[0012] 
$$\begin{aligned} \frac{da_1}{dt} &= -i(\omega_1 - i\Gamma_1)a_1 + i\kappa a_2 \\ \frac{da_2}{dt} &= -i(\omega_2 - i\Gamma_2)a_2 + i\kappa a_1 \end{aligned} \quad (1)$$

[0013] 여기서  $\omega_{1,2}$ 는 개별 고유진동수(eigenfrequency)이고,  $\Gamma_{1,2}$ 는 객체의 고유(흡수, 방사 등) 손실로 인한 공진 폭이며,  $\kappa$ 는 결합 계수이다. 식 (1)은, 정확한 공진( $\omega_1 = \omega_2$  이고  $\Gamma_1 = \Gamma_2$ 임), 결합된 시스템의 정규 모드가  $2\kappa$ 에 의해 분할되고; 2개의 객체 사이의 에너지 교환이 시간  $\sim \pi/2\kappa$  내에 일어나고, 결합률이 모든 손실률보다 훨씬 더 빠를 때( $\kappa \gg \Gamma_{1,2}$ ) 최소인 손실은 별도로 하고, 거의 완벽하다는 것을 보여준다. 무선 에너지 전송을 위해 고려 중인 임의의 시스템에 대해 성능 지표로서 설정할 것은 바로 이 비  $\kappa/\sqrt{\Gamma_1\Gamma_2}$  및 이 비가 달성될 수 있는 거리이다. 원하는 최적의 영역  $\kappa/\sqrt{\Gamma_1\Gamma_2} \gg 1$ 은 "강한 결합" 영역이라고 한다.

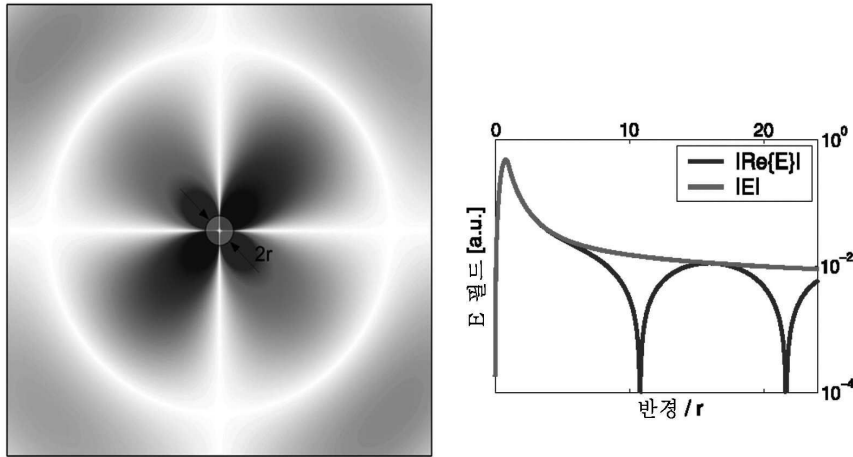
[0014] 결과적으로, 우리의 에너지 전송 응용은 낮은(느린) 고유 손실률  $\Gamma$ 에 대해 고(high)  $Q = \omega/2\Gamma$ 의 공진 모드를 필요로 하고, 이것이 손실 방사 원거리장이 아니라 소산(무손실) 정지 근거리장을 사용하여 결합이 구현되는 방식을 제안하는 이유이다. 게다가, 객체의 특성 크기보다 큰 거리에 걸쳐 강한(고속) 결합률  $\kappa$ 이 필요하고, 따라서 유한 크기의 공진 객체를 둘러싸고 있는 공기 내로의 근거리장의 범위가 통상적으로 파장에 의해 설정되기(그리고 엄격히 말하면 "방사면(radiation caustic)"에 의해 정량화됨) 때문에, 이 중간 범위 비방사 결합은 서브파장 크기의 공진 객체, 따라서 상당히 더 긴 소산장 테일을 사용해서만 달성될 수 있다. 이것은 근방의 장치와의 간섭을 최소화하기 위해 짧은 테일을 보통 선호하기 때문에, 광범위하게 연구되지 않은 동작 범위이다. 나중에 예들에서 볼 것인 바와 같이, 이러한 서브파장 공진은 종종 고평사-Q를 수반할 수 있고, 따라서 이것은 통상적으로 어찌면 이동 공진 장치-객체 d에 대해 적절한 선택일 것이다. 그렇지만, 유의할 점은, 공진 소스 객체 s가 실제로는 종종 움직이지 않으며, 그의 허용된 기하형태 및 크기에 덜 엄격한 제한을 갖고, 따라서(예를 들어, 그 안에서의 느린 지수적 감쇠를 위해 공기 중에서 "광선"에 가깝게 동조된 도파 모드를 갖는 도파관을 사용하여) 근거리장 범위가 파장에 의해 제한되지 않도록 충분히 크게 선택될 수 있다.

[0015] 제안된 방식은 아주 일반적이고 상기 요건을 만족시키는 임의의 유형의 공진 구조물(예컨대, 전자기, 음향, 핵)이 그의 구현을 위해 사용될 수 있다. 예로서 그리고 명확함을 위해, 2개의 공진된 아주 상이한 전자기 공진 시스템- 유전체 디스크 및 용량성 부하의 전도성 와이어 루프 - 을 사용하여 연구하기로 한다. 심지어 최적화 없이 그리고 그의 단순성에도 불구하고, 둘 다는 적절히 양호한 성능을 나타냄을 보여준다.

[0016] 2.1 유전체 디스크

[0017] 고-Q "위스퍼링-갤러리" 공진 모드(그림 1)를 지원하는 공기로 둘러싸여 있는 반경 r 및 비유전율  $\epsilon$ 의 2D 유전체 디스크 객체를 생각해보자. 이러한 공진 시스템 내부에 저장된 에너지에 대한 손실 메커니즘은 자유 공간으로의 방사 및 디스크 물질 내부에서의 흡수이다. 유전체 유전율  $\epsilon$ 이 크고 방위각 필드 변동이 느릴(즉, 주요 수(principal number) m이 작음) 때에만, 고- $Q^{\text{rad}}$  및 긴 테일의 서브파장 공진이 달성될 수 있다. 물질 흡수는 물질 손실 탄젠트에 관계되어 있다:  $Q^{\text{abs}} \sim \text{Re}\{\epsilon\}/\text{Im}\{\epsilon\}$ . 이 유형의 디스크 공진에 대한 모드 풀기

계산이 2개의 독립적 방법을 사용하여 수행되었다: 수치적으로, (정확히 말하여 공간 이산화에 대해서는 별도로 하고 주파수 영역에서 맥스웰의 방정식을 푸는) 2D FDFD(finite-difference frequency-domain) 시뮬레이션이 30 pts/r의 분해능으로 수행되었고; 분석적으로, 극좌표에서의 표준 변수 분리(SV)가 사용되었다.



| 단일 디스크                      | $\lambda/r$   | $Q^{abs}$     | $Q^{rad}$   | $Q$         |
|-----------------------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| $Re\{\epsilon\}=147.7, m=2$ | 20.01 (20.00) | 10103 (10075) | 1988 (1992) | 1661 (1663) |
| $Re\{\epsilon\}=65.6, m=3$  | 9.952 (9.950) | 10098 (10087) | 9078 (9168) | 4780 (4802) |

$\lambda/r \geq 10$ 의 2개의 TE-편광된 유전체 디스크 서브파장 모드에 대한 결과가 그림 1에 제시되어 있다. 2개의 방법은 우수한 일치율을 가지며, 적절히 설계된 공진 저손실 유전체 객체에 대해,  $Q^{rad} \geq 2000$  및  $Q^{abs} \sim 10,000$ 의 값이 달성가능해야만 한다는 것을 암시한다.

유의할 점은, 도 1에 도시된  $\epsilon$ 의 요구된 값이 언뜻보기에 비현실적으로 큰 것처럼 보일 수 있다는 것이다. 그렇지만, (미터 범위 결합 응용에 적절한) 마이크로파 영역에서, 타당할 정도로 충분히 높은 유전 상수 및 낮은 손실 둘 다를 가지는 많은 물질(예컨대, 티타니아:  $\epsilon \approx 96, Im\{\epsilon\}/\epsilon \approx 10^{-3}$ ; 바륨 테트라티타네이트:  $\epsilon \approx 37, Im\{\epsilon\}/\epsilon \approx 10^{-4}$ ; 리튬 탄탈라이트:  $\epsilon \approx 40, Im\{\epsilon\}/\epsilon \approx 10^{-4}$ ; 등등)이 있을 뿐만 아니라[9, 10],  $\epsilon$ 가 그 대신에 금속같은( $\epsilon$ 가 음수임) 물질[11] 또는 금속-유전체 광자 결정[12]의 표면에서의 표면-플라스몬 모드 등의 다른 공진된 서브파장( $\lambda/r \gg 1$ ) 표면과 시스템의 유효 굴절률을 의미할 수 있다.

이제 2개의 디스크 1과 2 사이의 달성가능한 에너지 전송률을 계산하기 위해, 이들을 그들 중심 간의 거리 D에 위치시킨다(그림 2). 수치적으로, FDFD 모드 솔버 시뮬레이션은 초기 단일 디스크 모드의 짝수 및 홀수 중첩인, 결합된 시스템의 정규 모드의 주파수 분할( $=2\kappa$ )을 통해  $\kappa$ 를 제공하고; 분석적으로, 변수 분리 고유필드  $E_{1,2}(\mathbf{r})$  CMT에 대한 표현을 사용하여,

$$\kappa = \omega_1/2 \cdot \int d^3\mathbf{r} \epsilon_2(\mathbf{r}) \mathbf{E}_2^*(\mathbf{r}) \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) / \int d^3\mathbf{r} \epsilon(\mathbf{r}) |\mathbf{E}_1(\mathbf{r})|^2$$

을 통해  $\kappa$ 를

제공하고, 여기서  $\epsilon_j(\mathbf{r})$  및  $\epsilon(\mathbf{r})$  는 디스크 j(상수  $\epsilon_0$ 의 배경은 제외함)만 및 전체 공간을 각각 기술하는

유전체 함수이다. 이어서,  $D < 2r_c$ 이도록(여기서  $r_c = m\lambda/2\pi$ 는 방사면의 반경임) 중간 거리  $D/r = 10-3$ 에

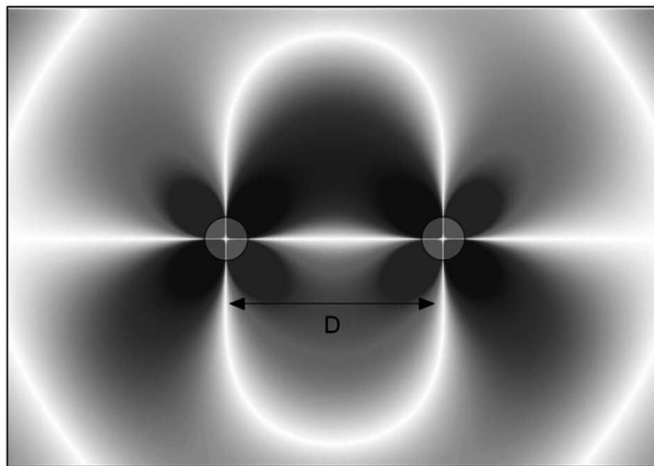
대해 그리고 비방사 결합에 대해, 2개의 방법이 아주 잘 일치하고, 최종적으로 범위  $\kappa/\Gamma \sim 1-50$ 에서의 결합 대 손실 비를 알았다(그림 2). 달성된 성능 지수 값이 이상적인 "강한 결합" 동작 범위  $\kappa/\Gamma \gg 1$ 에 속하지는 않지만, 나중에 알게 될 것인 바와 같이, 여전히 응용에 유용하도록 충분히 크다.

## 2.2 용량성 부하의 전도성 와이어 루프

비유전율  $\epsilon$ 의 유전체를 통해 거리 d만큼 떨어져 있고 모든 것이 공기로 둘러싸여 있는 면적 A의 한쌍의 전도성 평행 플레이트에 연결되어 있는 반경 a의 원형 단면을 갖는 전도성 와이어의 반경 r의 루프를 생각해보자(그림



3). 와이어는 인덕턴스  $L$ 을 가지며, 플레이트는 커패시턴스  $C$ 를 갖고, 그러면 시스템은 공진 모드를 가지며, 여기서 공진의 성질은 그 양단의 전압으로 인한 커패시터 내부의 유전체 필드와 와이어에서의 전류로 인한 자유 공간에서의 자기장 간의 에너지의 주기적인 교환에 있다. 이 공진 시스템에서의 손실은 와이어 내부에서의 오염 손실  $R_{abs}$  및 자유 공간으로의 방사 손실  $R_{rad}$ 로 이루어져 있다. 이 유형의 RLC 회로 공진에 대한 모드 풀이 계산이 또 다시 2개의 독립적인 방법을 사용하여 수행되었다: 수치적으로, 3D FEED(finite-element frequency-domain) 시뮬레이션(이는 정확히 공간 이산화에 대해서는 별도로 하고 주파수 영역에서 맥스웰의 방정식을 풀)이 수행되었고[13], 여기서 도체의 경계는,  $\eta_c/\eta_o \ll 1$  [14](마이크로파에서 구리에 대해  $<10^{-5}$ )인 한 유효한, 복소 임피던스  $\eta_c = \sqrt{\mu_c \omega / 2\sigma}$  경계 조건을 사용하여 모델링되었으며, 여기서  $\mu_o$ ,  $\epsilon_o$ , 및  $\eta_o = \sqrt{\mu_o/\epsilon_o}$  은 자유 공간의 자기 투자율, 전기 유전율 및 임피던스이고,  $\sigma$ 는 도체의 도전율이며; 분석적으로, 식  $L = \mu_o r [\ln(8r/a) - 2]$  [15] 및  $C = \epsilon_o \epsilon A/d$  그리고, 원하는 서브파장 루프( $r \ll \lambda$ ) 한계에서, 준정적 식  $R_{abs} \approx \eta_c r/a$  (표피 깊이 효과를 고려함) 및  $R_{rad} \approx \pi/6 \eta_o (r/\lambda)^4$  [15]이 공진 주파수  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  및 그의 품질 인자  $Q^{abs} = \omega L/R_{abs}$  및  $Q^{rad} = \omega L/R_{rad}$ 을 결정하기 위해 사용되었다. 커패시턴스, 따라서 공진 주파수를 조정함으로써, 루프 파라미터에 의해 결정되는 어떤 최적의 주파수에 대해 전체  $Q$ 가 최고로 되고; 낮은 주파수에서 이는 오염 손실에 의해 좌우되고, 높은 주파수에서 방사에 의해 좌우된다. 이 최적의 주파수에서  $\lambda/r \geq 70$ (즉 근거리장 결합에 아주 적합하고 실제로 준정적 한계 내에 있음)의 2개의 서브파장 모드에 대한 결과는 그림 3에 제시되어 있다. 2개의 방법은 또 다시 아주 양호하게 일치하고, 마이크로파에서의 예상된 품질 인자가  $Q^{abs} \geq 1000$  및  $Q^{rad} \geq 10,000$ 임을 보여준다.



| 2개의 디스크  | $D/r$ | $Q^{rad}$ | $Q = \omega/2\Gamma$ | $\omega/2\kappa$ | $\kappa/\Gamma$ |
|--|-------|-----------|----------------------|------------------|-----------------|
| <b>Re{ε}=147.7, m=2</b><br>$\lambda/r \approx 20$<br>$Q^{abs} \approx 10093$ | 3     | 2478      | 1989                 | 46.9 (47.5)      | 42.4 (35.0)     |
|  | 5     | 2411      | 1946                 | 298.0 (298.0)    | 6.5 (5.6)       |
|  | 7     | 2196      | 1804                 | 769.7 (770.2)    | 2.3 (2.2)       |
|  | 10    | 2017      | 1681                 | 1714 (1601)      | 0.98 (1.04)     |
| <b>Re{ε}=65.6, m=3</b><br>$\lambda/r \approx 10$<br>$Q^{abs} \approx 10096$  | 3     | 7972      | 4455                 | 144 (140)        | 30.9 (34.3)     |
|  | 5     | 9240      | 4824                 | 2242 (2083)      | 2.2 (2.3)       |
|  | 7     | 9187      | 4810                 | 7485 (7417)      | 0.64 (0.65)     |

[0024]

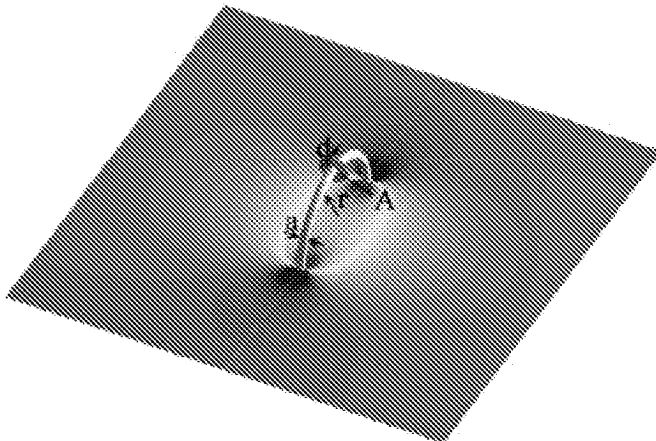
[0025]

[그림 2. 플롯, 중첩되어 있는(적색/백색/청색), 그림 1의 단일 디스크 모드의 짝수 중첩인 정규 모드의 전기장과 함께, 이들 사이의 중간 거리  $D$  결합에 대한 반경  $r$ 의 2개의 동일한 2D 고- $\epsilon$  디스크(황색)의 시스템. 유의할 점은, 그림 1의 단일 디스크 모드의 홀수 중첩인 정규 모드(도시 생략)가 있다는 것이다. 테이블. 2개의 정

구 모드(개별적인 값은 나타내지 않음)의 파장 및 손실률의 평균에 대한 수치적 FDFD(그리고 괄호 안은 분석적 CMT) 결과, 및 그림 1에 제시된 2가지 경우의 디스크 모드에 대한, 결합 거리 D의 함수로서 결합률 및 "강한/약한 결합" 성능 지수. 비방사 결합에 대한 거리(D<2r<sub>c</sub>)만이 고려됨. 유의할 점은, 도시된 평균  $\Gamma^{rad}$ (따라서 전체  $\Gamma$ )가, 2개의 정규 모드에 대해 존재하는 원거리장 간섭으로 인해, 그림 1의 단일 디스크 값과 약간 다르고, 이에 대해 CMT는 예측을 할 수 없고, 이것이  $\Gamma^{rad}$ 의 분석적 결과가 보여지지 않고 단일 디스크 값이 사용되는 이유이다. (플롯의 특성의 파라미터가 하이라이트되어 있고 테이블에서는 굵은체로 되어 있음). (이 그림 범례에서 색상에 대한 참조의 해석을 위해, 독자는 이 논문의 웹 버전을 참조할 것)]

[0026]

그의 중심 사이의 거리 D인 2개의 루프 1 및 2 사이의 에너지 전송률에 대해(그림 4): 수치적으로, FEFD 모드 솔버 시뮬레이션은 또 다시 결합된 시스템의 정규 모드의 주파수 분할(=2κ)을 통해 κ를 제공하고; 분석적으로, κ는  $\kappa = \omega M / 2\sqrt{L_1 L_2}$ 에 의해 주어지고, 여기서 M은 준정적 한계  $r \ll D \ll \lambda$ 에서 그리고 그림 4에 나타낸 상대 배향에 대해,  $M \approx \pi 2\mu_o(r_1 r_2)^2 / D^3$  [14](이는  $\omega / 2\kappa \sim (D / \sqrt{r_1 r_2})^3$  임을 의미함)인 2개의 루프의 상호 인덕턴스이다. 이어서, 중간 거리  $D/r = 10-3$ 에 대해, 2개의 방법이 잘 일치하고, 마지막으로 단일 루프 Q<sub>1,2</sub>가 피크인 주파수들 사이의 주파수에서 피크인 결합-손실 비가  $\kappa / \Gamma \sim 0.5-50$  범위에 있다는 것을 알았다(그림 4).



[0027]

| 단일 루프  | $\lambda/r$          | $Q^{rad}$            | $Q^{abs}$          | $Q = \omega/2\Gamma$ |
|--|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <b>r=30cm, a=2cm<br/>ε=10, A=138cm<sup>2</sup>, d=4mm</b>  | <b>111.4 (112.4)</b> | <b>29546 (30512)</b> | <b>4886 (5117)</b> | <b>4193 (4381)</b>   |
| <b>r=10cm, a=2mm<br/>ε=10, A=3.14cm<sup>2</sup>, d=1mm</b> | <b>69.7 (70.4)</b>   | <b>10702 (10727)</b> | <b>1545 (1604)</b> | <b>1350 (1395)</b>   |

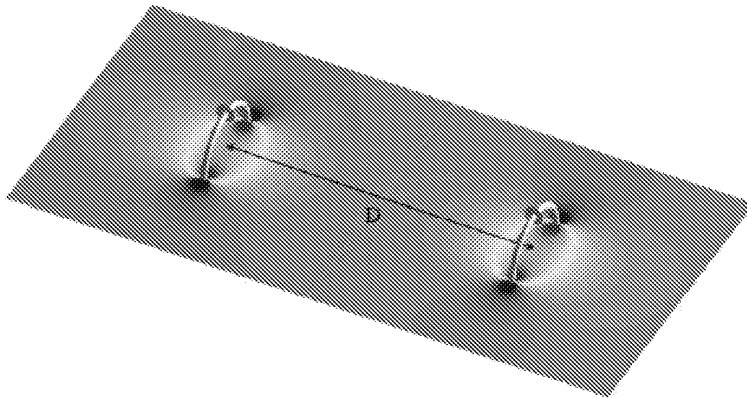
[0028]

[0029]

[그림 3. 플롯. 중첩된 그의 공진 모드(플러스/0/마이너스 필드의 영역에, 각각, 적색/백색/청색으로 도시됨)의 자기장(원형 루프의 축에 평행한 성분)의 슬라이스와 함께, 공기에 의해 둘러싸여 있는 한 쌍의 d-간격의 평행 플레이트에 연결되어 있는 반경 r의 와이어 루프(황색으로 도시됨). 테이블. 서브파장 루프 공진 모드의 2가지 상이한 경우에 대한 파장 및 흡수, 방사 및 전체 손실률에 대한 수치적 FEFD (괄호안은 분석적) 결과. 유의할 점은, 전도성 물질에 대해, 구리( $\sigma=5.998 \times 10^7$  S/m)가 사용되었다는 것이다. (플롯의 특성의 파라미터는 하이라이트되어 있고 테이블에 굵은 체로 되어 있음) (이 그림 범례에서의 색상에 대한 참조의 해석에 대해, 독자는 이 논문의 웹 버전을 참조하기 바란다.)]

[0030]

에너지 전송을 위한 이러한 공진 결합 유도 방식과 공지된 비방사 유도 방식 간의 차이점을 아는 것이 중요하다. CMT를 사용하여, 기하형태 및 에너지를 고정된 소스에 저장된 채로 유지하면서, 공진 유도 메커니즘이 종래의 비방사 메커니즘보다 장치에서의 연구에 대해  $\sim Q^2 (\sim 10^6)$ 배 더 많은 전력이 전달될 수 있게 해준다는 것을 보여주는 일은 쉽다. 이것이 후자[2,3]에서 근거리 비접촉 중간 전력( $\sim W$ ) 전송이 가능한 반면, 공진에 의해 근거리이지만 많은 전력( $\sim kW$ ) 전송이 가능하게 되거나[4,5] 또는 현재 제안된 바와 같이, 강하게 결합된 영역에서의 동작도 보장하는 경우, 중간 거리 및 중간 전력 전송이 가능한 이유이다. 용량성 부하의 전도성 루프가 실제로 공진 안테나로서도(예를 들어, 셀폰에서) 널리 사용되고 있지만, 이들은  $D/r \gg 1, r/\lambda \sim 1$ 인 원거리장 영역에서 동작하고, 방사 Q는 안테나가 효율적이도록 의도적으로 작게 설계되어 있으며, 따라서 이들은 에너지 전송에는 적절하지 않다.



[0031]

| 2개의 루프  | $D/r$ | $Q^{rad}$ | $Q = \omega/2\Gamma$ | $\omega/2\kappa$ | $\kappa/\Gamma$ |
|---|-------|-----------|----------------------|------------------|-----------------|
| $r=30cm, a=2cm$<br>$\epsilon=10, A=138cm^2, d=4mm$<br>$\lambda/r \approx 112$<br>$Q^{abs} \approx 4886$ | 3     | 30729     | 4216                 | 62.6 (63.7)      | 67.4 (68.7)     |
|   | 5     | 29577     | 4194                 | 235 (248)        | 17.8 (17.6)     |
|   | 7     | 29128     | 4185                 | 589 (646)        | 7.1 (6.8)       |
|   | 10    | 28833     | 4177                 | 1539 (1828)      | 2.7 (2.4)       |
| $r=10cm, a=2mm$<br>$\epsilon=10, A=3.14cm^2, d=1mm$<br>$\lambda/r \approx 70$<br>$Q^{abs} \approx 1546$ | 3     | 10955     | 1355                 | 85.4 (91.3)      | 15.9 (15.3)     |
|   | 5     | 10740     | 1351                 | 313 (356)        | 4.32 (3.92)     |
|   | 7     | 10759     | 1351                 | 754 (925)        | 1.79 (1.51)     |
|   | 10    | 10756     | 1351                 | 1895 (2617)      | 0.71 (0.53)     |

[0032]

[0033]

[그림 4. 플롯. 중첩된 짝수 정규 모드(적색/백색/청색)의 자기장의 슬라이스와 함께, 이들 사이의 중간 거리 D 결합에 대한 평행 플레이트(황색)에 연결되어 있는 2개의 동일한 와이어 루프의 시스템. 유의할 점은 홀수 정규 모드(도시 생략)도 있다는 것이다. 테이블. 그림 3에 제시된 2가지 경우의 모드에 대해, 2개의 정규 모드의 평균 과장 및 손실률에 대한 수치적 FEFD (괄호안은 분석적) 결과(개별 값들은 나타내지 않음), 및 결합 거리 D의 함수로서 결합률 및 "강한/약한 결합" 성능 지수. 유의할 점은, 도시된 평균  $\Gamma^{rad}$ 가 또 다시, 분석적 모드에 예측할 수 없는 2개의 정규 모드에 대해 존재하는 원거리장 간섭 효과로 인해, 그림 3의 단일 루프 값과 약간 상이하고, 따라서  $\Gamma^{rad}$ 에 대한 분석적 결과가 보이지 않고 단일 루프 값이 사용된다는 것이다. (플롯의 특성의 파라미터는 하이라이트되어 있고 테이블에 굵은 채로 되어 있음) (이 그림 범례에서의 색상에 대한 참조의 해석에 대해, 독자는 이 논문의 웹 버전을 참조하기 바란다.)]

[0034]

3. 외부 객체의 영향

[0035]

명백하게도, 제안된 공진-기반 무선 에너지 전송 방식의 성공은 객체의 공진의 강건성에 크게 의존한다. 따라서, 랜덤한 비공진 외부 객체의 근방 존재에 대한 그의 감도는 분석을 필요로 하는 제안된 방식의 다른 측면이다. 적절한 분석적 모델은 이제, 외부 객체 e의 존재 하에서, 공진 객체 1 내에서의 필드 진폭  $a_1(t)$ 가 1차

까지 식 (2)를 만족시킨다는 것을 제안하는 섭동 이론(PT)[8]의 모델이고:

$$\frac{da_1}{dt} = -i(\omega_1 - i\Gamma_1)a_1 + i(\kappa_{11-e} + i\Gamma_{1-e})a_1 \quad (2)$$

여기서 또 다시  $\omega_1$ 은 주파수이고,  $\Gamma_1$ 은 고유 (흡수, 방사 등) 손실률인 반면,  $\kappa_{11-e}$ 는 e의 존재로 인해 1 상에 유도되는 주파수 천이이고,  $\Gamma_{1-e}$ 는 e(e 내부에서의 흡수, e로부터의 산란 등)로 인한 외적 손실률이다. 주파수 천이는 (예컨대, 기하 형태의 작은 변경을 통해) 그의 주파수를 정정하고 이를 소스의 주파수에 일치시키는 피드백 메커니즘을 모든 장치에 적용함으로써 오히려 쉽게 "해결"될 수 있는 문제이다. 그렇지만, 외적 손실은, 교정될 수 없기 때문에, 에너지 전송 방식의 기능에 유해할 수 있으며, 따라서 전체 손실률  $\Gamma_{1[e]} = \Gamma_1 + \Gamma_{1-e}$  이고 대응하는 성능 지수  $\kappa_{[e]}/\sqrt{\Gamma_{1[e]}\Gamma_{2[e]}}$ 이며, 여기서 섭동된 결합률인  $K_{[e]}$ 가 정량화되어야만 한다.

### 3.1. 유전체 디스크

고려한 공진 객체의 제1 예(즉, 유전체 디스크)에서, 작은 저굴절률, 저물질 손실 또는 멀리 벗어난 객체는 작은 산란 및 흡수를 유발할 것이다. 작은 섭동의 경우에, 이들 외적 손실 메커니즘은 분석적 1차 PT 식

$$\Gamma_{1-e}^{\text{rad}} \propto \omega_1 \cdot \int d^3\mathbf{r} |\text{Re}\{\varepsilon_e(\mathbf{r})\}|^2 |\mathbf{E}_1(\mathbf{r})|^2 / U \quad \text{및}$$

$$\Gamma_{1-e}^{\text{abs}} = \omega_1 / 4 \cdot \int d^3\mathbf{r} \text{Im}\{\varepsilon_e(\mathbf{r})\} |\mathbf{E}_1(\mathbf{r})|^2 / U$$

을 각각 사용하여 정량화될 수 있고, 여기서  $U = 1/2 \cdot \int d^3\mathbf{r} \varepsilon(\mathbf{r}) |\mathbf{E}_1(\mathbf{r})|^2$  은 비섭동 모드의 전체 공진 전자기 에너지이다. 알 수 있는 바와 같이, 이들 손실 둘 다는 외부 객체의 자리에서 공진 전기장 테일  $\mathbf{E}_1$ 의 제곱에 의존한다. 이와 달리, 객체 1로부터 다른 공진 객체 2로의 결합률은, 앞서 언급한 바와 같이,

$$\kappa = \omega_1 / 4 \cdot \int d^3\mathbf{r} \varepsilon_2(\mathbf{r}) \mathbf{E}_2^*(\mathbf{r}) \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) / U$$

이고 2 내부에서의 1의 전기장 테일  $\mathbf{E}_1$ 에 선형적으로 의존한다. 이 스케일링의 차이는, 지수적으로 작은 전기장 테일에 대해, 다른 공진 객체에 대한 결합이, 적어도 작은 섭동에 대해, 모든 외적 손실률 ( $\kappa \gg \Gamma_{1-e}$ )보다 더 빨라야만 한다는 확신을 주고, 따라서 에너지 전송 방식이 이 부류의 공진 유전체 디스크에 대해 안정적인 것으로 예상된다.

그렇지만, 외부 객체가 너무 강해 상기 1차 PT 방식을 사용하여 분석할 수 없는 섭동을 야기하는 어떤 가능한 상황을 검사하고자 한다. 예를 들어, 유전체 디스크 c를 큰  $\text{Re}\{\varepsilon\}$ ,  $\text{Im}\{\varepsilon\}$ 의 그리고, 그림 5a에 나타난 바와 같이, 동일한 크기이지만 다른 형상(사람 h 등)의 다른 비공진 객체, 및 그림 5b에 나타난 바와 같이, 큰 범위이지만 작은  $\text{Re}\{\varepsilon\}$ ,  $\text{Im}\{\varepsilon\}$ 의 거친 표면(벽 w 등)에 가깝게 둔다. 디스크 중앙과 "사람"-중앙/"벽" 사이의 거리

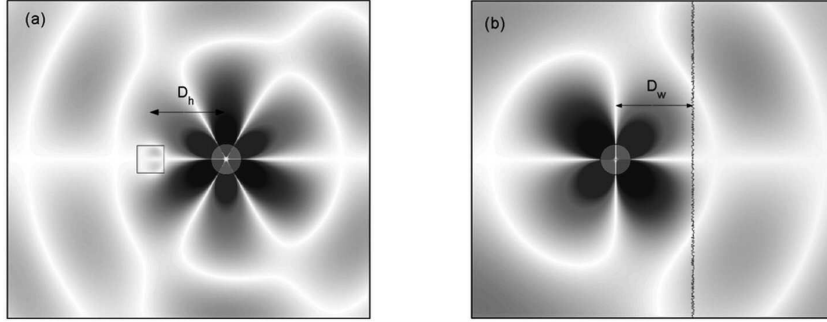
$D_{h/w}/r = 10^{-3}$ 에 대해, 그림 5에 제시된 수치적 FDFD 시뮬레이션 결과는

$$Q_{c[h]}^{\text{rad}}, Q_{c[w]}^{\text{rad}} \geq 1000 \quad (\text{초기의 } Q_c^{\text{rad}} \geq 2000 \text{ 대신에}), Q_c^{\text{abs}} \sim 10,000 \quad (\text{자연적으로}$$

변하지 않음),  $Q_{c-h}^{\text{abs}} \sim 10^5 - 10^2$ , 및  $Q_{c-w}^{\text{abs}} \sim 10^5 - 10^4$ , 즉 디스크 공진이 꽤 강한 것처럼 보인다는 것을 암시하는데, 그 이유는, 고손실 객체가 아주 근접한 것을 제외하고는, 외부 객체의 존재에 의해 유해하게 교란되지 않기 때문이다[16].

에너지 전송 시스템 전체에 대한 큰 섭동의 영향을 검사하기 위해, "사람" 및 "벽" 둘 다의 가까운 존재 하에서의 2개의 공진 디스크를 고려한다. 수치적 FDFD 시뮬레이션은 시스템 성능이  $\kappa/\Gamma_c \sim 1-50$  (그림 2)으로

부터  $\kappa_{[hw]}/\Gamma_{c[hw]} \sim 0.5-10$  (그림 6)으로, 단지 타당할 정도로 작은 양만큼 열화한다는 것을 보여준다.



| "사람"에 있는 디스크   | $D_h/r$ | $Q_c^{abs}$ | $Q_c^{rad}$ | $Q_c[h]$ | "벽"에 있는 디스크  | $D_w/r$ | $Q_c^{abs}$ | $Q_c^{rad}$ | $Q_c[w]$ |
|--|---------|-------------|-------------|----------|--|---------|-------------|-------------|----------|
| $Re\{\epsilon\}=147.7, m=2$<br>$\lambda/r \approx 20$<br>$Q_c^{abs} \approx 10096$ | 3       | 230         | 981         | 183      | $Re\{\epsilon\}=147.7, m=2$<br>$\lambda/r \approx 20$<br>$Q_c^{abs} \approx 10098$ | 3       | 16725       | 1235        | 1033     |
|  | 5       | 2917        | 1984        | 1057     |  | 5       | 31659       | 1922        | 1536     |
|  | 7       | 11573       | 2230        | 1578     |  | 7       | 49440       | 2389        | 1859     |
|  | 10      | 41496       | 2201        | 1732     |  | 10      | 82839       | 2140        | 1729     |
| $Re\{\epsilon\}=65.6, m=3$<br>$\lambda/r \approx 10$<br>$Q_c^{abs} \approx 10096$  | 3       | 1827        | 6197        | 1238     | $Re\{\epsilon\}=65.6, m=3$<br>$\lambda/r \approx 10$<br>$Q_c^{abs} \approx 10097$  | 3       | 53154       | 6228        | 3592     |
|  | 5       | 58431       | 11808       | 4978     |  | 5       | 127402      | 10988       | 5053     |
|  | 7       | 249748      | 9931        | 4908     |  | 7       | 159192      | 10168       | 4910     |
|  | 10      | 867552      | 9078        | 4754     |  | 10      | 191506      | 9510        | 4775     |

[0042]

[0043]

[그림 5. 플롯. 외부 객체(황색)으로부터 거리  $D_{h/w}$ 에 근접해 있는 디스크(황색): 중첩된 디스크의 섭동된 공진 모드(적색/백색/청색)의 전기장과 함께, (a) 높은  $\epsilon = 49 + 16i$  (크지만 GHz 영역에서 사람 근육에 대해 실제로 적절함[16]) 디스크와 동일한 크기(면적)의 정사각형 객체, 및 (b)  $\epsilon = 2.5 + 0.05i$ 의 큰 조면화된 표면(콘크리트, 유리, 플라스틱, 목재 등의 보통의 물질에 적절함 [16]). 테이블. 이전의 그림들에서 제시된 2가지 경우의 디스크 모드에 대해, 외부 객체 내부에서의 흡수를 및 전체(외부 객체로부터의 산란을 포함함) 방사 손실률을 포함한, 디스크의 섭동된 공진의 파라미터에 대한 수치적 FDFD 결과. 유의할 점은, 다시 디스크-물질 손실 탄젠트  $Im\{\epsilon\}/Re\{\epsilon\}=10^{-4}$ 가 사용되었고, 이 때 방사된 원거리장과 강하게 산란된 원거리장 사이의 간섭 효과(각각, 보강 또는 상쇄)로 인해,  $Q_{c[h/w]}^{rad}$ 가 다시 도 1의 단일 디스크  $Q_c^{rad}$ 와 상이하다(감소되거나 심지어 증가된다)는 것이다. (플롯의 특성의 파라미터는 하이라이트되어 있고 테이블에서 굵은체로 되어 있다.) (이 그림 범례에서 색상에 대한 참조의 해석을 위해, 독자는 이 논문의 웹 버전을 참조하기 바란다.)]

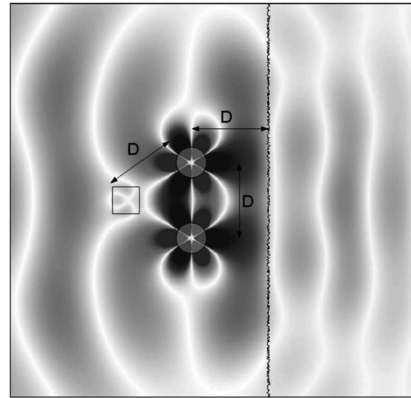
[0044]

### 3.2. 용량성 부하의 전도성 와이어 루프

[0045]

전도성 와이어 루프인 고려한 공진 객체의 제2 예에서, 공진에 대한 외부 객체의 영향이 거의 없다. 그 이유는, 고려하고 있는 준정적 동작 영역( $r \ll \lambda$ )에서, 루프를 둘러싸고 있는 공기 영역에서의 근거리장이 주로 자기적이고(전기장이 커패시터 내부에 국한되어 있기 때문임), 따라서, 이 근거리장과 상호작용할 수 있고 공진에 대한 섭동으로서 역할할 수 있는 외부 비금속 객체  $\epsilon$ 는 상당한 자기적 특성(자기 투자율  $Re\{\mu\} > 1$  또는 자기 손실  $Im\{\mu\} > 0$ )을 가지는 것이다. 거의 모든 일상의 물질은 비자성이기 때문에, 이들은 자기장에 자유 공간과 동일한 방식으로 반응하고, 따라서 전도성 와이어 루프의 공진을 교란시키지 않을 것이다. 이 교란의 대략적인 추정치만을 얻기 위해, 그림 4의 플롯에 나타난 것과 같은 예의 필드에 대한 수치적 결과 및 차원 30 cm x 30 cm x 1.5 m 및 유전율  $\epsilon = 49 + 16i$ (사람의 근육)의 직사각형 객체가 루프들 사이에 존재하고 하나의 커패시터의 거의 상부에 있는(그로부터 ~3cm 떨어져 있음) 상황에서, 앞서 언급한 PT 식  $\Gamma_{1-e}^{abs} = \omega_1/4 \cdot \int d^3\mathbf{r} Im\{\epsilon_e(\mathbf{r})\} |\mathbf{E}_1(\mathbf{r})|^2/U$  을 사용하고  $Q_{c-h}^{abs} \sim 10^5$  이고 ~10 cm 떨어진 경우에 대해  $Q_{c-h}^{abs} \sim 5 \times 10^5$  이라는 것을 알았다. 따라서, 보통의 거리 (~1m) 및 배치(커패시터의 바로 위에 있지 않음)에 대해, 또는 훨씬 더 작은 손실 탄젠트의 대부분의 통상적인 외부 객체  $\epsilon$

에 대해,  $Q_{c-e}^{abs} \rightarrow \infty$  이고,  $\kappa_{[e]}/\Gamma_{[e]} \sim \kappa/\Gamma \sim 0.5-50$  이라고 말하는 것은 실제로 올바르다는 결론을 얻었다. 이들 공진에 영향을 미칠 것으로 예상되는 유일한 섭동은 큰 금속 구조물의 근접이다.



| "사람" 및 "백"에 있는 2개의 디스크   | $D/r$ | $Q_{c-h}^{abs}$ | $Q_{c-w}^{abs}$ | $Q_{c[hw]}^{rad}$ | $Q_{[hw]} = \omega/2\Gamma_{c[hw]}$ | $\omega/2\kappa_{[hw]}$ | $\kappa_{[hw]}/\Gamma_{c[hw]}$ |
|--|-------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Re{ε}=147.7, m=2</b><br>$\lambda/r \approx 20$<br>$Q_c^{abs} \approx 10100$ | 3     | 3300            | 12774           | 536               | 426                                 | 48                      | 8.8                            |
|  | 5     | 5719            | 26333           | 1600              | 1068                                | 322                     | 3.3                            |
|  | 7     | 13248           | 50161           | 3542              | 2097                                | 973                     | 2.2                            |
|  | 10    | 18447           | 68460           | 3624              | 2254                                | 1768                    | 1.3                            |
| <b>Re{ε}=65.6, m=3</b><br>$\lambda/r \approx 10$<br>$Q_c^{abs} \approx 10100$  | 3     | 2088            | 36661           | 6764              | 1328                                | 141                     | 9.4                            |
|  | 5     | 72137           | 90289           | 11945             | 4815                                | 2114                    | 2.3                            |
|  | 7     | 237822          | 129094          | 12261             | 5194                                | 8307                    | 0.6                            |

[그림 6. 플롯. 중첩된 시스템의 섭동된 짝수 정규 모드(적색/백색/청색)의 전기장과 함께, 2개의 외부 객체(황색)로부터 같은 거리 D에 근접해 있는 이들 사이의 중간 거리 D 결합에 대한 2개의 동일한 디스크(황색)의 시스템: 둘 다 디스크와 동일한 크기(면적)의 높은  $\epsilon = 49 + 16i$  정사각형 객체 및  $\epsilon = 2.5 + 0.05i$ 의 큰 조면화된 표면. 테이블. 이전의 그림들에서 제시된 2가지 경우의 디스크 모드에 대한 시스템의 섭동된 2개의 정규 모드의 평균 파장 및 손실률에 대한 수치적 FDFD 결과(개별 값은 나타나지 않음), 그리고 또한 섭동된 결합률 및 거리 D의 함수인 "강한/약한 결합" 성능 지수. 비방사( $D < 2r_c$ ) 결합에 대한 거리만이 고려된다. 한번 더 유의할 점은, 평균  $\Gamma^{rad}$ 가 모든 방사된 원거리장과 산란된 원거리장 사이의 간섭 효과를 고려한다는 것이다. (플롯의 특성의 파라미터는 하이라이트되어 있고 테이블에서 굵은체로 되어 있다.) (이 그림 범례에서 색상에 대한 참조의 해석을 위해, 독자는 이 논문의 웹 버전을 참조하기 바란다.)]

이 사실의 아주 중요한 암시는 사람에게 대한 만족도 고려사항에 관한 것이다. 사람은 또한 비자성이고 어떤 위험도 겪지 않고 강한 자기장에 견딜 수 있다. 자기장  $B \sim 1T$ 가 사람에게 안전하게 사용되는 통상적인 예는 의료 검사를 위한 MRI(magnetic resonance imaging) 기술이다. 이와 달리, 몇 와트의 전력을 장치에 제공하기 위해 우리의 방식에 의해 요구되는 근거리 자기장은 단지  $B \sim 10^{-4} T$ 이고, 이는 실제로 지구의 자기장의 크기와 비교할만하다. 앞서 설명한 바와 같이, 강한 전기 근거리장이 또한 존재하지 않고 이 비방사 방식으로부터 생성되는 방사파가 최소한이기 때문에, 우리의 제안된 에너지 전송 방법이 생체 조직에 안전할 것으로 예상하는 것은 타당하다.

검사 중인 2가지 부류의 공진 시스템의 비교에서, 외부 객체에 대한 강한 면역성 및 사람에게 대한 위험이 없는 것은 아마도 전도성 와이어 루프를 많은 실세계 응용에 대한 바람직한 선택으로 만들어주고, 반면에, 고 (유효) 굴절률의 디스크(또는 구)의 시스템은 훨씬 더 작은 길이 스케일에도 적용가능하다는 이점이 있다(예를 들어, 전도성 물질이 손실이 많기 때문에, 광 영역 유전체가 보편화되고 있음).

#### 4. 에너지 전송 방식의 효율

한 세트의 외부 객체 e의 존재 하에서 공진 소스 s와 장치 d의 결합된 시스템을 다시 생각해보고, 이제부터 운

영 작업에 사용하기 위해 에너지가 장치로부터  $\Gamma_{\text{work}}$  레이트로 소모될 때 이 공진-기반 에너지 전송 방식의 효율을 연구해본다. 장치 필드 진폭에 대한 결합 모드 이론 방정식은 다음과 같으며:

$$\frac{da_d}{dt} = -i(\omega - i\Gamma_{d[e]})a_d + i\kappa_{[e]}a_s - \Gamma_{\text{work}}a_d \quad (3)$$

여기서  $\Gamma_{d[e]} = \Gamma_{d[e]}^{\text{rad}} + \Gamma_{d[e]}^{\text{abs}} = \Gamma_{d[e]}^{\text{rad}} + (\Gamma_d^{\text{abs}} + \Gamma_{d-e}^{\text{abs}})$  은 순 섭동된 장치 손실

률이고, 이와 유사하게, 섭동된 소스에 대한  $\Gamma_{s[e]}$ 를 정의한다. 장치로부터 전력을 추출하기 위해 상이한 임시 방식이 사용될 수 있고(예컨대, 정상 상태 연속파 소모, 주기적인 시각에서의 순간적인 소모 등), 그의 효율은 결합된 시스템 파라미터에 대한 상이한 의존성을 나타낸다. 여기서, 정상 상태를 가정하며, 따라서 소스 내부에서의 필드 진폭은 일정하게 유지되고(즉,

$$a_s(t) = A_s e^{-i\omega t}$$

), 따라서 장치 내부에서의 필드 진폭은  $a_d(t) = A_d e^{-i\omega t}$  이고, 여기서  $A_d/A_s = i\kappa_{[e]}/(\Gamma_{d[e]} + \Gamma_{\text{work}})$ 이다. 관

심의 다양한 시간-평균된 전력은 다음과 같다: 유용한 추출된 전력은  $P_{\text{work}} = 2\Gamma_{\text{work}}|A_d|^2$

이고, 방사된 전력(산란된 전력을 포함함)은  $P_{\text{rad}} = 2\Gamma_{s[e]}^{\text{rad}}|A_s|^2 + 2\Gamma_{d[e]}^{\text{rad}}|A_d|^2$ 이며, 소스/

장치에 흡수된 전력은  $P_{s/d} = 2\Gamma_{s/d}^{\text{abs}}|A_{s/d}|^2$  이고, 외부 객체에서는

$$P_e = 2\Gamma_{s-e}^{\text{abs}}|A_s|^2 + 2\Gamma_{d-e}^{\text{abs}}|A_d|^2$$

이다. 에너지 보존으로부터, 시스템에 들어가는 시간 평균된 총 전력은  $P_{\text{total}} = P_{\text{work}} + P_{\text{rad}} + P_s + P_d + P_e$ 이다. 유의할 점은, 시스템에 보통 존재하고 시스템에 걸쳐 저장된 에너지를 순환시키는 무효(reactive) 전력이 공진 시에 상쇄되고(예를 들어, 전자기학에서 포인팅 정리[14]로부터 증명될 수 있음) 전력 평형 계산에 영향을 미치지 않는다는 것이다. 작업 효율은 다음과 같으며:

$$\eta_{\text{work}} \equiv \frac{P_{\text{work}}}{P_{\text{total}}} = \frac{1}{1 + \frac{\Gamma_{d[e]}}{\Gamma_{\text{work}}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{\text{fom}_{[e]}^2} \left( 1 + \frac{\Gamma_{\text{work}}}{\Gamma_{d[e]}} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

여기서  $\text{fom}_{[e]} = \kappa_{[e]}/\sqrt{\Gamma_{s[e]}\Gamma_{d[e]}}$  은 섭동된 공진 에너지 교환 시스템의 거리 의존적 성능 지수이다. 목표 응용에 따라, 작업-소모 비율에 대한 타당한 선택은 다음과 같다: 소스에 저장되는 요구된 에너지를 최소화하는

$$\Gamma_{\text{work}}/\Gamma_{d[e]} = 1, \text{fom}_{[e]} \text{의 어떤 특정의 값에 대한 효율을 최대화하는}$$

$$\Gamma_{\text{work}}/\Gamma_{d[e]} = \sqrt{1 + \text{fom}_{[e]}^2} > 1, \text{ 또는 장치에 저장되는 요구된 에너지를 최소화하는}$$

$\Gamma_{\text{work}}/\Gamma_{d[e]} \gg 1$ . 이들 선택 중 임의의 것에 대해,  $\eta_{\text{work}}$ 는  $\text{fom}_{[e]}$  파라미터만의 함수

이다.  $\eta_{\text{work}}$ 는 그의 최적의 선택에 대해 그림 7에서 흑색 실선으로 나타내어져 있고,  $\text{fom}_{[e]} > 1$

에 대해  $\eta_{\text{work}} > 17\%$ 이다(즉, 실제 응용에 대해 충분히 크다). 손실 변환 비도 역시 다른 시스템 파라미터에 의존하고, 앞서 결정된 범위 내의 그의 파라미터에 대한 값을 갖는 유전체 디스크 및 전도성 루프의 2개의

예시적인 시스템에 대해 가장 교란하는 것(흡어진 객체에서의 방사 및 흡수)이 그림 7에 플롯되어 있다.

[0056]

시스템 성능에 대한 수치적 추정치를 얻기 위해, 결합 거리  $D/r = 5$ , 거리  $D_h/r = 10$ 에 있는 "사람" 외부 객체를 예로 들고,  $P_{work} = 10$  W가 부하로 전달되어야만 한다. 이어서, 유전체 디스크에 대해 (그림 5에 기초하여)

$$Q_{s[h]}^{rad} = Q_{d[h]}^{rad} \sim 10^3, Q_s^{abs} = Q_d^{abs} \sim 10^4, Q_{s-h}^{abs} = Q_{d-h}^{abs} \sim 5 \times 10^4$$

을 얻고 (그림 2 및 그림 6에 기초하여)  $fom_{[h]} \sim 3$  을 얻으며, 따라서 그림 7로부터, 효율  $\eta_{work} = 52\%$  이고

$P_{rad} \approx 8.3$  W 가 자유 공간으로 방사될 것이며,  $P_s \approx 0.5$  W 이 소스 내부에서,

$P_d \approx 0.3$  W 이 장치 내부에서, 그리고  $P_h \approx 0.2$  W 이 사람 내부에서 소실될 것이다. 한편,

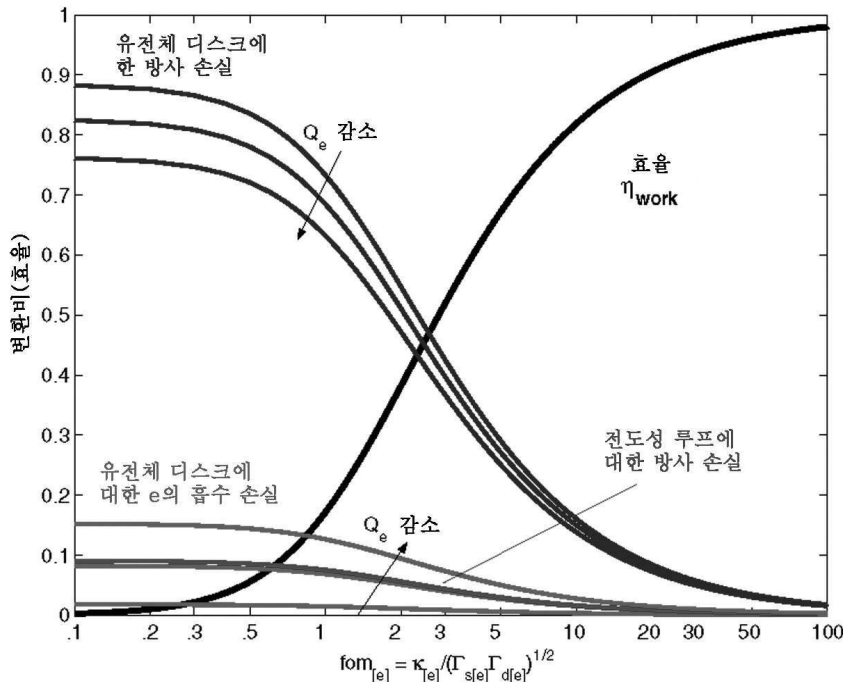
전도성 루프에 대해, (그림 3 및 그림 4에 기초하여)

$$Q_{s[h]}^{rad} = Q_{d[h]}^{rad} \sim 10^4, Q_s^{abs} = Q_d^{abs} \sim 10^3, Q_{s-h}^{abs} = Q_{d-h}^{abs} \rightarrow \infty$$

및  $fom_{[h]} \sim 4$  을 얻고, 따라서

$\eta_{work} = 61\%$ ,  $P_{rad} \approx 0.6$  W,  $P_s \approx 3.6$  W,  $P_d \approx 2.2$  W 임을 알았고, 가

장 중요하게는  $P_h \rightarrow 0$  이다.



[0057]

[0058]

5. 결론

[0059]

결론적으로, 중간 범위 무선 비방사 에너지 전송을 위한 "강하게 결합된" 공간에 기초한 방식을 제시하고 있다. 우리의 고려 사항이 정적 기하형태에 대한 것이지만(즉,  $\kappa$  및  $\Gamma_e$ 가 시간에 독립적인), 모든 결과가 이동 객체

의 동적 기하형태에 대해 직접 적용될 수 있는데, 그 이유는 에너지 전송 시간  $\kappa^{-1}$  (마이크로파 응용에 대해  $\sim 1$  내지  $100 \mu s$ )이 거시적 객체의 움직임과 연관되어 있는 임의의 시간스케일보다 훨씬 더 짧기 때문이다. 아주 간단한 구형 기하형태의 분석은 고무적인 성능 특성을 제공하고 진지한 설계 최적화에 의해 추가의 향상이 예상된다. 따라서, 제안된 메커니즘은 많은 최근의 응용에 대해 유망하다. 예를 들어, 거시적 세계에서, 이 방식은



어쩌면 전력을 공장 실내에 있는 로봇 및/또는 컴퓨터, 또는 고속도로 상의 전기 버스(이 경우에, 소스-캐비티는 고속도로 상에 있는 "파이프"임)에 전달하는 데 사용될 수 있다. 훨씬 더 작은 파장이 사용되고 적은 전력이 필요한 미시적 세계에서, CMOS 전자 장치에 대한 광 상호연결부를 구현하기 위해 또는, 소스와 장치 간의 상대적 정렬을 그다지 걱정함이 없이, 자율적 나노 객체(예컨대, MEMS 또는 나노로봇)에 에너지를 전송하기 위해 이를 사용할 수 있다.

[0060] 장래의 과학적 연구의 영역으로서, 큰 유효 굴절률의 플라즈몬 또는 금속-유전체 구조물 등의 상이한 물질을 이용함으로써 또는 시스템 설계를 미세 조정함으로써, 예를 들어, 결합된 객체들의 방사장 사이의 앞서 언급한 간섭 효과를 이용함으로써, 전자기 시스템에 대한 향상된 성능이 추구되어야만 한다. 게다가, 적용가능성의 범위가 음향 시스템으로 확장될 수 있고, 여기서 소스와 장치는 공통의 응집 물질 객체를 통해 연결되어 있다.

**발명의 내용**

[0061] 본 발명은 컴퓨팅 환경에서 무선 근거리장 자기 공진(near field magnetic resonance, NFMR) 전력 전송을 이용하는 시스템 및 방법을 제공한다. 상세하게는, 본 발명은 NFMR 송신기에 대해 대략 임의의 공간 배향으로 배치되어 있는 동안 NFMR 전력 송신기로부터 사용가능 양으로 전력을 무선으로 수신하도록 구성되어 있는 주변 장치를 기술하는 방법, 시스템 및 장치를 제공한다.

[0062] 일 실시예에서, 휴대용 전원 유닛의 공간 배향에 관계없이 공진 주파수  $\omega_T$ 를 가지는 NFMR(near field magnetic resonance) 송신기 유닛에 의해 제공되는 자기장으로부터 적어도 최소량의 전력을 무선으로 수신하도록 구성되어 있는 소형 인수 휴대용 전원 유닛(small form factor portable power unit)이 기술되어 있다. 휴대용 전원 유닛은 적어도 제1 공진기 구조물 - 제1 공진기 구조물은 공진 주파수  $\omega_1$  및 특성 크기(characteristic size)  $L_1$ 를 가짐 - 및 제2 공진기 구조물 - 제2 공진기 구조물은 공진 주파수  $\omega_2$  및 특성 크기  $L_2$ 를 가짐 - 을 포함하고 있다. 제1 공진기 구조물과 제2 공진기 구조물은, 휴대용 전원 유닛 내에서 서로에 대하여, 제1 공진기 구조물과 제2 공진기 구조물 사이의 유효 자기 결합 계수(effective magnetic coupling coefficient)  $\kappa_{eff}$ 가 무선 송신기 유닛에 의해 제공되는 자기장에 대한 휴대용 전원 유닛의 공간 배향에 관계없이 약 0이도록 하는 위치에 고정되어 있다. 제1 공진기 구조물 및 제2 공진기 구조물 중 적어도 하나가 NFMR 송신기 유닛에 대해 동조된 상태에 있을 때, 무선 송신기 유닛과 제1 공진기 구조물 및 제2 공진기 구조물 사이의 비방사 전력 전송은 제1 공진기 구조물과 제2 공진기 구조물 사이의 자기 공진 결합을 통해 조정(mediate)된다.

[0063] 다른 실시예에서, NFMR 전력 송신기로부터 전력을 무선으로 수신하도록 구성되어 있는 주변 장치가 기술되어 있다. 주변 장치는 적어도 2개의 자기적으로 분리된(magnetically de-coupled) NFMR 전력 수신기를 가지는 적어도 전력 수신 유닛을 포함하고 있다. 환언하면, 적어도 2개의 자기적으로 분리된 NFMR 전력 수신기 사이의 결합 계수는 NFMR 전력 송신기에 의해 발생하는 자기장에 대한 전력 수신 유닛의 공간 배향에 관계없이 약 0이다. 이러한 방식으로, NFMR 전력 송신기에 의해 발생된 자기장과 주변 장치의 상대 배향에 관계없이 NFMR 전력 송신기로부터 주변 장치에 사용가능 양으로 전력이 수신된다.

[0064] 일 실시예에서, 주변 장치는 컴퓨터 마우스 등의 사용자 입력 장치이고, NFMR 전력 송신기는 컴퓨터 마우스와 통신하고 있는 컴퓨팅 시스템에 포함되어 있다. 게다가, 전력 수신 유닛 내의 자기적으로 분리된 NFMR 전력 수신기는 종래의 배터리 유닛과 부합하는 형상 및 크기를 가지며, 각각은 일부 경우에 약 90도로 서로 중복하는 반면 다른 경우에 서로 직교이지만 중복하지는 않는 세로축을 가진다.

[0065] 다른 실시예에서, 자기적으로 전원을 공급받는 주변 장치의 제조 방법이 기술되어 있다. 기술된 실시예에서, 이 방법은, 각각이 서로 거의 동일한 크기이고 주변 장치의 횡방향 치수와 부합하는 세로축을 가지는, 적어도 2개의 NFMR 전력 수신기를 제공하는 것에 의해 수행될 수 있다. 그 다음에, 적어도 2개의 NFMR 전력 수신기 유닛들 중 제1 유닛의 세로축이 적어도 2개의 NFMR 전력 수신기 유닛들 중 제2 유닛의 세로축과 관련하여 대략 수직이고 그리고 대략 중간에 위치해 있는 방식으로, 적어도 2개의 NFMR 전력 수신기 유닛들 중 제1 유닛은 적어도 2개의 NFMR 전력 수신기 유닛들 중 제2 유닛과 중복하도록 배열되어 있다. 이러한 방식으로, 제1 NFMR 전력 수신기 유닛과 제2 NFMR 전력 수신기 유닛 사이의 자기 결합 계수는 주변 장치와 NFMR 전력 송신기의 공간 배향에 관계없이 약 0이다.

[0066] 기술된 실시예의 한 측면에서, 주변 장치는 서로 거의 수직인 적어도 3개의 NFMR 전력 수신기 유닛을 포함하고 있다. 이러한 방식으로, 주변 장치는, NFMR 전력 송신기로부터 무선으로 수신되는 전력의 손실이 거의 없이, 임의의 3차원 공간 체적 내에서 이동될 수 있다.

[0067] 이하의 도면 및 상세한 설명을 살펴보면, 기술된 실시예들의 다른 장치, 방법, 특징 및 이점이 기술 분야의 당업자에게 명백하거나 명백하게 될 것이다. 모든 이러한 부가의 장치, 방법, 특징 및 이점이 이 설명 내에 포함되고 첨부된 특허청구범위의 범위 내에 속하며 그에 의해 보호되는 것으로 보아야 한다.

**도면의 간단한 설명**

[0068] 포함된 도면들은 예시를 위한 것이고, 단지 개시된 실시예들의 가능한 구조 및 구성의 예를 제공하는 역할을 한다. 이들 도면은 실시예들의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 기술 분야의 당업자에 의해 기술된 실시예들에 대해 행해질 수 있는 형태 및 상세의 임의의 변경을 결코 제한하지 않는다.

도 1a 내지 도 1c는 페루프의 자속 및 공간 배향 사이의 관계를 나타낸 도면.

도 2는 유도 전압(즉, EMF)과 공간 배향각  $\theta$  사이의 관계를 그래프로 나타낸 도면.

도 3a 및 도 3b는 공간 배향에 의존하는 출력 전압을 가지는 전원 공급 장치를 나타낸 도면.

도 4a, 도 4b 및 도 5a 내지 도 5f는 기술된 실시예들에 따른, 다양한 배열의 공진 수신기를 갖는 배향 독립적 전원 공급 장치를 나타낸 도면.

도 6a 내지 도 6c는 기술된 실시예에 따른, 다수의 공진 수신기들 간에 전력을 결합시키는 데 적당한 결합 회로의 기능 블록도의 다양한 실시예들을 나타낸 도면.

도 7은 도 6a에 도시된 전력 공유 회로의 특징의 구현예를 나타낸 도면.

도 8은 기술된 실시예에 따른, 다수의 독립적 공진 수신기를 가지는 다중 주파수 공진 전원 유닛을 나타낸 도면.

도 9는 기술된 실시예들에 따른, 도 8의 결합기 유닛에 의해 수행되는 방법을 상세히 설명하는 플로우차트를 나타낸 도면.

도 10 및 도 11은 자기장으로부터 수신된 전력을 제공하는 작은 폼 팩터의 무선 전원 유닛을 가지는 대표적인 주변 장치를 나타낸 도면.

도 12는 기술된 실시예들에 따른 분산 시스템을 나타낸 도면.

도 13은 기술된 실시예들에 따른 컴퓨팅 시스템을 나타낸 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0069] 무선으로 전력을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경의 다양한 실시예들이 기술되어 있다. 무선으로 전력을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경은 다수의 적당히 구성된 장치들 중 임의의 장치에 무선으로 전력을 제공하도록 구성되어 있는 적어도 근거리장 자기 공진(NFMR) 전원 공급 장치를 포함하고 있다. 기술된 실시예들에서, NFMR 전원 공급 장치로부터 무선으로 전력을 수신하도록 구성되어 있는 장치들은 NFMR 전원 공급 장치의 전송 장치의 특성 크기의 몇배일 수 있는 대략 거리 D만큼 뻗어 있는 근거리장라고 하는 영역에 위치해 있을 수 있다. 통상적으로 거리 D는 1 미터 정도일 수 있다.

[0070] 이 논의와 관련하여, Karalis 등의 "Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer"(Annals of Physics 323 (2008) pgs. 34 - 38)(모든 목적을 위해, 참조 문헌으로서 그 전체 내용이 본 명세서에 포함됨)에 어느 정도 상세히 기술되어 있는 방식으로, 사용가능 전력이, 자기장을 통해 일시적으로 결합되는 무선 송신기 및 수신기를 통해, 무선으로 전송될 수 있는 것이 공지되어 있다. 보다 구체적으로는, 기술된 실시예들에 따른 시스템은 외부 전원 공급 장치로부터 유용한 양의 전력을 무선으로 수신할 수 있는, 주변 장치 내에 포함되어 있거나 그에 전기적으로 결합되어 있는 무선 전력 수신기를 포함할 수 있다. 기술된 시스템에서, 무선 전력 수신기는 제1 공진 주파수  $\omega_1$ , 제1 Q 인자  $Q_1$ (전력 전송 효율의 척도), 및 제1 특성 크기  $L_1$ 을 가지는 제1 공진기 구조물을 포함할 수 있다. 예를 들어, 주변 장치가 컴퓨터 마우스 또는 기타 입력 장치의 형태를 취하는 컴퓨팅 시스템과 관련하여, 특성 크기  $L_1$ 은 수 인치 또는 센티미터 정도일 수 있다. 이 시스템은 또한 제2 공진 주파수  $\omega_2$  및 제2 Q 인자  $Q_2$  및 제2 특성 크기  $L_2$ 를 가지는, 제1 공진 구조물로부터 가변 거리 d에 배치되어 있는 적어도 제2 공진기 구조물에 결합된 전원 공급 장치를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 공진기 구조물은 데스크톱 또는 랩톱 컴퓨터 등의 컴퓨터 내에 포함될 수 있다. 이러한 방식으로, 주변 장치(또는 임

의의 다른 적절히 구성된 장치)가 전원 공급 장치로부터 제2 공진기 구조물을 통해 유용한 양의 전력을 무선으로 수신할 수 있는 충전 영역이 컴퓨터 주위에 형성될 수 있다.

[0071] 제1 및 제2 공진 주파수  $\omega_1$  및  $\omega_2$  가 서로 가까울 때, 제1 및 제2 공진기 구조물 사이의 결합 영역이 형성될 수 있다. 이 결합 영역 내에서, 제2 공진기 구조물에 의해 제공되는 자기장의 공진장 소산 테일(resonant-field evanescent tail)을 이용하는 비방사 에너지 전송 메커니즘을 통해 유용한 전력이 전송될 수 있다. 예를 들어, 제1 공진기 구조물이 컴퓨터 마우스 등의 주변 장치 내에 포함되어 있을 때, 컴퓨터 마우스는 전원 공급 장치에 결합되어 있는 제2 공진기 구조물로부터 적어도 부분적으로 전력을 공급받을 수 있다. 이러한 방식으로, 주변 장치는, 컴퓨팅 장치 내에 제공된 것 이외의 별도의 전원 공급 장치를 필요로 함이 없이, 무선 모드에서 동작할 수 있다. 주변 장치로 전달될 수 있는 전력의 양 및 지속기간은 다수의 인자들에 강하게 의존할 수 있다. 예를 들어, 제1 공진기 구조물과 제2 공진기 구조물 사이의 결합은 제2 공진기 구조물의 공간 배향, 및 제1 공진 자기 구조물은 물론 가변 거리  $d$ 에 의해 발생된 자기장에 의존할 수 있다.

[0072] 공간 배향 의존성을 피하거나 적어도 감소시키기 위해, 기술된 실시예들에서의 주변 장치는 서로에 대해 상이한 공간 배향을 가지는 복수의 개별 공진기를 포함하는 전력 수신 유닛을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 전력 수신 유닛에 무선으로 수신된 전력은 본질적으로 제2 공진기 구조물에 의해 발생된 자기장(이후부터 NFMR 자기장이라고 함)에 대한 주변 장치의 임의의 움직임에 독립적일 수 있다. 그렇지만, 개별 공진기들 각각은 자체적으로 NFMR 자기장에 응답하여 자기장을 생성할 수 있고, 이 자기장은 차례로 개별 공진기들 중 다른 것들과 결합할 수 있다. 전력 수신 유닛 내의 개별 공진기들 간의 결합은 자기 결합이 거의 또는 전혀 없는 경우의 0 내지 강한 자기 결합이 있을 때의 약 1의 범위에 있을 수 있는 결합 계수  $\kappa$ 에 의해 특징지어질 수 있다. 개별 공진기들이 강하게 결합되어 있는 구성에서, 각각의 공진기는 다른 공진기들에 상당한 영향을 미칠 수 있고, 그에 의해 전력 수신 유닛 전체의 성능에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서, 전력 수신 유닛이 2개 이상의 공진기 사이의 결합 계수  $\kappa$ 가 가능한 한 0에 가까운 2개 이상의 개별 공진기를 가지는 것이 유리할 것이다. 이것은 공진기 구조물과 전원 공급 장치로부터 에너지를 전송하는 데 사용되는 NFMR 자기장 사이의 상대 배향이 크게 변할 수 있는 충전 영역 내에서 여기저기로 이동될 수 있는 주변 장치에 대해 특히 그렇다.

[0073] 그에 따라, 일 실시예에서, 무선으로 전력을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경이 기술되어 있다. 무선으로 전력을 공급받는 로컬 컴퓨팅 환경은 사용가능 에너지를 (NFMR 전원 공급 장치 송신기에 의해 전송되는 자기장의 가장 바깥쪽 무선 범위를 정의하는) 근거리장 거리  $D$  내에 있는 공진 회로로 전송하기 위해 공진 채널을 사용하도록 구성되어 있는 NFMR 무선 전원 공급 장치 및 처리 자원을 NFMR 전원 공급 장치에 제공하는 중앙 처리 유닛을 포함할 수 있다. 또한, NFMR 전력 송신기로부터 전력을 무선으로 수신하도록 구성되어 있는 로컬 컴퓨팅 환경 내에서 여기저기로 자유롭게 이동할 수 있는 주변 장치가 로컬 컴퓨팅 환경에 포함되어 있다. 주변 장치는 출력 전압  $V_{out}$ 을 제공하기 위해 서로 전기적으로 결합되어 있는 개별 공진기의 형태로 되어 있는 적어도 2개의 자기적으로 분리된 NFMR 전력 수신기를 가지는 적어도 전력 수신 유닛을 포함할 수 있다. 수신기 공진기들 사이의 자기 결합 계수  $\kappa$ 가 약 0이기 때문에, 출력 전압  $V_{out}$ 은 NFMR 자기장에 대한 주변 장치의 공간 배향에 실질적으로 독립적이다. 이러한 방식으로, 주변 장치는 그의 배향에 관계없이 NFMR 전원 공급 장치로부터 사용가능 양의 전력을 무선으로 수신할 수 있다.

[0074] 이들 및 기타 실시예에 대해서는 도 1 내지 도 9를 참조하여 이하에서 논의한다. 그렇지만, 기술 분야의 당업자라면, 이들 도면과 관련하여 본 명세서에 주어진 상세한 설명이 단지 설명을 위한 것이며 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다는 것을 잘 알 것이다.

[0075] 전력 수신 유닛 내의 개별 공진기들 사이의 자기 결합은 기전력(electromotive force, EMF) 또는 전압을, 시스템(100)으로서 도 1a에 도시된 바와 같이 폐곡선을 따라 단위 전하  $q$ 를 이동시키는 데 행해진 일의 양으로서 정의하는 패러데이의 유도 법칙 또는 보다 간단히 패러데이의 법칙을 사용하여 설명될 수 있다. 패러데이의 법칙에 따르면, 페루프 경로(102)를 따라 생성된 EMF는 페루프 경로(102)에 의해 둘러싸여 있고 법선 벡터  $\mathbf{A}$ 를 갖는 표면  $A$ 와 연관되어 있는 자속  $\Phi$ 의 시간 변화율( $d\Phi/dt$ )에 비례한다. 이러한 방식으로, 표면  $A$ 를 통과하는 자속  $\Phi_B$ 가 변할 때 임의의 폐회로에 전류가 유도될 수 있다. 기전력(또는 전압)과 자속의 변화 간의 관계는 수학식 1의 형태로 되어 있는 패러데이의 법칙의 미분 형태를 만족시킬 수 있고:

수학식 1

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

[0076]

[0077] 여기서  $\mathcal{E}$  는 각각이 동일한 단면적을 가지는 N개의 전도성 페루프 중 하나의 페루프의 면적 A 내에 둘러싸여 있는 자속  $\Phi_B$ 의 변화에 의해 나타나는 기전력 또는 전압이다.

[0078]

자속  $\Phi_B$ 는 수학식 2에 따라 페루프 경로(102)에 의해 정의되는 표면 A에 대응하는 자기장 벡터  $\mathbf{B}$  및 법선 벡터  $\mathbf{A}$ 에 관련되어 있는 스칼라이고:

수학식 2

$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$$

[0079]

[0080] 여기서,

[0081]  $\mathbf{B}$ 는 자기장 벡터이고,

[0082]  $\mathbf{A}$ 는 페루프(102)에 의해 둘러싸인 표면 A의 법선 벡터이고;

[0083]  $\mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$ 는 벡터  $\mathbf{B}$ 와  $\mathbf{A}$ 의 내적, 또는 스칼라 형태로  $AB\cos(\theta)$ 이다.

[0084]

따라서, 자속  $\Phi_B$ 는 배향각  $\theta$ 의 코사인으로서 변하고, 여기서 배향각  $\theta$ 는 도 1b 및 도 1c에 도시된 자기장 벡터  $\mathbf{B}$ 와 법선 벡터  $\mathbf{A}$ 의 공간 배향을 나타낸다. 수학식 2에 따르면 그리고 도 1b에 도시된 바와 같이, 자기장 벡터  $\mathbf{B}$ 와 법선 벡터  $\mathbf{A}$ 가 서로 정렬되어 있을 때[즉, 각도  $\theta$ 가 0이고 따라서  $\cos(\theta)$ 가 1일 때], 자속  $\Phi_B$ 는 최대

값이고, 따라서 자속  $\Phi_B$ 의 임의의 변화로 인해 최대 **EMF ( $\mathcal{E}$ )** 또는 전압이 페루프(102)에 유도될 수 있다. 이 유도 전압은 임의의 2개의 개별 전도성 루프 사이의 결합 계수  $\kappa$ 를 특징지우는 데 사용될 수 있다. 유의할 점은, 배향각  $\theta$ 가 0으로부터 변하여 90도(또는  $\pi/2$  라디안)에 가까워질 때, 자속  $\Phi_B$ 는, 도 1c에 예시된 바와 같이, 최대 자속  $\Phi_{Bmax}$ 로부터 0으로 간다는 것이다. 따라서, 수학식 1 및 수학식 2를 사용하면, 도 2에 도시된 바와 같이, 유도 전압 또는 EMF는 또한 자속  $\Phi_B$ 와 거의 동일한 방식으로 배향각  $\theta$ 에 관계되어 있다. 이러한 방식으로, 공진기들 사이의 자기 결합 계수  $\kappa$ 는 실질적으로 공간 배향에 대한 무선 전원 유닛의 전체 성능을 결정할 것이다.

[0085]

도 3a는 (강한 결합 구성을 나타내는) 약 1.0의 값을 갖는 자기 결합 계수  $\kappa$  및 NFMR 자기장  $B_{NFMR}$ 에 대한 공간 배향각  $\theta$ 를 가지는 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)를 가지는 무선 전원 유닛(300)을 나타낸 것이다. 이 구성에서, 2개의 공진기 사이의 자기 결합의 효과는 한쪽 공진기에서 발생된 전압이 다른쪽 공진기에서 발생된 전압을 사실상 상쇄시킬 수 있을 정도로 충분히 강하다. 이 예에서, 간단함을 위해, 공진기(302 및 304) 각각은 공통 전위(시스템 GND)에 있는 한쪽 단부 및 전압 V1 및 V2를, 각각, 제공하는 단자 노드(308 및 310)에 있는 다른쪽 단부에서 종단하는 N개의 전도성 와이어(306) 루프를 갖는 특성 길이 L을 가지는 원통형 형상일 수 있다. 무선 전원 유닛(300)은 전압 V1과 전압 V2의 차로서 출력 전압  $V_{out}$ 을 제공할 수 있다. 이 구성에서, 출력 전압  $V_{out}$ 은 NFMR 자기장  $B_{NFMR}$ 에 대한 무선 전원 유닛(300)의 공간 배향은 물론 (자기 결합 계수  $\kappa \approx 1.0$ 에 의해 특징지워지는) 제1 공진기(302)와 제2 공진기(304) 사이의 고유 결합(intrinsic coupling)에 의존한다. 보다 구체적으로는, 제2 공진기(304)와 자기적으로 결합되어 있는 제1 공진기(302)에 의해 발생된 임의의 자기장으로 인해, 제1 공진기(302)에 유도된 전압과 크기가 거의 같고 극성이 반대인 전압이 제2 공진기(304)에 유도된다.

- [0086] 보다 구체적으로는, 제1 공진기(302)는 자기장  $B_{NMR}$ 과 공진하여 자기장  $B_1$ 을 생성할 수 있다. 자기 결합 계수  $\kappa \approx 1.0$ 이기 때문에, 제1 공진기(302)에 의해 발생하는 임의의 자기장이 제2 공진기(304)와 자기적으로 결합될 수 있다(그 반대도 마찬가지임). 예를 들어, 도 3b에 도시된 바와 같이, 자기장  $B_1$ 은 제2 공진기(304)와 상호작용하여 노드(310)에 노드(308)에서의 전압  $V_1$ 과  $180^\circ$  위상이 벗어나고 크기가 같은 전압  $V_2$ (환언하면,  $V_1 = -V_2$ )를 유도할 것이며, 도 3b에 도시된 바와 같이, 그 결과 출력 전압  $V_{out}$ 에 대한 널 값(null value)이 얻어지고, 이는 명백히 용납될 수 없다.
- [0087] 따라서, 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)의 서로에 대한 배향 및 위치를 변경함으로써, 공진기들 사이의 자기 결합이 실질적으로 감소될 수 있다. 환언하면, 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)를 적절히 배향 및 배치하는 것에 의해, 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)를 효과적이게 자기적으로 분리시킬 수 있고, 이 경우에 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff}$ 는 0에 가까울 수 있다. 예를 들어, 도 4a는 유효 자기 결합 계수  $\kappa \approx 0$ 을 갖는 것을 특징으로 하는 기술된 실시예들에 따른 무선 전원 공급 장치(400)를 나타낸 것이고, 유효 자기 결합 계수라는 것은 제1 공진기(302)와 제2 공진기(304) 사이의 임의의 자기 결합의 순 효과가 사실상 서로를 상쇄시키고 그에 의해 어떤 자기 결합도 없는 상황을 시뮬레이트하는 것을 의미한다. 보다 구체적으로는, 제1 공진기(302)가 자기장  $B_{NMR}$ 과 공진할 때, 유도 자기장  $B_1$ 이 제1 공진기(302)에 의해 발생될 것이다. 그렇지만, 제1 공진기(302)와 제2 공진기(304)가 강하게 결합되어 있는 상황과 달리, 자기장  $B_1$ 으로부터의 자력선은 제2 공진기(304)와 약  $90^\circ$ 로 교차한다. 이러한 방식으로 그리고 수학식 2에 따르면, 자속  $\Phi$ , 따라서 제2 공진기(304)에서 발생하는 임의의 EMF는 약 0이다.
- [0088] 도 4b는 제2 공진기(304)가 자기장  $B_{NMR}$ 과 공진하여 유도 자기장  $B_2$ 를 생성하는 다른 상황을 나타낸 것이다. 이 상황에서, 유도 자기장  $B_2$ 는 공진기(302)의 제1 부분(302-1)과 상호작용하여 전압  $V_A$ 를 유도한다. 이와 동시에, 유도 자기장  $B_2$ 는 공진기(302)의 제2 부분(302-2)과 상호작용하여, 렌츠의 법칙(오른손 법칙이라고도 함)에 따라  $V_A$ 와 크기는 같지만 극성이 반대인 전압  $V_B$ 를 유도한다. 이러한 방식으로, 제1 공진기(302)에 유도된 임의의 전압  $V_A$  및  $V_B$ 는 서로를 효과적으로 상쇄시키고, 그 결과 제1 공진기(302)에 순 유도 전압이 없고, 이는 모든 배향각  $\theta$ 에 대해 약 0인 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff}$ 를 시뮬레이트한다.
- [0089] 도 5a는 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)가 십자 모양의 배열로 수직으로 배치되어 있는 무선 전원 공급 장치(500)의 형태로 되어 있는 배향 독립적 무선 전원 공급 장치(400)의 다른 실시예를 나타낸 것이다. 이 구성에서, 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304) 둘 다의 중간점은 서로 일치하고 Z 방향으로 거리 "r"만큼 변위되어 있다. 이러한 방식으로, 제1 공진기(302)에 의해 발생된 자기장의 자력선은 제2 공진기(304)와  $90^\circ$ 도로 교차하고, 그 결과 제2 공진기(304)에 대한 자속  $\Phi_{304}$ 는 약 0이다. 도 4a와 관련하여 앞서 기술한 상황에서와 같이, 발생된 순 EMF는 0이고, 그 결과 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff} \approx 0$ 이 된다. 도 5b는 제1 공진기(302)에 대한 제2 공진기(304)의 동등한 상황을 나타낸 것이다. 이러한 방식으로, 제1 공진기(302)에 대해 제2 공진기에 의해 발생하는 자기장  $B_2$ 의 대칭성으로 인해, 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff} \approx 0$ 이 된다. 도 5c는 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff} \approx 0$ 을 유지하는, 실질적으로 동일한 부분들(각각, 302a, 302b 및 304a, 304b)으로 나누어져 있는 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)의 부가의 구성을 나타낸 것이다. 도 5d는 공진기들(302 또는 304) 중 어느 한쪽 또는 다른쪽에 실질적으로 동일한 부분들로 나누어져 있는 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)의 부가의 구성을 나타낸 것이다. 예를 들어, 도시된 바와 같이, 제2 공진기(304)는 실질적으로 동일한 부분들(각각, 304a 및 304b)로 나누어지고, 제1 공진기(302)에 대해 유효 자기 결합 계수  $\kappa_{eff} \approx 0$ 을 유지하는 방식으로 배열되어 있을 수 있다. 도 5e 및 도 5f는 기술된 실시예들에 따른, 다양한 구성의 제1 공진기(302) 및 제2 공진기(304)를 가지는 컴퓨터 마우스(500)의 형태로 되어 있는 대표적인 주변 장치를 나타낸 것이다.
- [0090] 그렇지만, 2개 이상의 공진 수신기를 가지는 자기 공진 전원 유닛의 경우, 수신기들에 대해 자기 결합 계수  $\kappa_{eff} \approx 0$ 이도록 보장하는 것은 그들의 전력을 추가적으로 결합시킬 수 있는 첫번째 단계에 불과하다. 상세하게는, 각각의 수신기에 부착되어 있는 공진 회로는 다른 수신기의 공진 회로로부터 절연되어 있을 필요가 있음은 물론 부하 장치에 대한 부하 공유 의무를 제공할 필요가 있다. 도 6a는 기술된 실시예들에 따른, 복수의 공진 수신

기로부터 전력을 전송하는 데 사용될 수 있는 결합 회로(600)의 특성의 실시예의 기능 블록도이다. 보다 구체적으로는, 각각의 수신기(302 및 304)는 결합 회로(600)의 대응하는 분기에 독립적으로 결합될 수 있다. 예를 들어, 수신기(302)는 장치(604)와 수신기(302) 사이의 임피던스를 정합시키도록 구성되어 있는 적어도 임피던스 정합 네트워크(602)를 포함할 수 있는 제1 분기(600-1)에 결합될 수 있다. 정류 회로(606)는 수신기(302)로부터의 변하는 신호[AC 신호(608) 등]를 DC 신호(610)로 변환하는 데 사용될 수 있고, 이 DC 신호는 이어서 OR 회로(612)에 입력으로서 제공될 수 있다. 마찬가지로, 수신기(304)는 임피던스 정합 네트워크(616), 및 DC 신호(620)를 출력하는 정류 회로(618)를 포함할 수 있는 분기(600-2)에 전기적으로 결합될 수 있고, 이 DC 신호는 차례로 OR 회로(612)에 입력으로서 제공될 수 있다. 기술된 실시예에서, OR 회로(612)는 전력 P가 장치(604)에 비교적 연속적으로 제공되도록 부하 밸런스(load balance)로서 기능할 수 있다. 환언하면, 수신기(302)가 수신기(304)보다 더 많은 전력을 자기장  $B_{NFMR}$ 으로부터 수신하면, OR 회로(612)는 수신기(302)가 수신기(304)보다 더 많은 전력을 장치(604)에 제공할 수 있게 해줄 것이고, 그 반대로 마찬가지이다.

[0091] 도 6b는 다이오드(622 및 624)로 형성되어 있는 OR 회로(612)의 특성의 구현예를 나타낸 것이다. 한편, 도 6c는, 각각, 정류된 DC 전압(608 및 620)의 형태로 되어 있는 분기(600-1 및 600-2)로부터 수신된 에너지를 일시적으로 저장하도록 구성되어 있는 에너지 저장 요소(626 및 628)를 포함하는 OR 회로(612)의 또 다른 구현예를 나타낸 것이다. 일 실시예에서, 에너지 저장 요소(626 및 628)는 커패시터(626 및 628)의 형태를 취할 수 있다. 부하 분산 스위치(load balancing switches)(630 및 632)는 공진기(302)와 공진기(304) 사이의 적절한 부하 분산을 보장하여 장치(604)에 일정한 전력을 제공하기 위해 사용될 수 있다.

[0092] 도 7은 공진 수신기(302 및 304)의 전력 공유 회로(600)의 모델(700)을 나타낸 것이다. 보다 구체적으로는, 각각의 수신기(302 및 304)는 인덕터(L702) 및 직렬 저항기(R704)로서 모델링될 수 있다. 임피던스 정합 네트워크는 수신기 부하  $R_R$ 을 장치 부하  $R_L$ 과 정합시키도록 구성되어 있는 커패시터 C1 및 C2로서 모델링될 수 있다. 송신기(302 및 304)로부터의 AC 신호를 장치(606)에 의해 사용될 DC 신호로 변환하기 위해 풀 브리지 정류기(full bridge rectifier)(706)가 사용될 수 있다.

[0093] 도 8은 기술된 실시예에 따른, 다수의 독립적 공진 수신기(802-1, 802-2, ..., 802-n)를 가지는 다중 주파수 공진 전원 유닛(800)을 나타낸 것이다. 기술된 실시예에서, 독립적 공진 수신기(802-1, 802-2, ..., 802-n) 각각은 상이한 주파수 대역에서 가장 효과적으로 동작하도록 구성되어 있을 수 있다. 이 구성은, 예를 들어, 상이한 국가들이 전력을 무선으로 제공하기 위해 사용하기 위한 제한된 수의 주파수 대역을 남겨 두고 있는 지역 규제에 의해 특정의 주파수 대역의 사용을 제한할 수 있는 상황에서 유용할 수 있다. 그에 따라, 다중 수신기 전원 유닛(800)은 각각이 특정의 주파수 대역에서 가장 효과적으로 NFMR 자기장으로부터 전력을 수신하도록 구성되어 있는 다수의 수신 공진기를 포함하도록 구성되어 있을 수 있다. 예를 들어, 공진 수신기(802-1)는 주파수  $\omega_1$ 에 집중되어 있는 NFMR 자기장으로부터 가장 효과적으로 전력을 수신하도록 구성되어 있을 수 있다. 다른 한편으로, 공진 수신기(802-2)는 주파수  $\omega_2$ 에 집중되어 있는 NFMR 자기장으로부터 가장 효과적으로 전력을 수신하도록 구성되어 있을 수 있다. 어쨌든, 전력 결합기 유닛(804)은 사용가능 전력이 주파수  $\omega_1$  및 주파수  $\omega_2$ 에서 수신되고 있는 상황에서 수신기들의 전력을 결합시키는 데 사용될 수 있다.

[0094] 그렇지만, 주파수  $\omega_1$  또는 주파수  $\omega_2$  중 어느 하나에서 NFMR 자기장으로부터 전력이 수신되는 상황에서, 결합기 유닛(804)은 어느 공진 수신기[공진 수신기(802-1) 또는 공진 수신기(802-2)]가 동작하는지 또는 임계값보다 큰 양의 전력을 적어도 수신하고 있는지를 선택하기 위해 사용될 수 있다. 이 상황에서, 결합기 유닛(804)은 공진 수신기(802-1 및 802-2)에 수신되는 전력의 양을 감지할 수 있고, 비교에 기초하여, 결합기 유닛(804)은 회로에 전력을 제공할 적절한 공진 전력 수신기를 선택할 수 있다. 일 실시예에서, (예를 들어, 수신된 실제(real) 전력의 양에 기초하여) NFMR 자기장과 상호작용에서 가장 효과적인 것으로 생각되는 공진 수신기가 선택될 수 있다. NFMR 자기장과 상호작용의 유효성은 한쪽 또는 다른쪽 공진 수신기에서의 유도 자속의 양에 기초할 수 있다. 유의할 점은, 감지 및 선택이 실시간으로 진행되고 수행될 수 있다는 것이다. 이러한 방식으로, 다수의 공진 수신기가 서로 물리적으로 아주 근접하여 위치될 수 있고, 그 결과 유효 자기 결합 계수  $k_{eff} > 0$ 이 얻어진다.

[0095] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른, 결합기 유닛(804)에 의해 수행되는 프로세스(900)를 상세히 설명하는 플로우 차트를 나타낸 것이다. 프로세스(900)는, 902에서, 결합기 유닛이, 각각이 서로 상이한 지정된 공진 주파수에서 NFMR 자기장으로부터 전력을 수신하도록 구성되어 있는, 적어도 2개의 공진 전력 수신기로부터 수신된 전력을 감지하는 것으로 시작할 수 있다. 904에서, 결합기 유닛은 감지된 공진 전력 수신기 중 어느 것이 가장 많

은 전력을 제공하고 있는지를 식별한다. 906에서, 결합기 유닛은 식별된 공진 전력 수신기로부터의 전력을 제공한다.

[0096] 도 10은 기술된 실시예들에 따른, 컴퓨터 키보드(1000)의 형태로 되어 있는 대표적인 주변 장치를 나타낸 것이다. 컴퓨터 마우스(1000)는 적어도 제1 소형 인수 무선 전원 유닛(1002) 및 제2 소형 인수 무선 전원 유닛(1004) - 각각은 자기장 B로부터 무선으로 전력을 수신할 수 있음 - 을 포함할 수 있다. 기술된 실시예에서, 자기장 B는, 예를 들어, 데스크톱 컴퓨터 등의 컴퓨팅 장치(1008)에 포함되어 있는 자기 송신기 유닛(1006)에 의해 제공될 수 있다. 대부분의 예측가능한 동작 시나리오 동안, 키보드(1000)는 데스크톱 컴퓨터(1008)에 대해 전방으로 향해 있는 구성으로 배치될 것이다. 이러한 방식으로, 소형 인수 무선 전원 유닛(1002 및 1004)을 자기적으로 분리시킬 필요가 없고, 그에 따라, 키보드(1000)를 동작시키는 데 사용될 수 있는 둘 다가 동시에 전력을 제공할 수 있다. 소형 인수 무선 전원 유닛(1002 및 1004)이 표준 AAA 배터리와 유사한 크기로 되어 있을 수 있기 때문에, 소형 인수 무선 전원 유닛(1002 및 1004)(또는 필요한 경우, 단지 하나)은, 도 11에 도시된 바와 같이, 키보드(1000)의 배터리 격납부(1010)에 수용될 수 있다. 이러한 방식으로, 소형 인수 무선 전원 공급 장치(1002 및 1004)는 표준 AAA 배터리와 유사한 종래의 배터리를 시스템적으로 대체하는 데 사용될 수 있다. 그렇지만, 유의할 점은, 소형 인수 무선 전원 유닛(1002 및 1004)이 임의의 크기 및 형상일 수 있기 때문에, 임의의 크기 또는 구성의 임의의 배터리가 소형 인수 전원 유닛(1002 및 1004)으로 대체될 수 있는 것이 생각되고 있다는 점이다.

[0097] 도 12는 기술된 실시예들에 따른 대표적인 가상 충전 구역(1100)을 나타낸 것이다. 가상 충전 구역(1100)은 영역 R 내에 위치해 있는 적합하게 구성된 장치에 대한 영역 R을 제공한다. NFMR 전원 공급 장치는 데스크톱 컴퓨터 등의 중앙 유닛에 위치될 수 있다. 이러한 방식으로, 데스크톱 컴퓨터는 NFMR 전원 공급 장치에 컴퓨팅 자원을 제공할 수 있다. 유의할 점은, 근거리장 자기 공진(NFMR) 전원 공급 장치는 전력을 전송하기 위해 싱크(sink)와 전원의 공진들 사이에 형성되는 공진 채널을 통한 근거리장 자기 결합에 의존하는 고 Q(high Q) 회로를 포함할 수 있다는 점이다. NFMR 전원 공급 장치는, 예를 들어, 데스크톱 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터 등에 포함되어 있는 것과 같은 독립형 유닛일 수 있다. 다른 실시예들에서, NFMR 전원 공급 장치는 데스크톱 컴퓨터 등의 레거시 장치에 연결될 수 있는, 동글(dongle)과 같은 휴대형 유닛의 형태를 취할 수 있고, 그에 의해 장치들을 개조(retrofit)할 수 있다. 또 다른 실시예들에서, NFMR 전원을 둘러싸는 데 사용되는 하우징 또는 하우징의 일부는 NFMR 전원 공급 장치의 유효 범위를 확장시키는 역할을 할 수 있다.

[0098] 도 12에 도시된 바와 같이, 가상 충전 구역(1100)은 NFMR 전원 공급 장치를 포함할 수 있는 중앙 유닛(1102)(데스크톱 컴퓨터), 키보드(1104), 마우스(1106), 및 휴대용 미디어 플레이어(1108)를 포함하고 있다. 일 실시예에서, 키보드(1104)는 (영역 R 내에 위치해 있을 때), 마우스(1106) 및 휴대용 미디어 플레이어(1108)와 같이, 데스크톱 컴퓨터(1102)에 포함되어 있는 NFMR 전원 공급 장치로부터 직접 전력을 수신하도록 구성되어 있을 수 있다.

[0099] 일부 경우에, 데스크톱 컴퓨터(1102)가 마우스(1108)에 직접 전력을 공급하는 능력이, 예를 들어, 임의의 수의 인자들로 인해 감소될 수 있다. 이러한 인자들은, 예를 들어, NFMR 전원 공급 장치로부터의 전력을 필요로 하는 다른 장치들을 영역 R에 추가하는 것, NFMR과 마우스(1106) 사이에 형성된 직접 전력 채널을 방해하는 장애물 등을 포함할 수 있다. 이 경우에, 키보드(1104)는, NFMR 전원 공급 장치로부터 키보드(1104)로 전달되는 전력의 일부분이 키보드(1104) 내의 재공진기(re-resonator) 전송 유닛(도시 생략)을 통해 계속 전달될 수 있도록, 재공진기로서 역할할 수 있다. 이러한 방식으로, 마우스(1106)가 경험하는 임의의 전력 손실이 키보드(1104)로부터 수신된 전력에 의해 개선될 수 있다. 이 구성은 일시적일 수 있거나, 마우스(1106)가 NFMR 전원 공급 장치로부터 직접 적절한 전력을 수신할 수 없는 한, 계속될 수 있다. 다른 경우에, 휴대용 미디어 플레이어(1108)를 영역 R 내에 위치시키는 것은 키보드(1104) 및 마우스(1106)가 이용가능한 전력의 양을 감소시킬 수 있다. 이 경우에, 키보드(1106) 내의 배터리가 완전히 충전되어 있는 경우(또는 부가의 충전이 필요하지 않은 경우), 키보드(1106)는 충전 회로를 분리시키면서 마우스(1106)에 전력을 제공하는 재공진기 회로를 여전히 유지할 수 있다.

[0100] 어떤 실시예들에서, 동글(dongle)(1110)이 (예를 들어, USB 포트 또는 케이블을 통해) 데스크톱 컴퓨터(1102)에 연결되어 있을 수 있다. 그렇게 연결된 경우, 동글(1110)은 또한 NFMR 전원 공급 장치에 대한 범위 확장기로서 역할할 수 있다. 이러한 방식으로, 동글(1110)은 데스크톱 컴퓨터(1102)에 포함되어 있는 NFMR 전원 공급 장치에 의해 전력이 제공될 수 있는 범위를 확장시킬 수 있다. 어떤 경우에, 동글(1110)은 NFMR 전원 공급 장치로부터 이미 수신된 전력을 재공진시킬 수 있는 반면, 다른 경우에, 동글(1110)은 그 자신의 NFMR 전원 공급 장치를 포함할 수 있다. 그 자신의 NFMR 전원 공급 장치를 가짐으로써, 동글(1110)은, 데스크톱(1102)에 포함되어

있는 NFMR 전원 공급 장치에 의해 제공되는 전력과 별도로, 부가의 전력을 무선으로 가상 충전 영역(1100) 내의 장치들에 제공할 수 있다. 유의할 점은, 어떤 실시예들에서, 데스크톱 컴퓨터(1102)의 하우징(또는 그의 일부)이 NFMR 전원 공급 장치의 일부인 공진기로서 사용될 수 있다는 것이다.

[0101] 도 13은 기술된 실시예들에 따른 컴퓨팅 시스템(1200)의 블록도이다. 컴퓨팅 시스템(1200)은 컴퓨팅 시스템(1200)의 전체 동작을 제어하는 마이크로프로세서 또는 제어기에 관련되어 있는 프로세서(1202)를 포함하고 있다. 컴퓨팅 시스템(1200)은 미디어 아이템에 관한 데이터를, 예를 들어, 파일 시스템(1204) 및 캐시(1206)에 저장한다. 파일 시스템(1204)은 통상적으로 저장 디스크 또는 복수의 디스크이다. 파일 시스템은 통상적으로 컴퓨팅 시스템(1200)에 대용량 저장 능력을 제공한다. 그렇지만, 파일 시스템(1204)에 대한 액세스 시간이 비교적 느리기 때문에, 컴퓨팅 시스템(1200)은 또한 캐시(1206)를 포함하고 있다. 캐시(1206)는, 예를 들어, 반도체 메모리에 의해 제공되는 랜덤 액세스 메모리(RAM)이다. 캐시(1206)에 대한 상대 액세스 시간은 파일 시스템(1204)에 대한 것보다 실질적으로 더 짧다. 그렇지만, 캐시(1206)는 파일 시스템(1204)의 큰 저장 용량을 갖지 않는다. 게다가, 파일 시스템(1204)은, 활성일 때, 캐시(1206)보다 더 많은 전력을 소모한다. 컴퓨팅 시스템(1200)이 배터리(도시 생략)에 의해 전력을 공급받는 휴대용 미디어 플레이어일 때 전력 소모가 특히 중요하다.

[0102] 컴퓨팅 시스템(1200)은 또한 컴퓨팅 시스템(1200)의 사용자가 컴퓨팅 시스템(1200)과 상호작용할 수 있게 해주는 사용자 입력 장치(1208)를 포함하고 있다. 예를 들어, 사용자 입력 장치(1208)는 버튼, 키패드, 다이얼 등과 같은 각종의 형태를 취할 수 있다. 게다가, 컴퓨팅 시스템(1200)은 적어도 파일 시스템(1204), 캐시(1206), 프로세서(1202) 및 코덱(1212) 사이의 데이터 전송을 용이하게 해줄 수 있는 데이터 버스(1210)를 포함하고 있다.

[0103] 일 실시예에서, 컴퓨팅 시스템(1200)은 복수의 미디어 아이템(예컨대, 노래)을 파일 시스템(1204)에 저장하는 역할을 한다. 사용자가 미디어 플레이어로 하여금 특정의 미디어 아이템을 재생시키고자 할 때, 이용가능한 미디어 아이템들의 목록이 디스플레이(1210) 상에 디스플레이된다. 이어서, 사용자 입력 장치(1208)를 사용하여, 사용자는 이용가능한 미디어 아이템들 중 하나를 선택할 수 있다. 프로세서(1202)는, 특정의 미디어 아이템의 선택을 수신할 때, 특정의 미디어 아이템에 대한 미디어 데이터(예컨대, 오디오 파일)를 코더/디코더(코덱)(1212)에 제공한다. 코덱(1212)은 이어서 외부 회로로 출력하기 위해 오디오 잭(1214)에 대한 오디오 출력 신호를 생성한다. 예를 들어, 컴퓨팅 시스템(1200)에 연결되어 있는 헤드폰 또는 이어폰은 외부 회로의 한 예로 간주될 수 있다. 다른 실시예에서, 컴퓨터 프로그램 명령어들을 포함하는 컴퓨터 판독가능 매체가 제공된다.

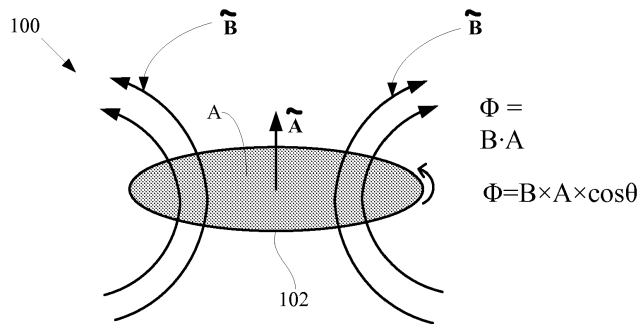
[0104] 기술된 실시예의 다양한 측면, 실시예, 구현예 또는 특징이 개별적으로 또는 임의의 조합으로 사용될 수 있다. 기술된 실시예의 다양한 측면이 소프트웨어, 하드웨어 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합에 의해 구현될 수 있다. 기술된 실시예는 또한 제조 동작을 제어하는 컴퓨터 판독가능 매체 상의 컴퓨터 판독가능 코드로서 또는 제조 라인을 제어하는 컴퓨터 판독가능 매체 상의 컴퓨터 판독가능 코드로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 매체는 그 후에 컴퓨터 시스템에 의해 판독될 수 있는 데이터를 저장할 수 있는 임의의 데이터 저장 장치이다. 컴퓨터 판독가능 매체의 예는 판독 전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, CD-ROM, DVD, 자기 테이프, 및 광 데이터 저장 장치를 포함한다. 컴퓨터 판독가능 매체는 또한, 컴퓨터 판독가능 코드가 분산 방식으로 저장 및 실행되도록, 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템들을 거쳐 배포될 수 있다.

[0105] 이상의 설명은, 설명의 목적을 위해, 기술된 실시예의 완전한 이해를 제공하기 위해 특정의 용어(nomenclature)를 사용하였다. 그렇지만, 기술 분야의 당업자에게는 본 발명을 실시하는 데 구체적인 상세가 필요하지 않다는 것이 명백할 것이다. 따라서, 특정의 실시예들에 대한 이상의 설명은 예시 및 설명의 목적을 위해 제시되어 있다. 이들 설명은 총망라한 것이 아니며 또한 본 발명을 개시된 정확한 형태로 제한하기 위한 것도 아니다. 기술 분야의 당업자에게는 상기 개시 내용을 바탕으로 많은 수정 및 변형이 가능하다는 것이 명백할 것이다.

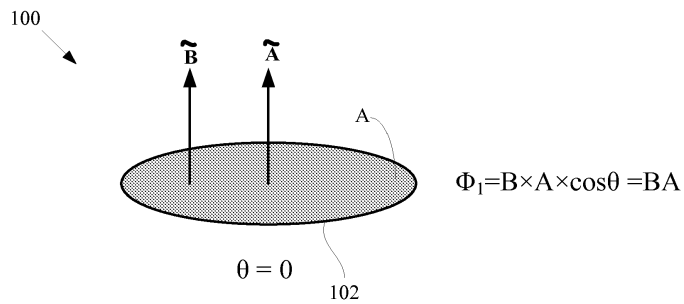


도면

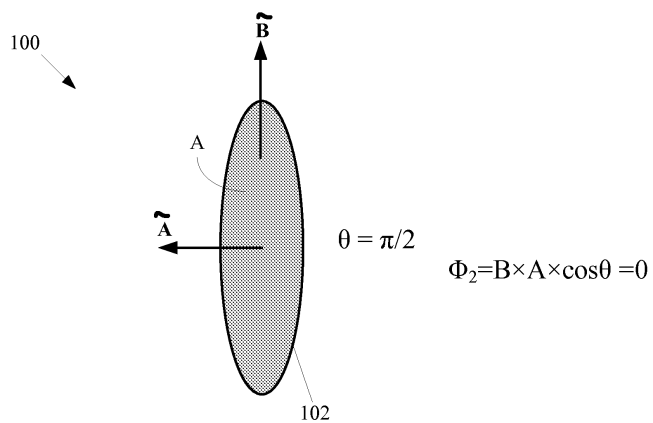
도면1a



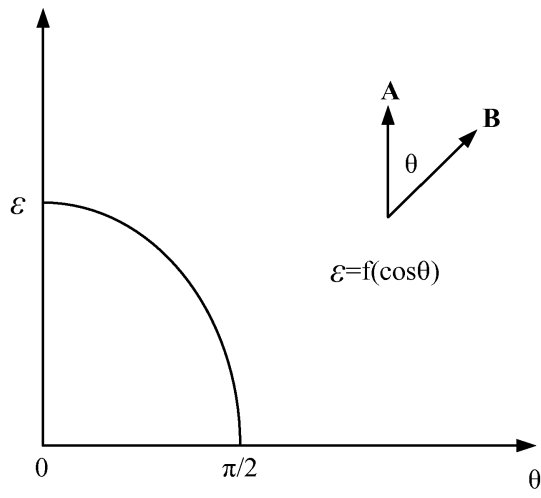
도면1b



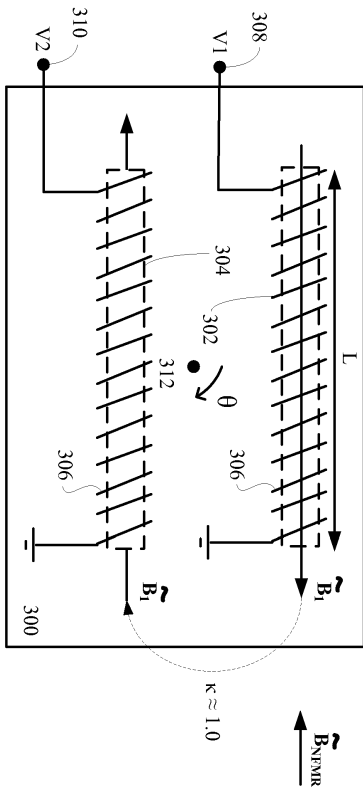
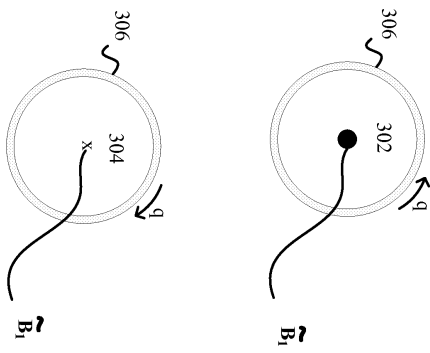
도면1c



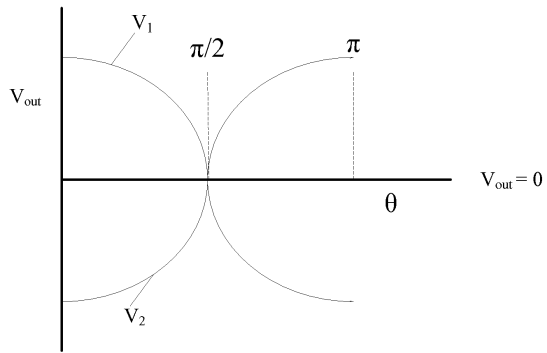
도면2



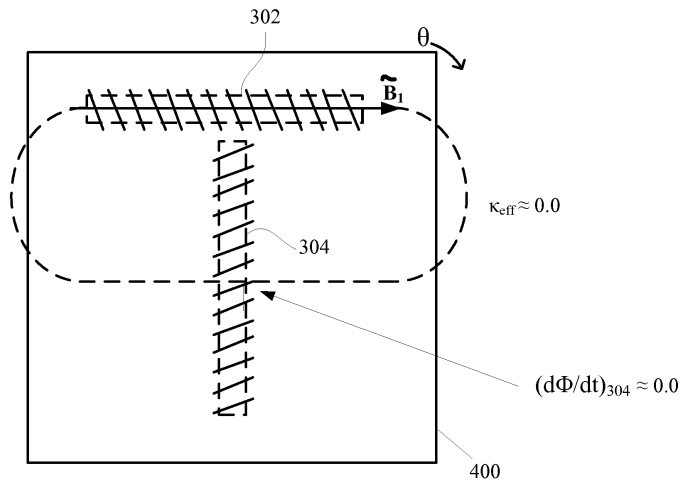
도면3a



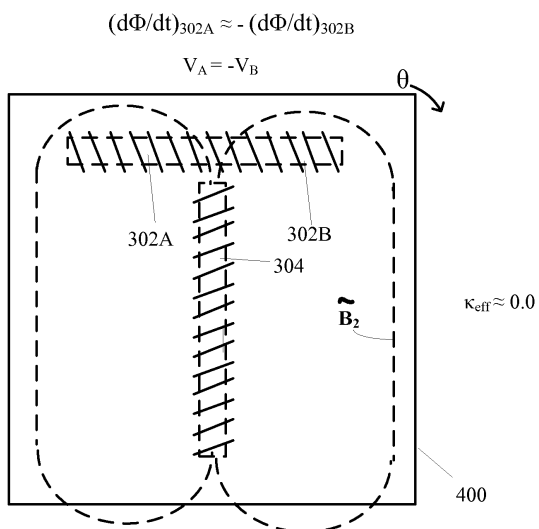
도면3b



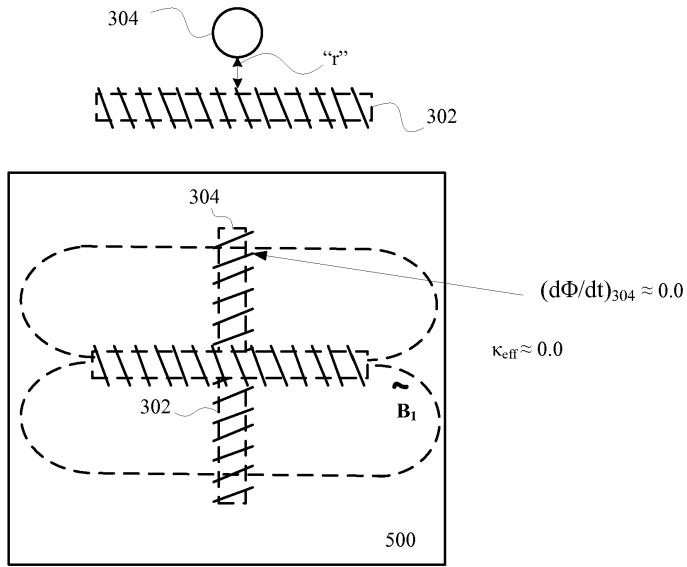
도면4a



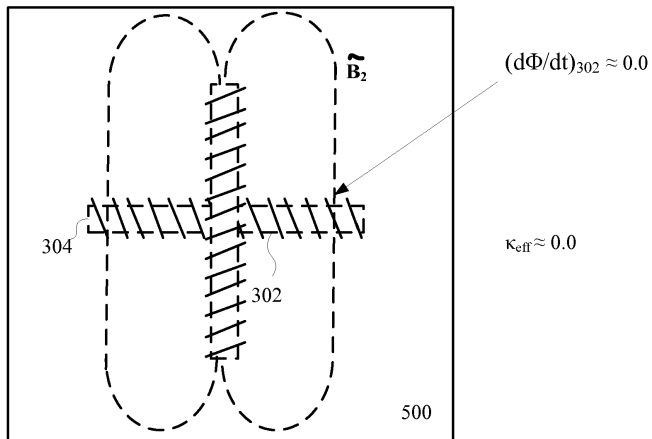
도면4b



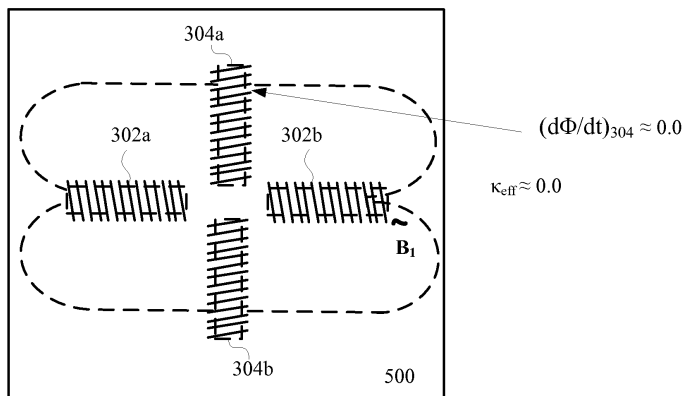
도면5a



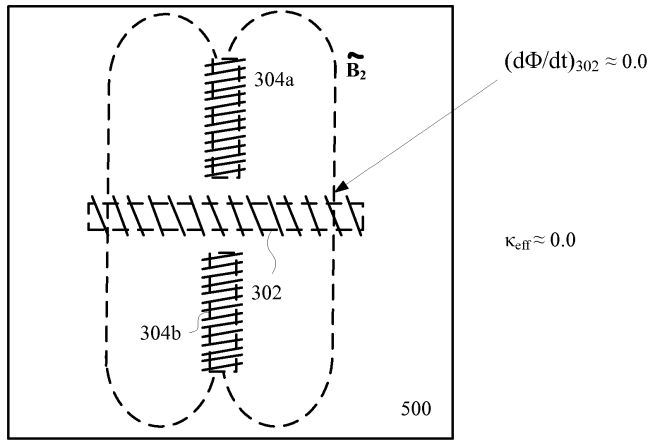
도면5b



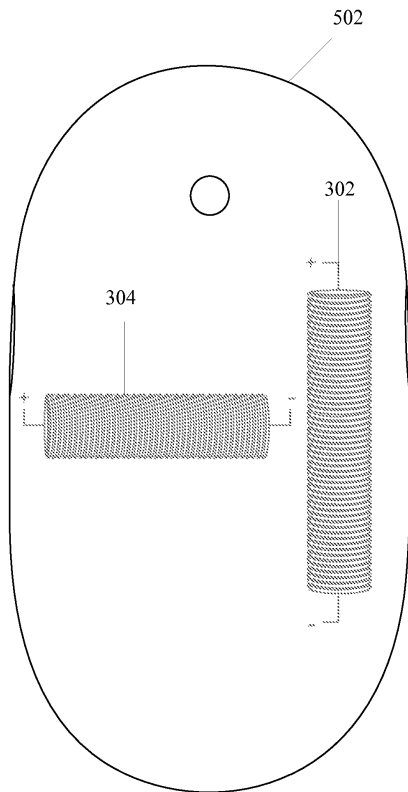
도면5c



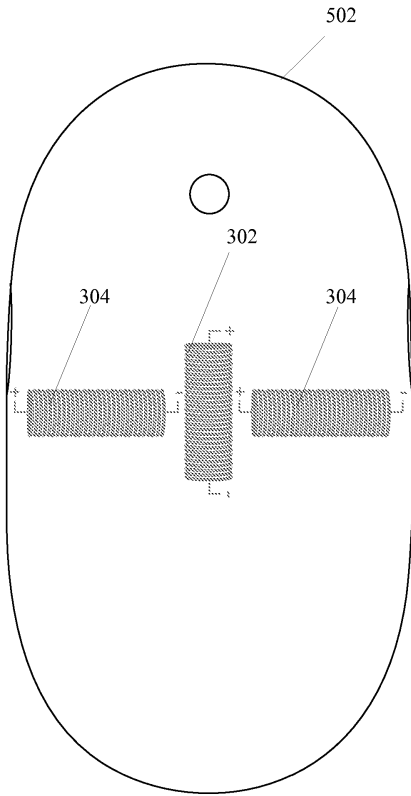
도면5d



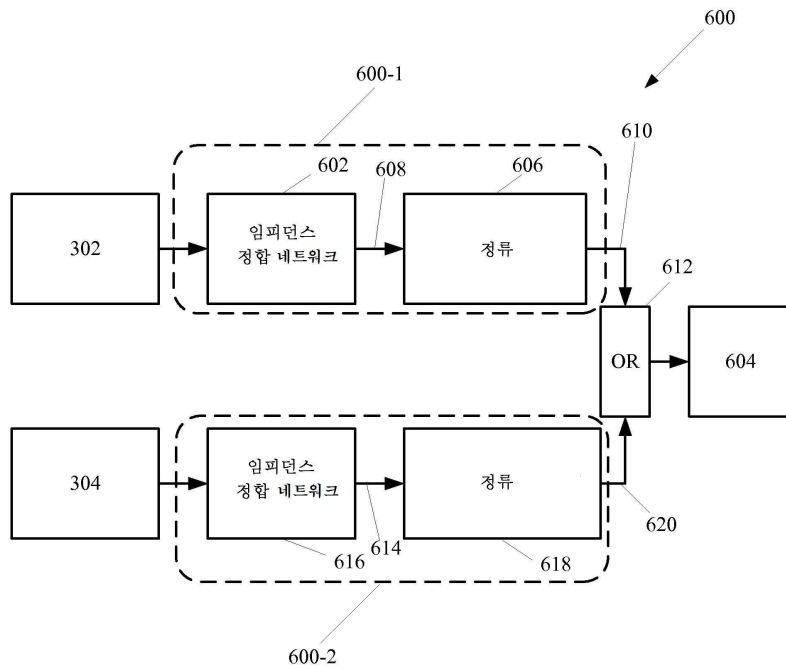
도면5e



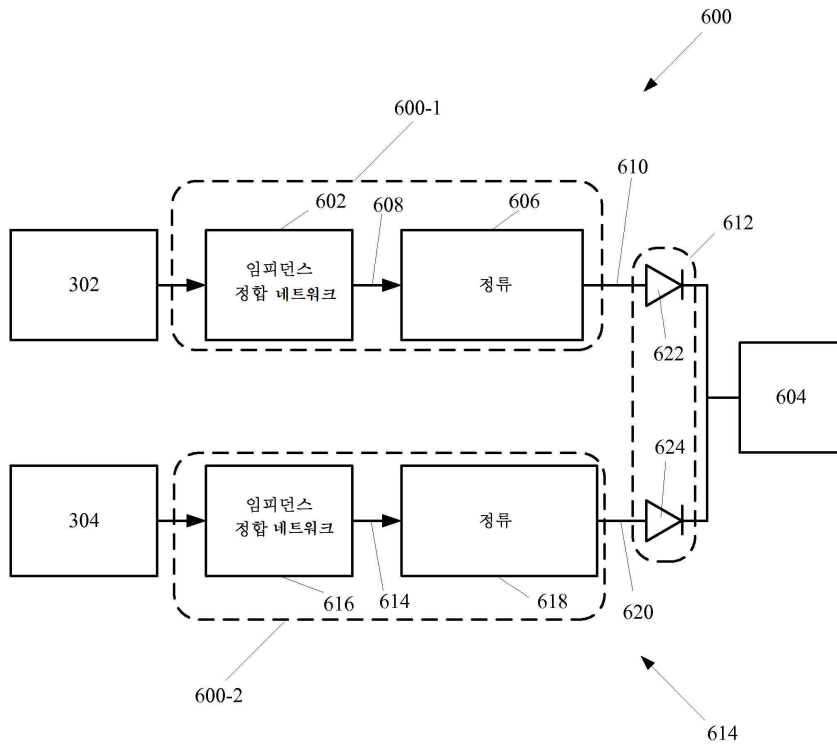
도면5f



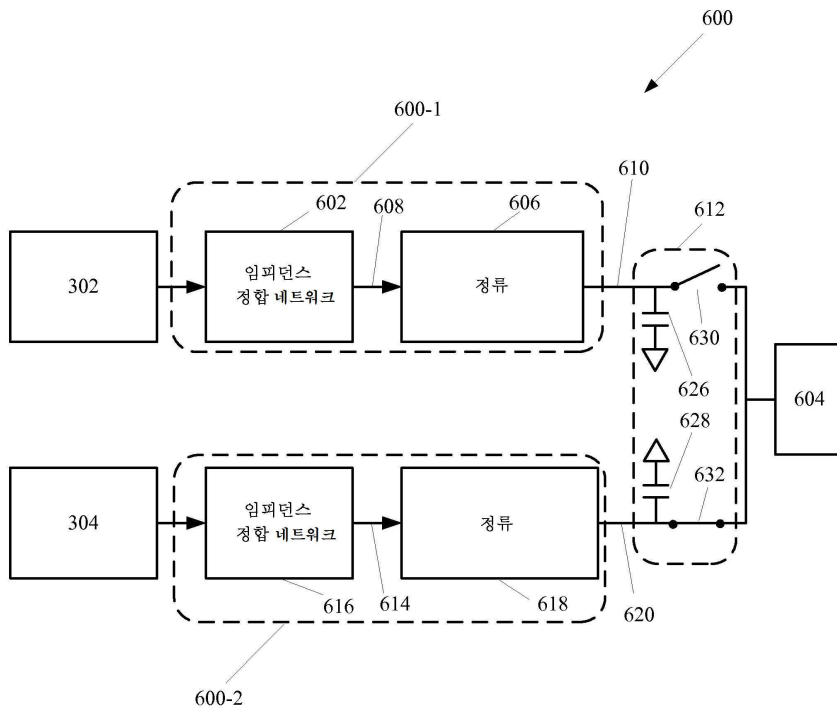
도면6a



도면6b

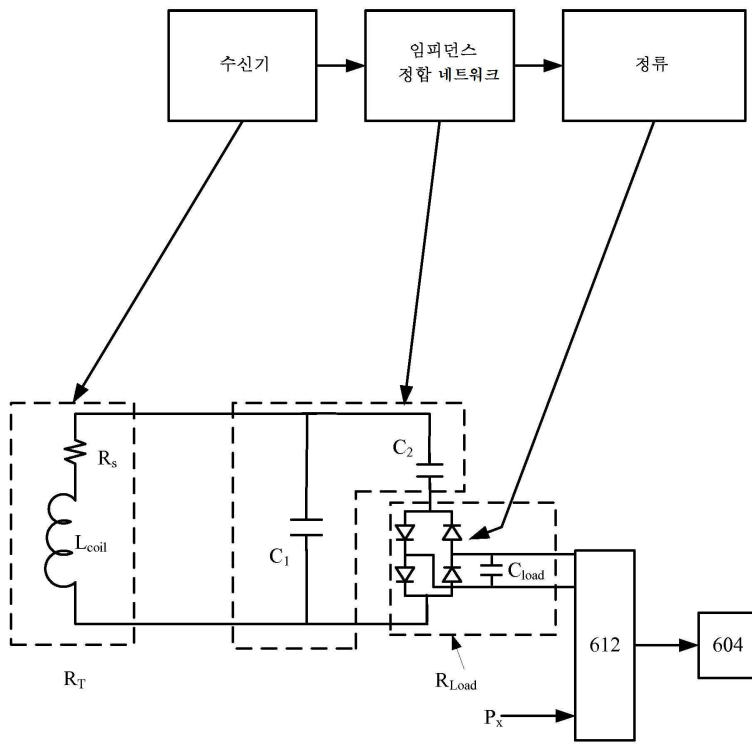


도면6c

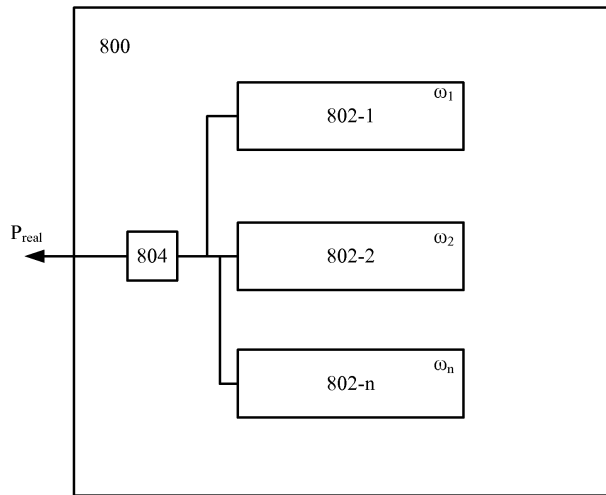




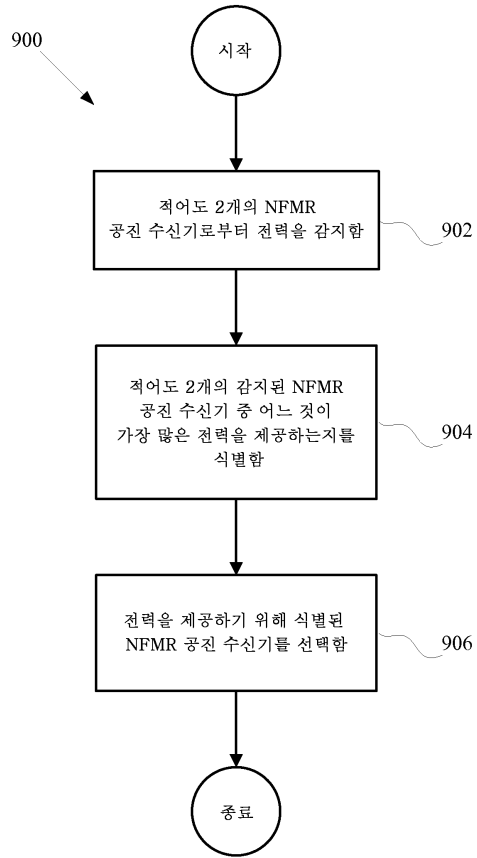
도면7



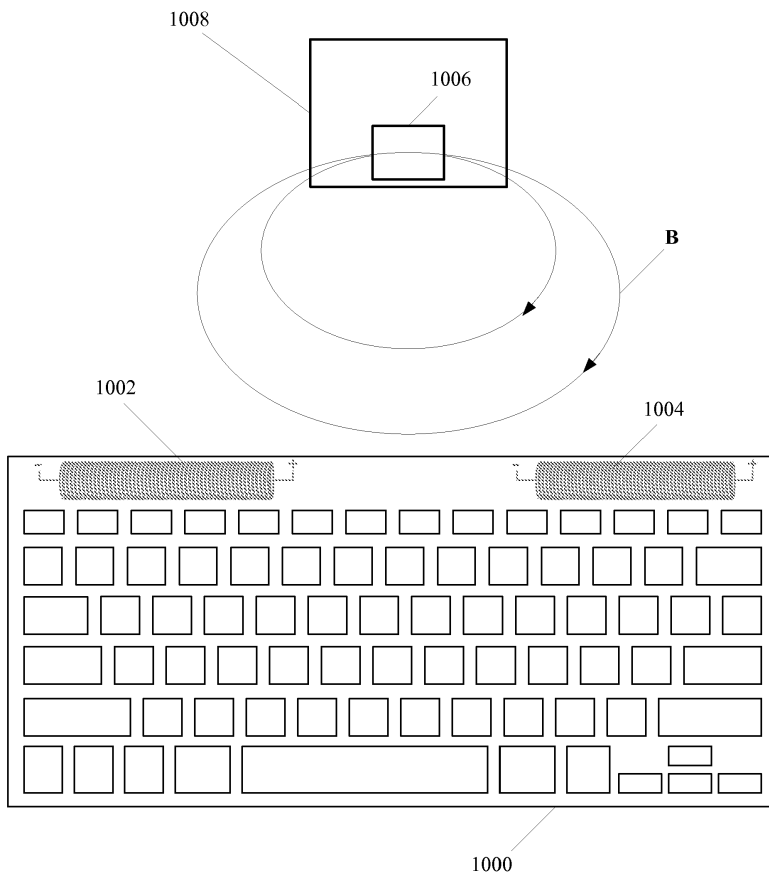
도면8



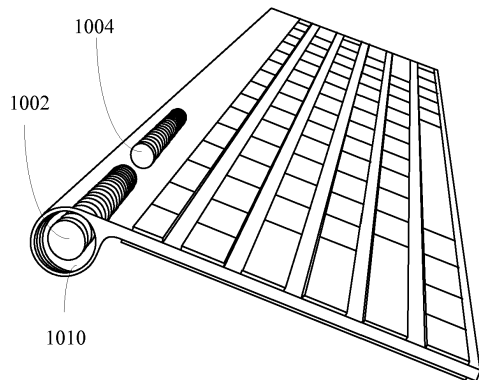
도면9



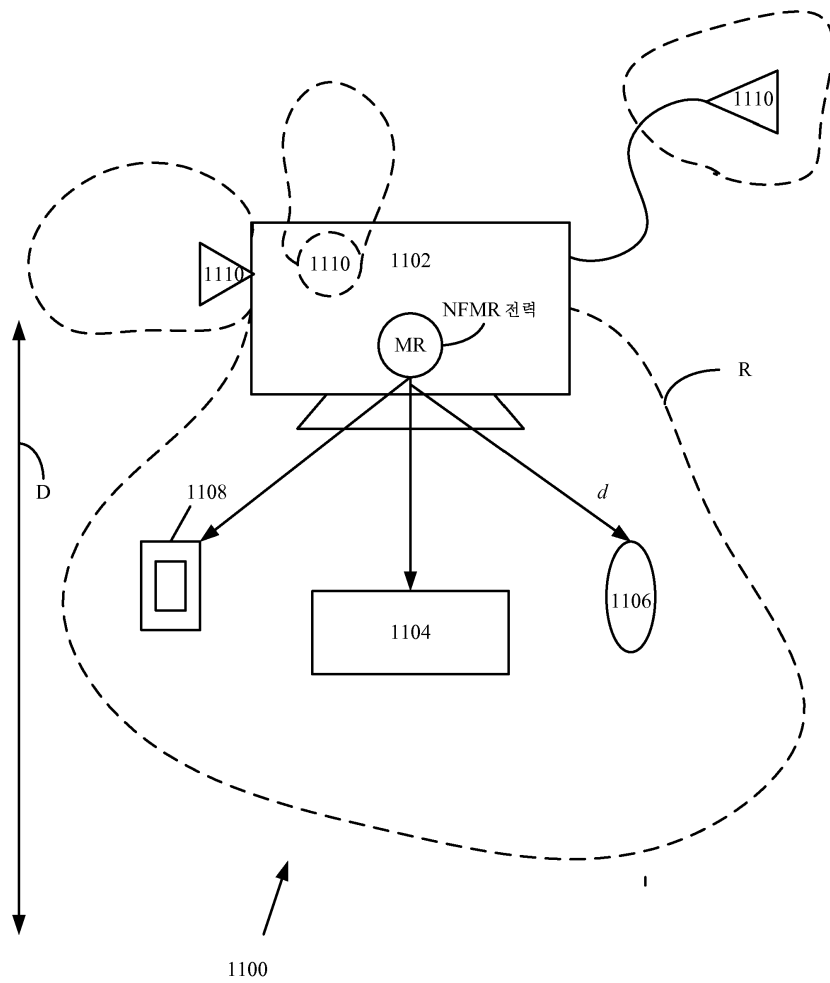
도면10



도면11



도면12



도면13

