



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0056538
(43) 공개일자 2017년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 50/20 (2016.01) H04B 3/52 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 50/20 (2016.02)
H04B 3/52 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7006622
(22) 출원일자(국제) 2015년09월10일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2017년03월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/049523
(87) 국제공개번호 WO 2016/040700
국제공개일자 2016년03월17일
(30) 우선권주장
62/049,232 2014년09월11일 미국(US)
14/849,246 2015년09월09일 미국(US)

(71) 출원인
씨피지 테크놀로지스, 엘엘씨.
미국 75154 텍사스주 레드 오크 스위트 씨 202엔
아이-35
(72) 발명자
코럼, 제임스, 에프.
미국 44065 오하이오주 뉴베리 페어마운트 로드
10142
코럼, 케니스, 엘.
미국 44065 오하이오주 뉴베리 페어마운트 로드
10142
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 김연송, 백만기

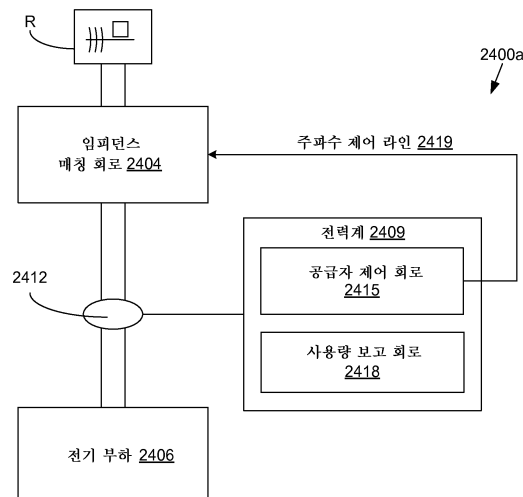
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 무선 전력 공급자들을 위한 주파수 분할 다중화

(57) 요약

유도 표면 도파 프로브를 사용하여 전력을 송신하는 무선 전력 공급자를 위한 주파수 분할 다중화의 다양한 실시예들이 개시된다. 유도 표면 도파 프로브는 잠재적으로 중첩되는 서비스 영역을 이용하여 다수의 주파수 상에서 전력을 송신할 수 있다. 주파수 가변 무선 전력 수신기는 하나 이상의 주파수로 튜닝될 수 있다. 비용, 가용성 및/또는 다른 정보가 무선 전력 수신기에 제공될 수 있다. 전력 사용량은 무선 전력 수신기에 의해 전력 공급자에게 보고될 수 있다.

대표도 - 도22



(72) 발명자

핀존, 바질, 에프.

미국 44065 오하이오주 뉴베리 페어마운트 로드
10142

드오렐리오, 마이클, 제이.

미국 44065 오하이오주 뉴베리 페어마운트 로드
10142

명세서

청구범위

청구항 1

장치로서,

지상 매체를 따라 진행하는 유도 표면과로부터 전기적 에너지를 획득하도록 구성된 유도 표면과 수신 구조;

상기 유도 표면과 수신 구조에 결합된 전기 부하 -상기 전기 부하는 상기 유도 표면을 생성하는 유도 표면 도파 프로브에 결합된 여기 소스에서 부하로서 기능함- ; 및

제어 회로 -상기 제어 회로는, 적어도

전기적 에너지가 전송되는 주파수를 결정하고;

주파수 상에서 전기적 에너지를 수신하기 위해 상기 전기 부하를 튜닝하도록 구성됨- 를 포함하는 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도 상기 주파수에서 상기 전기적 에너지에 대한 액세스 요청을 전력 공급자 시스템에 전송하도록 구성되는 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도 전력 공급자 시스템에 상기 장치의 고유 식별자를 보고하도록 구성되는 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도

전기적 에너지가 전송되는 복수의 주파수를 결정하고;

상기 복수의 주파수로부터 상기 주파수를 선택하도록 구성되는 장치.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도

전기적 에너지가 전송되는 제2 주파수를 결정하고;

상기 주파수 대신에 또는 상기 주파수에 추가하여 제2 주파수 상에서 전기적 에너지를 수신하기 위해 전기 부하를 재튜닝하도록 구성되는 장치.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도 상기 장치에 의해 수행되는 주파수 스캔에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 주파수를 결정하도록 구성되는 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도

상기 전기 부하에 의해 소비되는 전기적 에너지를 모니터링하고;

전력 사용량 메트릭을 전력 공급자 시스템에 보고하도록 구성되는 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 상기 유도 표면파에 대해 변조된 데이터를 수신할 수 있는 장치.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전기 부하를 변조함으로써 상기 유도 표면 도파 프로브에 데이터 신호를 전송하도록 구성된 부하 변조기를 더 포함하는 장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 네트워크를 통해 전력 공급자 시스템에 데이터를 전송하도록 구성되는 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도

상기 주파수를 통해 전력 소비와 연관된 비용을 표시하는 비용 데이터를 수신하고;

상기 주파수를 통해 상기 전기적 에너지의 가용성을 표시하는 가용성 데이터를 수신하도록 구성되고;

상기 주파수는 상기 비용 데이터 및 가용성 데이터에 적어도 부분적으로 기초하여 결정되는 장치.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어 회로는 또한 적어도

상기 장치의 현재 위치를 결정하고;

상기 유도 표면 도파 프로브의 위치 및 전기적 에너지를 송신하기 위해 상기 유도 표면 도파 프로브에 의해 사용되는 대응하는 주파수를 표시하는 데이터를 수신하도록 구성되고;

상기 주파수는 상기 장치의 현재 위치, 상기 유도 표면 도파 프로브의 위치, 및 상기 전기적 에너지를 송신하기 위해 상기 유도 표면 도파 프로브에 의해 사용되는 대응하는 주파수에 적어도 부분적으로 기초하여 결정되는 장치.

청구항 13

장치로서,

전기적 에너지를 제1 주파수 상에서 전송하도록 구성되는 제1 유도 표면 도파 프로브 -상기 제1 유도 표면 도파 프로브는 제1 서비스 영역을 가짐- ; 및

전기적 에너지를 제2 주파수 상에서 전송하도록 구성되는 제2 유도 표면 도파 프로브 -상기 제2 유도 표면 도파 프로브는 제2 서비스 영역을 가지고, 상기 제1 서비스 영역은 중첩 서비스 영역에서 상기 제2 서비스 영역과 중첩됨- 를 포함하는 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 중첩 서비스 영역에 위치한 무선 전력 수신 시스템을 더 포함하고, 상기 무선 전력 수신 시스템은 상기 제 1 유도 표면 도파 프로브에 의해 송신된 전기적 에너지 또는 상기 제2 유도 표면 도파 프로브에 의해 송신된 전기적 에너지를 선택적으로 수신할 수 있는 장치.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서,

상기 제1 서비스 영역은 상기 제 2 서비스 영역과 크기가 상이한 장치.

청구항 16

제13항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 유도 표면 도파 프로브 및 상기 제2 유도 표면 도파 프로브 각각은 손실성 전도 매체의 복소 브루스터 입사각($\theta_{i,B}$)에서 입사된 파면을 합성하는 적어도 하나의 결과적 필드를 생성하도록 구성되는 손실성 전도 매체 위로 상승된 각각의 충전 단자를 포함하는 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

각각의 충전 단자는 복수의 충전 단자 중 하나인 장치.

청구항 18

제13항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 충전 단자에 전기적으로 결합된 각각의 급전 네트워크를 더 포함하고, 상기 급전 네트워크는 상기 제1 유도 표면 도파 프로브 또는 상기 제2 유도 표면 도파 프로브 중 대응하는 하나의 근방의 손실성 전도 매체와 연관된 복소 브루스터 입사각($\theta_{i,B}$)과 연관된 파 경사 각도(Ψ)와 매칭되는 위상 지연(Φ)을 제공하는 장치.

청구항 19

방법으로서,

프로세서 및 메모리를 포함하는 컴퓨팅 디바이스를 통해, 무선 전력 수신기로부터 전기적 에너지를 소비하라는 요청을 수신하는 단계;

상기 컴퓨팅 디바이스를 통해, 복수의 전력 공급자들 중 특정 전력 공급자가 상기 요청을 서비스하기 위한 가용 용량을 가지고 있는지를 결정하는 단계; 및

상기 컴퓨팅 디바이스를 통해, 상기 특정 전력 공급자가 유도 표면 도파 프로브를 통해 전기적 에너지를 전송하는 대응하는 전력 전송 주파수로 튜닝하도록 상기 무선 전력 수신기에게 지시하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 컴퓨팅 디바이스를 통해, 상기 특정 전력 공급자와 연관된 전력 비용 정보를 상기 무선 전력 수신기에 전송하는 단계를 더 포함하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

관련 출원 교차 참조

본 출원은 2015년 9월 9일자로 출원된 "FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING FOR WIRELESS POWER PROVIDERS"라는 명칭의 공동 계류중인 미국 정특허 출원 제14/849,246호와 2014년 9월 11일자로 출원된 "FREQUENCY DIVISION

[0001]

[0002]

MULTIPLEXING FOR WIRELESS POWER PROVIDERS" 라는 명칭의 공동 계류중인 미국 가특허 출원 제62/049,232호에 대한 우선권을 주장하며, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다.

[0003] 본 출원은 발명의 명칭이 "Excitation and Use of Guided Surface Wave Modes on Lossy Media"인 동시계류중인 미국 정출원에 연관되어 있으며, 이 출원은 2013년 3월 7일자로 출원되고 출원 번호 제13/789,538호가 부여되어 있으며, 2014년 9월 11일자로 공개 번호 US2014/0252886 A1으로 공개되었고, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다. 본 출원은 또한 발명의 명칭이 "Excitation and Use of Guided Surface Wave Modes on Lossy Media"인 동시계류중인 미국 정출원에 연관되어 있으며, 이 출원은 2013년 3월 7일자로 출원되고 출원 번호 제13/789,525호가 부여되어 있으며, 2014년 9월 11일자로 공개 번호 US2014/0252865 A1으로 공개되었고, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다. 본 출원은 추가로 발명의 명칭이 "Excitation and Use of Guided Surface Wave Modes on Lossy Media"인 동시계류중인 미국 정출원에 연관되어 있으며, 이 출원은 2014년 9월 10일자로 출원되고 출원 번호 제14/483,089호가 부여되어 있으며, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다. 본 출원은 추가로 발명의 명칭이 "Excitation and Use of Guided Surface Waves"인 동시계류중인 미국 정출원에 연관되어 있으며, 이 출원은 2015년 6월 2일자로 출원되고 출원 번호 제14/728,507호가 부여되어 있으며, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다. 본 출원은 추가로 발명의 명칭이 "Excitation and Use of Guided Surface Waves"인 동시계류중인 미국 정출원에 연관되어 있으며, 이 출원은 2015년 6월 2일자로 출원되고 출원 번호 제14/728,492호가 부여되어 있으며, 이 출원은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다.

배경 기술

[0004] 한 세기 동안, 무선파(radio wave)에 의해 전송되는 신호는 종래의 안테나 구조를 사용하여 발진되는 방사 필드를 수반하여 왔다. 라디오 사이언스와는 대조적으로, 지난 세기의 전력 분배 시스템은 전기 전도체를 따라 유도되는 에너지의 전송을 수반하여 왔다. 라디오 주파수(RF)와 전력 전송 사이의 구분에 대한 이러한 이해는 1900년대 초 이래로 존재하여 왔다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0005] 본 개시내용의 실시예들은 무선 전력 공급자를 위한 주파수 분할 다중화에 관한 것이다. 무선 전력 공급자는 상이한 주파수 상에서 전력을 전송할 수 있으며 수신기는 적절한 주파수로 튜닝하여 하나 이상의 무선 전력 공급자로부터 전력을 소비할 수 있다.

[0006] 일 실시예에서, 다른 것들 중에서, 장치는 지상 매체를 따라 진행하는 유도 표면파로부터 전기적 에너지를 획득하도록 구성된 유도 표면파 수신 구조; 유도 표면파 수신 구조에 결합된 전기 부하 -전기 부하는 유도 표면파를 생성하는 유도 표면 도파 프로브에 결합된 여기 소스에서의 부하로서 기능함- ; 및 제어 회로 -제어 회로는, 적어도 전기적 에너지가 전송되는 주파수를 결정하고; 주파수 상에서 전기적 에너지를 수신하도록 전기 부하를 튜닝하도록 구성됨- 를 포함한다.

[0007] 제어 회로는 또한 적어도 주파수에서 전기적 에너지에 대한 액세스 요청을 전력 공급자 시스템에 전송하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 전력 공급자 시스템에 장치의 고유 식별자를 적어도 보고하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 적어도 전기적 에너지가 전송되는 복수의 주파수를 결정하고; 복수의 주파수로부터 주파수를 선택하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 적어도 전기적 에너지가 전송되는 제2 주파수를 결정하고; 주파수 대신에 또는 주파수에 추가하여 제2 주파수 상에서 전기적 에너지를 수신하도록 전기 부하를 재튜닝하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 장치에 의해 수행되는 주파수 스캔에 적어도 부분적으로 기초하여 주파수를 적어도 결정하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 적어도 전기 부하에 의해 소비되는 전기적 에너지를 모니터링하고; 전력 사용량 메트릭을 전력 공급자 시스템에 보고하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 유도 표면파 상에 변조된 데이터를 수신할 수 있다.

[0008] 장치는 전기 부하를 변조함으로써 유도 표면 도파 프로브에 데이터 신호를 전송하도록 구성된 부하 변조기를 더 포함할 수 있다. 제어 회로는 또한 네트워크를 통해 전력 공급자 시스템에 데이터를 전송하도록 구성될 수 있다. 제어 회로는 또한 적어도 주파수를 통해 전력 소비와 연관된 비용을 표시하는 비용 데이터를 수신하고; 주파수를 통해 전기적 에너지의 가용성을 표시하는 가용성 데이터를 수신하도록 구성될 수 있으며; 주파수는 비용 데이터 및 가용성 데이터에 적어도 부분적으로 기초하여 결정된다. 제어 회로는 또한 적어도 장치의 현재 위치

를 결정하고; 유도 표면 도파 프로브의 위치 및 전기적 에너지를 송신하기 위해 유도 표면 도파 프로브에 의해 사용되는 대응하는 주파수를 표시하는 데이터를 수신하도록 구성될 수 있으며; 여기서 주파수는 장치의 현재 위치, 유도 표면 도파 프로브의 위치, 및 전기적 에너지를 송신하기 위해 유도 표면 도파 프로브에 의해 사용되는 대응하는 주파수에 적어도 부분적으로 기초하여 결정된다.

[0009] 또 다른 실시예에서, 장치는 전기적 에너지를 제1 주파수 상에서 전송하도록 구성되는 제1 유도 표면 도파 프로브-제1 유도 표면 도파 프로브는 제1 서비스 영역을 가짐- ; 및 전기적 에너지를 제2 주파수 상에서 전송하도록 구성되는 제2 유도 표면 도파 프로브-제1 유도 표면 도파 프로브는 제2 서비스 영역을 가지고, 제1 서비스 영역은 중첩 서비스 영역에서 제2 서비스 영역과 중첩됨- 를 포함한다. 중첩 서비스 영역에 위치한 무선 전력 수신 시스템을 더 포함할 수 있고, 무선 전력 수신 시스템은 제1 유도 표면 도파 프로브에 의해 송신된 전기적 에너지 또는 제2 유도 표면 도파 프로브에 의해 송신된 전기적 에너지를 선택적으로 수신할 수 있다.

[0010] 제1 서비스 영역은 제 2 서비스 영역과 크기가 상이할 수 있다. 제1 유도 표면 도파 프로브 및 상기 제2 유도 표면 도파 프로브 각각은 손실성 전도 매체의 복소 브루스터 입사각($\theta_{i,B}$)에서 입사된 파면을 합성하는 적어도 하나의 결과적 필드를 생성하도록 구성되는 손실성 전도 매체 위로 상승된 각각의 충전 단자를 포함할 수 있다. 각각의 충전 단자는 복수의 각각의 충전 단자 중 하나일 수 있다. 장치는 각각의 충전 단자에 전기적으로 결합된 각각의 급전 네트워크를 더 포함할 수 있고, 급전 네트워크는 제1 유도 표면 도파 프로브 또는 제2 유도 표면 도파 프로브 중 대응하는 하나의 근방의 손실성 전도 매체와 연관된 복소 브루스터 입사각($\theta_{i,B}$)과 연관된 파 경사 각도(Ψ)와 매칭되는 위상 지연(Φ)을 제공한다.

[0011] 또 다른 실시예에서, 방법은 프로세서 및 메모리를 포함하는 컴퓨팅 디바이스를 통해, 무선 전력 수신기로부터 전기적 에너지를 소비하라는 요청을 수신하는 단계; 컴퓨팅 디바이스를 통해, 복수의 전력 공급자들 중 특정 전력 공급자가 요청을 서비스하기 위한 가용 용량을 가지고 있는지를 결정하는 단계; 및 컴퓨팅 디바이스를 통해, 특정 전력 공급자가 유도 표면 도파 프로브를 통해 전기적 에너지를 전송하는 대응하는 전력 전송 주파수로 튜닝하도록 무선 전력 수신기에게 지시하는 단계를 포함한다. 본 방법은 컴퓨팅 디바이스를 통해, 특정 전력 공급자와 연관된 전력 비용 정보를 무선 전력 수신기에 전송하는 단계를 더 포함한다.

[0012] 본 기술 분야의 숙련자는 이하의 도면 및 상세한 설명의 검토시 본 개시내용의 다른 시스템, 방법, 특징 및 장점을 명백히 알 수 있거나, 명백히 알게될 것이다. 모든 이런 추가적 시스템, 방법, 특징 및 장점은 본 설명에 포함되고, 본 개시내용의 범주 내에 있으며, 첨부 청구범위에 의해 보호되는 것으로 의도된다.

[0013] 추가적으로, 설명된 실시예의 모든 선택적인, 그리고, 양호한 특징과 변형은 본 명세서에서 고려되는 개시내용의 모든 양태에서 사용가능하다. 또한, 종속 청구항의 개별적 특징과 설명된 실시예의 모든 선택적이고 양호한 특징 및 변형은 서로 조합될 수 있으며, 그리고, 서로 교체가능하다.

도면의 간단한 설명

[0014] 이하의 도면을 참조하여 본 개시내용의 다수의 양태를 더 양호하게 이해할 수 있다. 도면의 구성요소는 반드시 축척대로 그려진 것은 아니며, 대신 본 개시내용의 원리를 명확히 예시하고자 강조가 이루어질 수 있다. 또한, 도면에서, 유사 참조 번호는 다수의 도면 전반에 걸쳐 대응 부분을 나타낸다.

도 1은 유도 전자기 필드와 방사 전자기 필드를 위한 거리의 함수로서의 필드 강도를 도시하는 차트이다.

도 2는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면파의 전송을 위해 사용되는 2개 영역과의 전파 계면을 예시하는 도면이다.

도 3은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 2의 전파 계면에 관하여 배치된 유도 표면 도파 프로브를 예시하는 도면이다.

도 4는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 1차 Hankel 함수의 근위(close-in) 및 원위(far-out) 점근선의 크기의 일 예의 플롯이다.

도 5a 및 도 5b는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브에 의해 합성된 전기장의 복소 입사각을 예시하는 도면이다.

도 6은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른, 도 5a의 전기 필드가 브루스터 각도에서 손실성 전도 매체와 교차하는 위치의 충전 단자의 고도의 효과를 예시하는 도식적 표현이다.

도 7은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브의 예의 도식적 표현이다.

도 8a 내지 도 8c는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 3 내지 도 7의 유도 표면 도파 프로브의 등가 이미지 평면 모델의 예를 예시하는 도식적 표현이다.

도 9a 및 도 9b는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 8b 및 도 8c의 등가 이미지 평면 모델의 고전적 전송 라인 모델과 단선 전송 라인의 예를 예시하는 도식적 표현이다.

도 10은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 손실성 전도 매체의 표면을 따른 유도 표면파의 발진을 위한 도 3 및 도 7의 유도 표면 도파 프로브의 조정의 예를 예시하는 흐름도이다.

도 11은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 3 및 도 7의 유도 표면 도파 프로브의 위상 지연과 파 경사각 사이의 관계의 예를 예시하는 플롯이다.

도 12는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브의 예를 예시하는 도면이다.

도 13은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 Hankel 크로스오버 거리에서 유도 표면 도파 모드를 매칭시키기 위한 복소 브루스터 각도에서의 합성된 전자기 필드의 입사를 예시하는 도식적 표현이다.

도 14는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 12의 유도 표면 도파 프로브의 예의 도식적 표현이다.

도 15a는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브의 충전 단자(T_1)의 위상 지연(Φ_0)의 허수부와 실수부의 예의 플롯을 포함한다.

도 15b는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 14의 유도 표면 도파 프로브의 개략도이다.

도 16은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브의 예를 예시하는 도면이다.

도 17은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 16의 유도 표면 도파 프로브의 예의 도식적 표현이다.

도 18a 내지 도 18c는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브에 의해 발진된 유도 표면파의 형태로 전송되는 에너지를 수신하기 위해 사용될 수 있는 수신 구조체의 예를 도시한다.

도 18d는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신 구조체의 조정의 예를 예시하는 흐름도이다.

도 19는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브에 의해 발진된 유도 표면파의 형태로 전송되는 에너지를 수신하기 위해 사용될 수 있는 추가적 수신 구조체의 예를 도시한다.

도 20a 내지 도 20e는 본 개시내용의 실시예를 참조하여 사용되는 다양한 개략적인 심볼의 예를 도시한다.

도 21은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 복수의 무선 전력 공급자에 의해 서비스되는 지리적 영역의 일례를 도시한다.

도 22는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템의 일례를 나타낸다.

도 23은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 네트워크 환경을 나타낸다.

도 24는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템의 일례를 나타낸다.

도 25는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템의 일례를 나타낸다.

도 26은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 무선 전력 공급자를 나타낸다.

도 27 및 도 28은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 전력 공급자 시스템의 일부 동작의 예를 제공하는 흐름도이다.

도 29는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 도 22의 수신기 시스템의 일부의 동작의 일례를 제공하는 흐름도이다.

도 30은 본 개시내용의 일 실시예에 따른 전력 공급자 시스템의 개략적인 블록도이다.

도 31은 본 개시내용의 일 실시예에 따른 전력계의 개략적인 블록도이다.

도 32 내지 도 36은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신 회로의 일례의 도면들이다.

도 37은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 수신 회로의 기능의 일례를 예시하는 흐름도이다.

도 38은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 유도 표면 도파 프로브에 의해 발진된 유도 표면파의 형태로 전송되는 에너지를 수신하기 위해 사용될 수 있는 가변 주파수 수신기의 예를 도시한다.

도 39는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 가변 주파수 수신기의 일부로서 구현되는 기능의 일례를 예시하는 흐름도이다.

도 40은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 도 38의 유도 표면파 수신 구조에 채택된 처리 회로의 일 예시를 제공하는 개략적인 블록도이다.

도 41은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 복조기 소자를 갖는 유도 표면 도파 프로브를 갖는 송신기를 도시한다.

도 42a 및 도 42b는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따라 유도 표면 도파 프로브에 의해 발진된 유도 표면파의 형태로 송신된 에너지를 수신하고, 수신된 에너지를 끌어오는 전기 부하를 변조하도록 채택될 수 있는 유도 표면파 수신 구조의 예를 도시한다.

도 43은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따라 유도 표면 도파 프로브에 의해 발진된 유도 표면파의 형태로 송신된 에너지를 수신하고, 수신된 에너지를 끌어오는 전기 부하를 변조하도록 채택될 수 있는 유도 표면파 수신 구조의 예를 도시한다.

도 44a 내지 도 44c는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따라 끌어온 전기 부하를 변조하는 수신 회로에 통신 가능하게 결합되는 유도 표면 도파 프로브의 전류계에 의해 검출된 전류의 예시적인 파형을 도시한다.

도 45는 다양한 실시예에 따른 수신 회로 및 유도 표면 도파 프로브의 일부의 동작의 예를 기술한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 우선, 개념 설명의 명료성을 제공하기 위해 몇몇 용어를 다음과 같이 규정한다. 먼저, 본 명세서에서 고려될 때, **방사** 전자기 필드와 **유도** 전자기 필드 사이의 공식적 구별이 이루어진다.

[0016] 본 명세서에서 고려될 때, 방사 전자기 필드는 도파로에 구속되지 않은 파 형태의, 소스 구조로부터 출사된 전자기 에너지를 포함한다. 예로서, 방사 전자기 필드는 일반적으로 전기적 구조, 예컨대, 안테나를 벗어나 대기 또는 다른 매체를 통해 전파되며 어떠한 도파 구조에도 구속되지 않은 필드이다. 방사된 전자기파가 전기적 구조, 예컨대 안테나를 벗어나고 나면, 이들은 소스가 계속 동작하고 있는지 여부에 무관하게 이들이 소산될 때까지 그 소스에 독립적으로 전파 매체(예컨대 공기) 내에서 계속 전파된다. 전자기파가 방사되고 나면, 이들은 인터셉트되지 않는 한 회수될 수 없고, 인터셉트되지 않는다면, 방사 전자기파 내의 고유한 에너지는 영원히 소실된다. 전자기 구조, 예컨대 안테나는 구조 손실 저항에 대한 방사 저항의 비율을 최대화함으로써 전자기 필드를 방사하도록 설계된다. 방사된 에너지는 공간 내에서 확산되며, 수신기가 존재하는지 여부에 무관하게 소실된다. 방사된 필드의 에너지 밀도는 기하학적 확산에 기인한 거리의 함수이다. 따라서, 본 명세서에서 사용될 때 모든 형태의 용어 "방사"는 이러한 형태의 전자기 전파를 지칭한다.

[0017] 유도 전자기 필드는 전파되는 전자기파이며, 그 에너지는 상이한 전자기 특성을 갖는 매체들 사이의 경계 내에 또는 경계 부근에 집중된다. 이러한 개념에서, 유도 전자기 필드는 도파로에 구속되어 있는 것이며 도파로 내에서 흐르는 흐름에 의해 반송되는 것을 특징으로 할 수 있다. 유도 전자기파 내에서 반송되는 에너지를 수신 및/또는 소산시키는 어떠한 부하도 존재하지 않는 경우, 이때, 유도 매체의 전도율 내에서 소산되는 것을 제외하면 어떠한 에너지도 소실되지 않는다. 달리 말하면, 유도 전자기파에 대한 어떠한 부하도 존재하지 않는 경우, 이때, 어떠한 에너지도 소비되지 않는다. 따라서, 유도 전자기 필드를 발생시키는 발생기 또는 다른 소스는 저항성 부하가 존재하지 않는 한 실제 파워를 전달하지 않는다. 이 때문에, 이런 발생기 또는 다른 소스는 부하가 제공될 때까지 실질적으로 이상적으로 운전된다. 이는 어떠한 전기 부하도 존재하지 않는 파워 라인을 통해 전송되는 60 헤르츠 전자기파를 발생시키기 위해 발생기를 운전하는 것과 유사하다. 유도 전자기 필드 또는 파는 "전송 라인 모드"라 명명되는 바에 상당한다. 이는 방사파를 발생시키기 위해 항상 실제 파워가 공급되는 방사 전자기파와 대조적이다. 방사 전자기파와는 달리, 유도 전자기 에너지는 에너지 소스가 비가동 상태로 전환된 이후 유한 길이 도파로를 따른 전파를 지속하지 않는다. 따라서, 본 명세서에서 사용될 때 모든 그 형태에서 용어 "유도"는 전자기 전파의 이러한 전송 모드를 지칭한다.

[0018] 이제 도 1을 참조하면, 방사 전자기 필드와 유도 전자기 필드 사이의 구분을 추가로 예시하기 위해 로그-dB 플

로부터 킬로미터 단위 거리의 함수로서 미터당 볼트의 임의적 기준에 기초한 데시벨(dB) 단위 필드 강도의 그래프(100)가 도시되어 있다. 도 1의 그래프(100)는 거리의 함수로서 유도 전자기 필드의 필드 강도를 보여주는 유도 필드 강도 곡선(103)을 도시한다. 이 유도 필드 강도 곡선(103)은 본질적으로 전송 라인 모드와 동일하다. 또한, 도 1의 그래프(100)는 거리의 함수로서 방사 전자기 필드의 필드 강도를 보여주는 방사 필드 강도 곡선(106)을 도시한다.

[0019] 유도 파와 방사 전파 각각을 위한 곡선들(103, 106)의 형상이 관심의 대상이다. 방사 필드 강도 곡선(106)은 기하학적으로 강하하고($1/d$, 여기서, d 는 거리), 이는 로그-로그 스케일에서 직선으로 나타나 있다. 한편, 유도 필드 강도 곡선(103)은 $e^{-\alpha d}/\sqrt{d}$ 의 특징적인 지수적 쇠퇴를 가지고, 로그-로그 스케일에서 특유의 굴곡형상(knee)(109)을 나타낸다. 유도 필드 강도 곡선(103) 및 방사 필드 강도 곡선(106)은 지점(112)에서 교차하고, 이 지점은 교차 거리에서 나타난다. 교차 지점(112)에서의 교차 거리 미만인 거리에서, 유도 전자기 필드의 필드 강도는 대부분의 위치에서 방사 전자기 필드의 필드 강도보다 현저히 더 크다. 교차 거리보다 큰 거리에서, 그 반대가 사실이 된다. 따라서, 유도 필드 강도 곡선(103) 및 방사 필드 강도 곡선(106)은 유도 전자기 필드와 방사 전자기 필드 사이의 근본적 전파 차이점을 추가로 예시한다. 유도 전자기 필드와 방사 전자기 필드 사이의 차이점에 대한 약식 설명은 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합되어 있는 Milligan, T.의 Modern Antenna Design(McGraw-Hill, 1st Edition, 1985, pp.8-9)을 참조한다.

[0020] 앞서 이루어진, 방사 전자기파와 유도 전자기파 사이의 구분은 공식적으로 쉽게 표현되고 근거 기반으로 이루어진다. 상기 두 개의 이러한 다양한 해결책은 하나의 동일한 선형 편미분 방정식으로부터 유래되고, 이 파 방정식은 분석적으로 문제에 부여되는 경계 조건의 결과이다. 파 방정식을 위한 그린 함수(Green function) 자체는 방사 파와 유도 파의 특징 사이의 구분을 포함한다.

[0021] 빈 공간에서, 파 방정식은 그 고유함수가 복소 파수 평면 상에서 고유값의 연속 스펙트럼을 소유하는 미분 연산자이다. 이 횡방향 전자기(TEM) 필드는 방사 필드라 지칭되며, 그 전파 필드는 "헤르쯔 파"라 지칭된다. 그러나, 전도성 경계의 존재시, 파 방정식과 경계 조건을 더한 것은 수학적으로 이산 스펙트럼의 합과 연속 스펙트럼을 더한 것으로 구성되는 파수의 스펙트럼적 표현을 도출한다. 이에 대하여, Sommerfeld, A.의 "Über die Ausbreitung der Wellen in der Drahtlosen Telegraphie"(Annalen der Physik, Vol. 28, 1909, pp. 665-736)을 참조한다. 또한, Partial Differential Equations in Physics - Lectures on Theoretical Physics: Volume VI(Academic Press, 1949, pp. 236-289, 295-296)의 챕터 6에 공개된 Sommerfeld, A.의 "Problems of Radio"; Collin, R. E.의 "Hertzian Dipole Radiating Over a Lossy Earth or Sea: Some Early and Late 20th Century Controversies"(IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 46, No. 2, April 2004, pp. 64-79); 및 Reich, H. J., Ordnung, P.F, Krauss, H.L. 및 Skalnik, J.G.의 Microwave Theory and Techniques(Van Nostrand, 1953, pp. 291-293)도 참조하며, 이들 참조문헌 각각은 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다.

[0022] 용어 "지상파" 및 "표면파"는 두 개의 뚜렷하게 서로 다른 물리적 전파 현상을 나타낸다. 표면파는 분석학적으로 평면파 스펙트럼에서 이산 성분을 산출하는 특이적 폴(pole)으로부터 발생한다. 예를 들어, Cullen, A.L.의 "The Excitation of Plane Surface Waves"(Proceedings of the IEE (British), Vol. 101, Part IV, August 1954, pp. 225-235) 참조. 이러한 맥락에서, 표면파는 유도 표면파가 되는 것으로 간주된다. 표면파(Zenneck-Sommerfeld 유도 파 개념에서)는 물리적으로, 그리고, 수학적으로 이제 라디오 방송으로부터 매우 친숙한 지상파(Weyl-Norton-FCC 개념에서)와는 동일하지 않다. 이들 두 전파 메커니즘은 복소 평면에서 상이한 유형의 고유값 스펙트럼(연속 또는 이산)의 여기로부터 발생한다. 유도 표면파의 필드 강도는 도 1의 곡선(103)에 의해 예시된 바와 같이 거리에 따라 지수적으로 쇠퇴하고(손실성 도파로에서의 전파와 매우 유사함), 지상파의 고전적 헤르쯔 방사선과는 반대인 레디얼 전송 라인(radial transmission line)에서의 전파와 유사하며, 지상파의 고전적 헤르쯔 방사선은 구형으로 전파하고, 고유값의 연속체를 소유하며, 기하학적으로 도 1의 곡선(106)에 의해 예시된 바와 같이 강하하고, 가지자름 적분(branch-cut integral)으로부터 얻어진다. "The Surface Wave in Radio Propagation over Plane Earth" (Proceedings of the IRE, Vol. 25, No. 2, February, 1937, pp. 219-229) 및 "The Surface Wave in Radio Transmission" (Bell Laboratories Record, Vol. 15, June 1937, pp. 321-324)에서 C.R. Burrows에 의해 경험적으로 예시된 바와 같이, 수직 안테나는 지상파를 방사하지만 유도 표면파를 발진시키지는 않는다.

[0023] 상술한 바를 요약하면, 먼저, 가지절단 적분에 대응하는 파수 고유값 스펙트럼의 연속 부분은 방사 필드를 생성

하고, 두 번째로 적분의 윤곽에 의해 포위되는 폴로부터 발생하는 이산 스펙트럼 및 대응하는 나머지 합은 비-TEM 진행 표면파를 초래하고, 이는 전파에 횡방향으로 지수적으로 감쇠된다. 이런 표면파는 유도 전송 라인 모드이다. 추가적 설명에 대해서는 Friedman, B.의 Principles and Techniques of Applied Mathematics(Wiley, 1956, pp. 214, 283-286, 290, 298-300)를 참조한다.

[0024] 자유 공간에서, 안테나는 파 방정식의 연속 고유값을 여기하고, 이는 방사 필드이며, 여기서 E_z 및 H_ϕ 인페이스(in-phase)를 갖는 외향 전파 RF 에너지가 영원히 소실된다. 다른 한편, 도파 프로브는 이산 고유값을 여기하고, 이는 전송 라인 전파를 초래한다. Collin, R. E.의 Field Theory of Guided Waves(McGraw-Hill, 1960, pp. 453, 474-477) 참조. 이런 이론적 분석은 손실성 균질 매체의 평면형 또는 구형 표면에 걸친 개방 표면 유도 파 발전의 가설적 가능성을 제공하였지만, 한세기 넘어 동안, 임의의 실용적 효율로 이를 달성하기 위한 어떠한 알려진 구조도 공학 기술 분야에 존재하지 않는다. 불행하게, 1900년대 초에 출현한 이래로, 앞서 설명한 이론적 분석은 본질적으로 이론으로 남아있으며, 손실성 균질 매체의 평면형 또는 구형 표면에 걸친 개방 표면 유도 파의 발전을 실용적으로 달성하기 위한 구조는 알려져 있지 않다.

[0025] 본 개시내용의 다양한 실시예에 따라서, 다양한 유도 표면 도파 프로브가 설명되며, 이는 손실성 전도 매체의 표면을 따른 유도 표면 도파 모드에 결합되는 전기 필드를 여기하도록 구성된다. 이런 유도 전자기 필드는 크기 및 위상이 손실성 전도 매체의 표면 상에서 유도 표면과 모두에 실질적으로 모드 매칭된다. 이런 유도 표면 파 모드는 또한 Zenneck 도파 모드라고도 명명될 수 있다. 본 명세서에 설명된 유도 표면 도파 프로브에 의해 여기된 결과적 필드가 손실성 전도 매체의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭된다는 사실로 인해, 유도 표면과 형태의 유도 전자기 필드가 손실성 전도 매체의 표면을 따라 발전된다. 일 실시예에 따라서, 손실성 전도 매체는 지구 같은 지상 매체를 포함한다.

[0026] 도 2를 참조하면, Zenneck, J.의 논문 "On the Propagation of Plane Electromagnetic Waves Along a Flat Conducting Surface and their Relation to Wireless Telegraphy"(Annalen der Physik, Serial 4, Vol. 23, September 20, 1907, pp. 846-866)에서 Jonathan Zenneck에 의해 1907년에 유도된 Maxwell 방정식에 대한 경계값 해에 대한 검토를 제공하는 전파 계면이 도시되어 있다. 도 2는 영역 1로 명시된 손실성 전도 매체와 영역 2로 명시된 절연체 사이의 계면을 따른 레디얼 전파 파를 위한 원기둥 좌표를 도시한다. 영역 1은 예로서 임의의 손실성 전도 매체를 포함할 수 있다. 일 예에서, 이런 손실성 전도 매체는 지구나 다른 매체 같은 지상 매체를 포함할 수 있다. 영역 2는 영역 1과 경계 계면을 공유하면서 영역 1에 비해 다른 구성 파라미터를 갖는 제2 매체이다. 도 2는 예로서 대기 또는 다른 매체 같은 임의의 절연체를 포함할 수 있다. 이런 경계 계면을 위한 반사 계수는 복소 브루스터 각도에서의 입사에 대해서만 0으로 진행한다. Stratton, J.A.의 Electromagnetic Theory(McGraw-Hill, 1941, p. 516) 참조.

[0027] 다양한 실시예에 따라서, 본 개시내용은 다양한 유도 표면 도파 프로브를 기술하며, 이는 영역 1을 포함하는 손실성 전도 매체의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭되는 전자기 필드를 생성한다. 다양한 실시예에 따라서, 이런 전자기 필드는 실질적으로 손실성 전도 매체의 복소 브루스터 각도에서 입사된 파면을 합성하고, 이는 0 반사를 초래할 수 있다.

[0028] 추가적 설명을 위해, $e^{j\omega t}$ 필드 변동이 가정되고, $\rho \neq 0$ 및 $z \geq 0$ 인(z 는 영역 1의 표면에 수직인 수직 좌표이고 ρ 는 원기둥 좌표에의 반경방향 치수임) 영역 2에서, 계면을 따른 경계 조건을 충족하는 Maxwell의 방정식의 Zenneck의 폐쇄형의 정확한 해는 다음의 전기 필드 및 자기 필드 성분에 의해 표현된다:

[0029]
$$H_{2\phi} = Ae^{-u_z z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad (1)$$

[0030]
$$E_{2\rho} = A \left(\frac{u_z}{j\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_z z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad \text{및} \quad (2)$$

[0031]
$$E_{2z} = A \left(\frac{-\gamma}{\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_z z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho) \quad (3)$$

[0032] $e^{j\omega t}$ 필드 변동이 가정되고 $\rho \neq 0$ 및 $z \leq 0$ 인 영역 1에서, 계면을 따른 경계 조건을 충족하는 Maxwell의 방정식의 Zenneck의 폐쇄형의 정확한 해는 다음의 전기 필드 및 자기 필드 성분에 의해 표현된다:

[0033]
$$H_{1\phi} = Ae^{u_z z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad (4)$$

$$E_{1\rho} = A \left(\frac{-u_1}{\sigma_1 + j\omega \varepsilon_1} \right) e^{u_1 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \text{ 및 (5)}$$

$$E_{1z} = A \left(\frac{-j\gamma}{\sigma_1 + j\omega \varepsilon_1} \right) e^{u_1 z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho) \quad (6)$$

이들 방정식에서, z 는 영역 1의 표면에 수직인 수직 좌표이고, ρ 는 레디얼 좌표이며, $H_n^{(2)}(-j\gamma\rho)$ 는 차수가 n 인 제2 유형의 복소 편각 Hankel 함수이며, u_1 은 영역 1에서 양의 수직 (z) 방향의 전파 상수이고, u_2 는 영역 2에서 수직 (z) 방향의 전파 상수이며, σ_1 은 영역 1의 전도율이고, ω 는 $2\pi f$ 와 같고 여기서 f 는 여기 수파수이고, ε_0 는 자유 공간의 유전율이며, ε_1 은 영역 1의 유전율이고, A 는 소스에 의해 부여되는 소스 상수이고, γ 는 표면과 레디얼 전파 상수이다.

$\pm z$ 방향에서의 전파 상수는 영역 1과 영역 2 사이의 계면 위 및 아래에서 파 방정식을 분리시키고 경계 조건을 부여함으로써 결정된다. 이러한 행위는 영역 2에서 다음을 제공한다.

$$u_2 = \frac{-jk_0}{\sqrt{1+(\varepsilon_r - jx)}} \quad (7)$$

그리고, 영역 1에서 다음을 제공한다.

$$u_1 = -u_2(\varepsilon_r - jx) \quad (8)$$

레디얼 전파 상수(γ)는 다음에 의해 주어진다.

$$\gamma = j\sqrt{k_0^2 + u_2^2} = j\frac{k_0 n}{\sqrt{1+n^2}} \quad (9)$$

이는 n 이 다음 식에 의해 주어지는 복소 굴절 지수인 복소 표현이다.

$$n = \sqrt{\varepsilon_r - jx} \quad (10)$$

위의 방정식 모두에서,

$$x = \frac{\sigma_1}{\omega \varepsilon_0}, \text{ 및} \quad (11)$$

$$k_0 = \omega\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = \frac{\lambda_0}{2\pi} \quad (12)$$

이고, 여기서, ε_r 은 영역 1의 상대 유전율을 포함하고, σ_1 은 영역 1의 전도율이며, ε_0 는 자유 공간의 유전율이고, μ_0 는 자유 공간의 유전율을 포함한다. 따라서, 생성된 표면파는 계면에 평행하게 전파하고, 그에 수직 방향으로 지수적으로 쇠퇴한다. 이는 소실이라 알려져 있다.

따라서, 방정식 (1)-(3)은 원기둥-대칭적 레디얼-전파 도파 모드인 것으로 고려될 수 있다. Barlow, H. M. 및 Brown, J.의 *Radio Surface Waves*(Oxford University Press, 1962, pp. 10-12, 29-33) 참조. 본 개시내용은 이러한 "개방 경계" 도파 모드를 여기서키는 구조를 구체화한다. 구체적으로, 다양한 실시예에 따라서, 유도 표면 도파 프로브는 전압 및/또는 전류가 공급되면서 영역 2와 영역 1 사이의 경계 계면에 대해 위치되는 적절한 크기의 충전 단자를 구비한다. 이는 도 3을 참조로 더 양호하게 이해될 수 있으며, 도 3은 손실성 전도 매체(203)에 의해 제공되는 평면에 수직인 수직 축(z)을 따라 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구) 위로 T_1 고도에 있는 충전 단자를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200a)의 예를 도시한다. 손실성 전도 매체(203)는 영역 1을 구성하고, 제2 매체(206)는 영역 2를 구성하며, 손실성 전도 매체(203)와 경계 계면을 공유한다.

일 실시예에 따라서, 손실성 전도 매체(203)는 지구 같은 지상 매체를 포함한다. 이 때문에, 이런 지상 매체는 자연적이든 인공적이든 그 위에 포함된 모든 구조 또는 형태를 포함한다. 예로서, 이런 지상 매체는 바위, 토양, 담수, 해수, 나무, 초목 및 우리의 행성을 구성하는 모든 다른 자연적 요소 같은 자연적 요소를 포함할 수 있다. 추가적으로, 이런 지상 매체는 콘크리트, 아스팔트, 건축 재료 및 다른 인공 재료 같은 인공 요소를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 손실성 전도 매체(203)는 자연적으로 발생하든 인공적이든 지구 이외의 소정 매체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 손실성 전도 매체(203)는 인공 표면 및 구조, 예컨대, 자동차, 항공

기, 인공 재료(예컨대, 합판, 플라스틱 시트 또는 다른 재료)나 다른 매체 같은 다른 매체를 포함할 수 있다.

[0051] 손실성 전도 매체(203)가 지상 매체 또는 지구를 포함하는 경우에, 제2 매체(206)는 그라운드 위의 대기를 포함할 수 있다. 이 때문에, 대기는 "대기 매체"라 명명될 수 있고, 이는 지구의 대기를 구성하는 공기나 다른 요소를 포함한다. 추가적으로, 제2 매체(206)는 손실성 전도 매체(203)에 비해 다른 매체를 포함할 수 있다.

[0052] 유도 표면 도파 프로브(200a)는 예를 들어 수직 급전 라인 전도체를 거쳐 충전 단자(T_1)에 여기 소스(212)를 결합하는 급전 네트워크(209)를 포함한다. 다양한 실시예에 따라서, 전하(Q_i)가 충전 단자(T_1)에 부여되어 임의의 주어진 순간에 단자(T_1)에 인가된 전압에 기초한 전기 필드를 합성한다. 전기 필드(E)의 입사각(θ_i)에 따라, 영역 1을 포함하는 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 전기 필드를 실질적으로 모드 매칭시키는 것이 가능하다.

[0053] 방정식 (1)-(6)의 Zenneck 폐쇄형 해를 고려함으로써, 영역 1과 영역 2 사이의 Leontovich 임피던스 경계 조건은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\hat{z} \times \vec{H}_2(\rho, \varphi, 0) = \vec{J}_S \quad (13)$$

[0055] 여기서 $\hat{z}$ 는 양의 수직 (+z) 방향에 단위 법선이고, $\vec{H}_2$ 는 앞서 방정식 (1)에 의해 표현된 영역 2에서의 자기 필드 강도이다. 방정식 (13)은 방정식 (1)-(3)에 명시된 전기 및 자기 필드가 경계 계면을 따라 레디얼 표면 전류 밀도를 초래할 수 있다는 것을 의미하며, 레디얼 표면 전류 밀도는 다음에 의해 명시될 수 있다.

$$J_\rho(\rho') = -A H_1^{(2)}(-j\gamma\rho') \quad (14)$$

[0057] 여기서 A는 상수이다. 또한, 유도 도파 프로브(200)에 대한 근위에서($\rho \ll \lambda$ 에 대해), 상술한 방정식 (14)는 다음과 같은 거동을 갖는다는 것을 유의하여야 한다.

$$J_{close}(\rho') = \frac{-A(j2)}{\pi(-j\gamma\rho')} = -H_\phi = -\frac{I_0}{2\pi\rho'} \quad (15)$$

[0059] 음의 부호는 소스 전류(I_0)가 도 3에 예시된 바와 같이 수직 상향으로 흐른다는 것을 의미하며, "근위" 그라운드 전류는 반경방향 내향으로 흐른다. H_ϕ "근위"에 매칭되는 필드에 의해, 다음이 결정될 수 있다.

$$A = -\frac{I_0\gamma}{4} = -\frac{\omega q_1\gamma}{4} \quad (16)$$

[0061] 여기서, 방정식 (1)-(6) 및 (14)에서 $q_1 = C_1 V_1$ 이다. 따라서, 방정식 (14)의 레디얼 표면 전류 밀도는 다음과 같이 재기술될 수 있다.

$$J_\rho(\rho') = \frac{I_0\gamma}{4} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho') \quad (17)$$

[0063] 방정식 (1)-(6) 및 (17)에 의해 표현되는 필드는 지상과 전파와 연계된 방사 필드가 아닌 손실성 계면에 결합된 전송 라인 모드의 특성을 갖는다. Barlow, H. M. 및 Brown, J.의 Radio Surface Waves(Oxford University Press, 1962, pp. 1-5) 참조.

[0064] 여기서, 방정식 (1)-(6) 및 (17)에서 사용되는 Hankel 함수의 특성의 고찰이 파 방정식의 이들 해에 대해 제공된다. 제1 및 제2 유형, 그리고, 차수 n의 Hankel 함수는 제1 및 제2 유형의 표준 Bessel 함수의 복소 조합으로서 표현된다는 것을 알 수 있다.

$$H_n^{(1)}(x) = J_n(x) + jN_n(x), \text{ 및} \quad (18)$$

$$H_n^{(2)}(x) = J_n(x) - jN_n(x) \quad (19)$$

[0067] 이들 함수는 각각 반경방향 내향($H_n^{(1)}$) 및 외향($H_n^{(2)}$) 전파하는 원통형 파를 나타낸다. 이러한 정의는 관계 $e^{\pm jx} = \cos x \pm j \sin x$ 와 유사하다. 예로서, Harrington, R.F.의 Time-Harmonic Fields(McGraw-Hill, 1961, pp. 460-463) 참조.

[0068] 이 $H_n^{(2)}(k_\rho \rho)$ 는 $J_n(x)$ 및 $N_n(x)$ 의 급수 정의(series definition)로부터 직접적으로 얻어지는 그 대각 점근 거동(large argument asymptotic behavior)으로부터 인식될 수 있다. 유도 표면 도파 프로브로부터의 원위:

$$[0069] \quad H_n^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{2j}{\pi x}} j^n e^{-jx} = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} j^n e^{-j(x - \frac{\pi}{4})} \quad (20a)$$

[0070] 이는 $e^{j\omega t}$ 로 승산되면, $1/\sqrt{\rho}$ 공간 변동을 갖는 형태 $e^{j(\omega t - k\rho)}$ 의 외향 전파하는 원통형 파이다. 제1 차수(n=1) 해는 다음이 되는 방정식 (20a)로부터 결정될 수 있다.

$$[0071] \quad H_1^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} j \sqrt{\frac{2j}{\pi x}} e^{-jx} = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} e^{-j(x - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4})} \quad (20b)$$

[0072] 유도 표면 도파 프로브에 대한 근위($\rho \ll \lambda$ 에 대해)에서, 제1 차수 및 제2 유형의 Hankel 함수는 다음과 같이 거동한다.

$$[0073] \quad H_1^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow 0} \frac{2j}{\pi x} \quad (21)$$

[0074] 이들 점근선 방정식은 복소량임을 유의하여야 한다. x가 실수량이면, 방정식 (20b) 및 (21)은 $\sqrt{j}$ 만큼 위상이 다르고, 이는 45도 또는 등량으로 $\lambda/8$ 의 추가 위상 전진 또는 "위상 부스트"에 대응한다. 제2 유형의 제1 차수 Hankel 함수의 근위 및 원위 점근선은 이들이 $\rho = R_x$ 의 거리에서 동일한 크기로 이루어지게 되는 Hankel "크로스오버" 또는 전이 지점을 갖는다.

[0075] 따라서, Hankel 크로스오버 지점을 지나면, "원위" 표현은 Hankel 함수의 "근위" 표현보다 우세하다. Hankel 크로스오버 지점에 대한 거리(또는 Hankel 크로스오버 거리)는 $-j \gamma \rho$ 에 대해 방정식 (20b) 및 (21)을 같다고 놓고 R_x 에 대해 푸는 것에 의해 발견될 수 있다. $x = \sigma / \omega \epsilon_0$ 에서, 원위 및 근위 Hankel 함수 점근선은 주파수의 의존적이고, Hankel 크로스오버 지점은 주파수가 낮아짐에 따라 외향 이동한다는 것을 알 수 있다. 또한, Hankel 함수 점근선은 또한 손실성 전도 매체의 전도율(σ)이 변화함에 따라 변할 수 있다는 것을 유의하여야 한다. 예로서, 토양의 전도율은 기후 조건의 변화에 따라 변할 수 있다.

[0076] 도 4를 참조하면, 1850 kHz의 동작 주파수에서 상대 유전율 $\epsilon_r = 15$ 및 $\sigma = 0.010$ mhos/m의 영역 1 전도율에 대하여 방정식 (20b) 및 (21)의 제1 차수 Hankel 함수의 크기의 플롯의 일 예가 도시되어 있다. 곡선 (115)은 방정식 (20b)의 원위 점근선의 크기이고, 곡선(118)은 방정식 (21)의 근위 점근선의 크기이며, Hankel 크로스오버 지점(121)은 $R_x = 54$ feet의 거리에서 발생한다. 크기는 동일하지만, Hankel 크로스오버 지점 (121)에서 두 점근선 사이에는 위상 오프셋이 존재한다. 또한, Hankel 크로스오버 거리는 동작 주파수의 파장보다 매우 작다는 것을 알 수 있다.

[0077] 영역 2에서의 Zenneck 폐쇄형 해의 방정식 (2) 및 (3)에 의해 주어지는 전자기 성분을 고려하면, E_z 와 E_ρ 의 비율은 점근적으로 다음과 같이 진행함을 알 수 있다.

$$[0078] \quad \frac{E_z}{E_\rho} = \left(\frac{-j\gamma}{u_z} \right) \frac{H_0^{(2)}(-j\gamma\rho)}{H_1^{(2)}(-j\gamma\rho)} \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}} = n = \tan \theta_i \quad (22)$$

[0079] 여기서, n은 방정식 (10)의 복소 굴절 지수이고, θ_i 는 전기 필드의 입사각이다. 추가적으로, 방정식 (3)의 모드 매칭된 전기 필드의 수직 성분은 점근적으로 다음과 같이 진행된다.

$$[0080] \quad E_{2z} \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \left(\frac{q_{free}}{\epsilon_0} \right) \sqrt{\frac{\gamma^3}{8\pi}} e^{-u_z z} \frac{e^{-j(\gamma\rho - \pi/4)}}{\sqrt{\rho}} \quad (23)$$

[0081] 이는 단자 전압 $q_{free} = C_{free} \times V_T$ 에서의 상승된 충전 단자의 커패시턴스의 고립 컴포넌트 상의 자유 전하에 선형적으로 비례한다.

[0082] 예로서, 도 3의 상승된 충전 단자(T_1)의 높이(H_1)가 충전 단자(T_1)의 자유 전하의 양에 영향을 준다. 충전 단자

(T₁)가 영역 1의 그라운드 평면 부근에 있을 때, 단자 상의 전하(Q₁)의 대부분은 "속박"된다. 충전 단자(T₁)가 상승됨에 따라, 충전 단자(T₁)가 실질적으로 모든 고립 전하가 자유 상태가 되는 높이에 도달할 때까지 속박 전하가 풀려진다.

[0083] 충전 단자(T₁)를 위한 증가된 용량성 고도의 장점은 상승된 충전 단자(T₁) 상의 전하가 추가로 그라운드 평면으로부터 제거되어 증가된 양의 자유 전하(q_{free})를 초래함으로써 에너지를 유도 표면 도파 모드로 결합시킨다는 것이다. 충전 단자(T₁)가 그라운드 평면으로부터 이격 이동함에 따라, 전하 분포는 단자의 표면 주변에 더욱 균일하게 분포되게 된다. 자유 전하의 양은 충전 단자(T₁)의 자기 용량(self-capacitance)에 관련된다.

[0084] 예로서, 구형 단자의 용량은 그라운드 평면 위쪽 물리적 높이의 함수로서 표현될 수 있다. 완전한 그라운드 위 h의 물리적 높이에 있는 구체의 용량은 다음에 의해 주어진다.

[0085]
$$C_{\text{상승된 구체}} = 4\pi\epsilon_0 a(1 + M + M^2 + M^3 + 2M^4 + 3M^5 + \dots) \quad (24)$$

[0086] 여기서, 구체의 직경은 2a이고, M=a/2h이며, h는 구형 단자의 높이이다. 알 수 있는 바와 같이, 단자 높이(h)의 증가는 충전 단자의 용량(C)을 감소시킨다. 직경의 약 4배(4D=8a) 높이 이상에 있는 충전 단자(T₁)의 고도에 대하여, 전하 분포는 구형 단자 주변에서 대략 균일하며, 이는 유도 표면 도파 모드로의 결합을 향상시킬 수 있다.

[0087] 충분히 고립된 단자의 경우에, 전도성 구체의 자기 용량은 $C=4\pi\epsilon_0 a$ 로 추산될 수 있고, 여기서, a는 미터 단위의 구체의 반경이며, 디스크의 자기 용량은 $C=8\epsilon_0 a$ 로 추산될 수 있고, 여기서, a는 미터 단위의 디스크의 반경이다. 충전 단자(T₁)는 구, 디스크, 원통, 원추, 원환체, 후드(hood), 하나 이상의 링 또는 임의의 다른 무작위적 형상이나 형상들의 조합 같은 임의의 형상을 포함할 수 있다. 등가 구체 직경이 결정되고, 충전 단자(T₁)의 위치설정을 위해 사용될 수 있다.

[0088] 이는 충전 단자(T₁)가 손실성 전도 매체(203) 위의 h_p=H₁의 물리적 높이로 상승되어 있는 도 3의 예를 참조로 추가로 이해될 수 있다. "속박" 전하의 영향을 감소시키기 위해, 충전 단자(T₁)는 속박 전하 효과를 감소시키도록 충전 단자(T₁)의 구체 직경(또는 등가 구체 직경)의 적어도 4배인 물리적 높이에 위치될 수 있다.

[0089] 다음에 도 5a를 참조하면, 도 3의 충전 단자(T₁) 상의 상승된 전하(Q₁)에 의해 생성된 전기 필드의 광선 광학 해석이 도시되어 있다. 광학에서와 같이, 입사 전기 필드의 반사를 최소화하는 것은 손실성 매체(203)의 유도 표면 도파 모드로 결합되는 에너지를 향상 및/또는 최대화할 수 있다. 입사 평면(경계 계면이 아님)에 대해 평행하게 편광된 전기 필드($E_{\parallel}$)에 대하여, 입사 전기 필드의 반사의 양은 다음과 같이 표현될 수 있는 Fresnel 반사 계수를 사용하여 결정될 수 있다.

[0090]
$$\Gamma_{\parallel}(\theta_i) = \frac{E_{\parallel R}}{E_{\parallel i}} = \frac{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} - (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i}{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} + (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i} \quad (25)$$

[0091] 여기서 θ_i 는 표면 법선에 관해 측정된 통상적 입사각이다.

[0092] 도 5a의 예에서, 광선 광학 해석은 표면 법선($\hat{z}$)에 관해 측정된 θ_i 의 입사각을 갖는 입사 평면에 평행하게 편광된 입사 필드를 보여준다. $\Gamma_{\parallel}(\theta_i) = 0$ 일 때 입사 전기 필드의 어떠한 반사도 존재하지 않으며, 따라서 입사 전기 필드는 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따른 유도 표면 도파 모드로 완전히 결합된다. 방정식 (25)의 분자가 0으로 진행할 때 입사각은 다음과 같아짐을 알 수 있다.

[0093]
$$\theta_i = \arctan(\sqrt{\epsilon_r - jx}) = \theta_{i,B} \quad (26)$$

[0094] 여기서 $x = \sigma / \omega \epsilon_0$ 이다. 이 복소 입사각($\theta_{i,B}$)은 브루스터 각도라 지칭된다. 방정식 (22)를 다시 참조하면, 동일한 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$) 관계가 방정식 (22) 및 (26) 양자 모두에 존재한다는 것을 알 수 있다.

[0095] 도 5a에 예시된 바와 같이, 전기 필드 벡터(E)는 입사 평면에 평행하게 편광된 유입 비균일 평면파로서 도시될 수 있다. 전기 필드 벡터(E)는 다음과 같이 독립적 수평 및 수직 성분들로부터 생성될 수 있다.

$$[0096] \quad \vec{E}(\theta_i) = E_\rho \hat{\rho} + E_z \hat{z} \quad (27)$$

[0097] 기하학적으로, 도 5a의 예시는 전기 필드 벡터(E)가 다음에 의해 주어질 수 있음을 제시한다.

$$[0098] \quad E_\rho(\rho, z) = E(\rho, z) \cos \theta_i, \text{ 및} \quad (28a)$$

$$[0099] \quad E_z(\rho, z) = E(\rho, z) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_i\right) = E(\rho, z) \sin \theta_i \quad (28b)$$

[0100] 이는 필드 비율이 다음과 같다는 것을 의미한다.

$$[0101] \quad \frac{E_\rho}{E_z} = \frac{1}{\tan \theta_i} = \tan \psi_i \quad (29)$$

[0102] "파 경사"라 지칭되는 일반화된 파라미터(W)는 여기서 다음에 의해 주어지는 수직 전기 필드 성분에 대한 수평 전기 필드 성분의 비율로서 표시된다.

$$[0103] \quad W = \frac{E_\rho}{E_z} = |W|e^{j\psi} \quad (30a)$$

$$[0104] \quad \frac{1}{W} = \frac{E_z}{E_\rho} = \tan \theta_i = \frac{1}{|W|}e^{-j\psi} \quad (30b)$$

[0105] 이는 복소수이며, 크기 및 위상 양자 모두를 갖는다. 영역 2에서의 전자기파에 대하여, 파 경사 각도(ψ)는 영역 1과의 경계 계면에서의 파면의 법선과 이 경계 계면에 대한 접선 사이의 각도와 같다. 이는 레디얼 원통형 유도 표면파에 대하여 전자기파의 등위상 표면과 그 법선들을 예시하는 도 5b에서 더 쉽게 알 수 있다. 완전 전도체와의 경계 계면($z = 0$)에서, 파면 법선은 경계 계면의 접선에 평행하고 $W = 0$ 를 초래한다. 그러나, 손실성 유전체의 경우, 파면 법선이 $z = 0$ 에서 경계 계면의 접선과 평행하지 않기 때문에 파 경사(W)가 존재한다.

[0106] 유도 표면파에 방정식 (30b)를 적용하면 다음이 제공된다.

$$[0107] \quad \tan \theta_{i,B} = \frac{E_z}{E_\rho} = \frac{u_z}{y} = \sqrt{\epsilon_r - jx} = n = \frac{1}{W} = \frac{1}{|W|}e^{-j\psi} \quad (31)$$

[0108] 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$)와 같은 입사각에서, 방정식 (25)의 Fresnel 반사 계수는 다음에 의해 나타나는 바와 같이 사라진다.

$$[0109] \quad \Gamma_{\parallel}(\theta_{i,B}) = \frac{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} - (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i}{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} + (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i} \Big|_{\theta_i = \theta_{i,B}} = 0 \quad (32)$$

[0110] 방정식 (22)의 복소 필드 비율을 조정함으로써, 입사 필드는 반사가 감소되거나 제거되는 복소 각도에서 입사되도록 합성될 수 있다. 이러한 비율을 $n = \sqrt{\epsilon_r - jx}$ 로 정하면 반사가 사라지게 하는 복소 브루스터 각도에서 입사되는 합성 전기 필드가 도출된다.

[0111] 전기적 유효 높이의 개념은 유도 표면 도파 프로브(200)와의 복소 입사각을 갖는 전기 필드의 합성에 추가적 식견을 제공할 수 있다. 전기적 유효 높이(h_{eff})는 h_p 의 물리적 높이(또는 길이)를 갖는 모노폴에 대하여 다음과 같이 정의된다.

$$[0112] \quad h_{eff} = \frac{1}{I_0} \int_0^{h_p} I(z) dz \quad (33)$$

[0113] 이 방정식이 구조를 따른 소스 분포의 크기 및 위상에 의존하기 때문에, 유효 높이(또는 길이)는 일반적으로 복소수이다. 구조의 분포 전류($I(z)$)의 적분이 구조의 물리적 높이(h_p)에 걸쳐 수행되고, 구조의 베이스(또는 입력)를 통해 상향 유동하는 그라운드 전류(I_0)에 대해 정규화된다. 구조를 따른 분포 전류는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$I(z) = I_c \cos(\beta_0 z) \quad (34)$$

여기서 β_0 는 구조 상에서 전파하는 전류를 위한 전파 인자이다. 도 3의 예에서, I_c 는 유도 표면 도파 프로브 (200a)의 수직 구조를 따라 분포되는 전류이다.

예로서, 구조의 저부에 저 손실 코일(예를 들어, 나선형 코일)을 포함하는 급전 네트워크(209) 및 충전 단자 (T_1)와 코일 사이에 연결되는 수직 급전 라인 전도체를 고려한다. 코일(또는 나선형 지연 라인)에 기인한 위상 지연은 l_c 의 물리적 길이와 다음과 같은 전파 인자에서 $\theta_c = \beta_p l_c$ 이다.

$$\beta_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0} \quad (35)$$

여기서 V_f 는 구조 상의 속도 인자이고, λ_0 는 공급된 주파수에서의 파장이며, λ_p 는 속도 인자(V_f)로부터 초래되는 전파 파장이다. 위상 지연은 그라운드(말뚝(stake)) 전류(I_0)에 대해 측정된다.

추가적으로, 수직 급전 라인 전도체의 길이(l_w)를 따른 공간적 위상 지연은 수직 급전 라인 전도체를 위한 전파 위상 상수가 β_w 인 경우 $\theta_y = \beta_w l_w$ 에 의해 주어질 수 있다. 일부 구현예에서, 공간적 위상 지연은 $\theta_y = \beta_w h_p$ 에 의해 추산되며, 그 이유는 수직 급전 라인 전도체 길이(l_w)와 유도 표면 도파 프로브(200a)의 물리적 높이(h_p) 사이의 차이가 공급된 주파수(λ_0)에서 파장보다 매우 작기 때문이다. 결과적으로, 코일 및 수직 급전 라인 전도체를 통한 전체 위상 지연은 $\Phi = \theta_c + \theta_y$ 이고, 물리적 구조의 저부로부터 코일의 상단으로 공급되는 전류는 다음과 같으며,

$$I_c(\theta_c + \theta_y) = I_0 e^{j\Phi} \quad (36)$$

전체 위상 지연(Φ)은 그라운드(말뚝) 전류(I_0)에 대해 측정된다. 결과적으로, 유도 표면 도파 프로브(200)의

$$h_p \ll \lambda_0$$

전기적 유효 높이는 물리적 높이 인 경우에 대해 다음과 같이 추산될 수 있다.

$$h_{eff} = \frac{1}{l_0} \int_0^{h_p} I_0 e^{j\Phi} \cos(\beta_0 z) dz \cong h_p e^{j\Phi} \quad (37)$$

Φ 의 각도(또는 위상 이동)에서의 모노폴의 복소 유효 높이 $h_{eff} = h_p$ 는 소스 필드가 유도 표면 도파 모드에 매칭되게 하고 유도 표면파가 손실성 전도 매체(203) 상에서 발견되게 하도록 조정될 수 있다.

도 5a의 예에서, Hankel 크로스오버 거리(R_x)(121)에서 복소 브루스터 입사각($\theta_{i,B}$)을 갖는 입사 전기 필드(E)의 복소 각도 삼각법을 예시하기 위해 광선 광학이 사용된다. 방정식 (26)으로부터 손실성 전도 매체에 대하여 브루스터 각도가 복소수이고 다음에 의해 명시된다는 것을 상기하라.

$$\tan \theta_{i,B} = \sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}} = n \quad (38)$$

전기적으로, 기하학적 파라미터들은 다음에 의해 충전 단자(T_1)의 전기적 유효 높이(h_{eff})에 의해 관련된다.

$$R_x \tan \psi_{i,B} = R_x \times W = h_{eff} = h_p e^{j\Phi} \quad (39)$$

여기서, $\psi_{i,B} = (\pi/2) - \theta_{i,B}$ 는 손실성 전도 매체의 표면으로부터 측정된 브루스터 각도이다. 유도 표면 도파 모드로의 결합을 위해, Hankel 크로스오버 거리에서의 전기 필드의 파 경사는 Hankel 크로스오버 거리와 전기적 유효 높이의 비율로서 표현될 수 있다.

$$\frac{h_{eff}}{R_x} = \tan \psi_{i,B} = W_{R_x} \quad (40)$$

물리적 높이(h_p)와 Hankel 크로스오버 거리(R_x) 양자 모두가 실수량이기 때문에, Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서의 원하는 유도 표면과 경사의 각도(ψ)는 복소 유효 높이(h_{eff})의 위상(Φ)과 같다. 이는 코일의 공급 지

점에서의 위상, 그리고, 따라서, 방정식 (37)에서의 위상 이동을 변화시킴으로써, 복소 유효 높이의 위상(Φ)이 Hankel 크로스오버 지점(121)에서 유도 표면 도파 모드의 파 경사각(ψ)을 매칭시키도록 조절될 수 있다는 것을 의미한다: $\Phi=\psi$.

[0131] 도 5a에서, 손실성 전도 매체 표면을 따른 길이(R_x)의 인접한 변화, 충전 단자(T_1)와 Hankel 크로스오버 지점(121) 사이의 손실성 전도 매체 표면(127)과 충전 단자(T_1)의 중심과 R_x 의 Hankel 크로스오버 지점(121) 사이에서 연장하는 광선(124) 사이에서 측정된 복소 브루스터 각도($\psi_{i,B}$)를 갖는 우측 삼각형이 도시되어 있다. 충전 단자(T_1)가 적절한 위상 지연(Φ)을 갖는 전하로 여기되고 물리적 높이(h_p)에 위치한 상태에서, 결과적 전기 필드는 브루스터 각도에서 그리고 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 손실성 전도 매체 경계 계면으로 입사된다. 이들 조건 하에서, 반사 없이 또는 실질적으로 무시가능한 반사로 유도 표면 도파 모드가 여기될 수 있다.

[0132] 유효 높이(h_{eff})의 위상 이동(Φ)을 변화시키지 않고 충전 단자(T_1)의 물리적 높이가 감소되는 경우, 결과적 전기 필드는 유도 표면 도파 프로브(200)로부터 감소된 거리에서 브루스터 각도로 손실성 전도 매체(203)와 교차한다. 도 6은 브루스터 각도에서 전기 필드가 입사되는 거리에 대한 충전 단자(T_1)의 물리적 높이를 감소시키는 것의 영향을 예시한다. 높이가 h_3 로부터 h_2 를 통해 h_1 으로 감소됨에 따라, 전기 필드가 브루스터 각도에서 손실성 전도 매체(예를 들어, 지구)와 교차하는 지점이 충전 단자 위치에 더 근접해진다. 그러나, 방정식 (39)이 나타내는 바와 같이, 충전 단자(T_1)의 높이(H_1)(도 3)는 Hankel 함수의 원위 성분을 여기시키기 위해 물리적 높이(h_p) 이상이어야 한다. 충전 단자(T_1)가 유효 높이(h_{eff}) 이상에 위치한 상태에서, 손실성 전도 매체(203)는 도 5a에 예시된 바와 같이 Hankel 크로스오버 거리(R_x)(121) 이상에서 브루스터 입사각($\psi_{i,B}=(\pi/2)-\theta_{i,B}$)에서 조명될 수 있다. 충전 단자(T_1) 상의 속박 전하를 감소시키거나 최소화하기 위해, 높이는 전술한 바와 같이 충전 단자(T_1)의 구체 직경(또는 등가 구체 직경)의 적어도 4배이어야 한다.

[0133] 유도 표면 도파 프로브(200)는 복소 브루스터 각도에서 손실성 전도 매체(203)의 표면을 조명하는 파에 대응하는 파 경사를 갖는 전기 필드를 정립하고, 그에 의해, R_x 의 Hankel 크로스오버 지점(121)에서(또는 그를 초과하여) 유도 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭하는 것에 의해 레디얼 표면 전류를 여기시키도록 구성될 수 있다.

[0134] 도 7을 참조하면, 충전 단자(T_1)를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200b)의 예의 도식적 표현이 도시되어 있다. AC 소스(212)는 충전 단자(T_1)를 위한 여기 소스로서 작용하고, 이는 예를 들어 나선형 코일 같은 코일(215)을 포함하는 급전 네트워크(209)(도 3)를 통해 유도 표면 도파 프로브(200b)에 결합된다. 다른 구현예에서, AC 소스(212)는 일차 코일을 통해 코일(215)에 유도식으로 결합될 수 있다. 일부 실시예에서, 코일(215)에 대한 AC 소스(212)의 결합을 개선 및/또는 최대화하기 위해 임피던스 매칭 네트워크가 포함될 수 있다.

[0135] 도 7에 도시된 바와 같이, 유도 표면 도파 프로브(200b)는 손실성 전도 매체(203)에 의해 제공되는 평면에 실질적으로 수직인 수직 축(z)을 따라 위치되는 상부 충전 단자(T_1)(예를 들어, 높이(h_p)의 구체)를 포함할 수 있다. 제2 매체(206)는 손실성 전도 매체(203) 위에 위치된다. 충전 단자(T_1)는 자기 용량(C_T)을 갖는다. 동작 동안, 임의의 주어진 순간에 단자(T_1)에 인가된 전압에 의존하여 단자(T_1)에 전하(Q_1)가 부여된다.

[0136] 도 7의 예에서, 코일(215)은 제1 단부에서 그라운드 말뚝(218)에 결합되고 수직 급전 라인 전도체(221)를 통해 충전 단자(T_1)에 결합된다. 일부 구현예에서, 충전 단자(T_1)에 대한 코일 연결은 도 7에 도시된 바와 같이 코일(215)의 탭(tap)(224)을 사용하여 조정될 수 있다. 코일(215)은 코일(215)의 하부 부분에서 탭(227)을 통해 AC 소스(212)에 의해 동작 주파수로 에너지 공급될 수 있다. 다른 구현예에서, AC 소스(212)는 일차 코일을 통해 코일(215)에 유도식으로 결합될 수 있다.

[0137] 유도 표면 도파 프로브(200)의 구성 및 조정은 다양한 동작 조건, 예컨대, 전송 주파수, 손실성 전도 매체의 조건(예를 들어, 토양 전도율(σ) 및 상대 유전율(ϵ_r)) 및 충전 단자(T_1)의 크기에 기초한다. 굴절 지수는 방정식 (10) 및 (11)로부터 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$n = \sqrt{\epsilon_r - jx} \quad (41)$$

[0139] 여기서, $x = \sigma / \omega \epsilon_0$ 이고 $\omega = 2\pi f$ 이다. 전도율(σ) 및 상대 유전율(ϵ_r)은 손실성 전도 매체(203)의 테스트 측정

을 통해 결정될 수 있다. 또한, 표면 법선을 통해 측정된 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$)는 다음과 같이 방정식 (26)으로부터 결정될 수 있거나,

$$\theta_{i,B} = \arctan(\sqrt{\epsilon_r - jx}) \quad (42)$$

또는 다음과 같이 도 5a에 도시된 바와 같은 표면으로부터 측정될 수 있다.

$$\psi_{i,B} = \frac{\pi}{2} - \theta_{i,B} \quad (43)$$

Hankel 크로스오버 거리(W_{Rx})에서의 파 경사는 또한 방정식 (40)을 사용하여 발견될 수 있다.

Hankel 크로스오버 거리는 또한 $-j\gamma\rho$ 에 대하여 방정식 (20b) 및 (21)의 크기를 같다고 놓고 도 4에 예시된 바와 같이 R_x 에 대하여 푸는 것에 의해 발견될 수 있다. 전기적 유효 높이는 그후 다음과 같이 복소 브루스터 각도 및 Hankel 크로스오버 거리를 사용하여 방정식 (39)로부터 결정될 수 있다.

$$h_{eff} = h_p e^{j\Phi} = R_x \tan \psi_{i,B} \quad (44)$$

방정식 (44)으로부터 알 수 있는 바와 같이, 복소 유효 높이(h_{eff})는 충전 단자(T_1)의 물리적 높이(h_p)와 연계된 크기 및 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서의 파 경사의 각도(ψ)와 연계되는 위상 지연(Φ)을 포함한다. 이들 변수 및 선택된 충전 단자(T_1) 구성에서, 유도 표면 도파 프로브(200)의 구성을 결정하는 것이 가능하다.

충전 단자(T_1)가 물리적 높이(h_p) 이상에 위치된 상태에서, 급전 네트워크(209)(도 3) 및/또는 급전 네트워크를 충전 단자(T_1)에 연결하는 수직 급전 라인은 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)의 위상(Φ)을 파 경사(W)의 각도(ψ)에 매칭시키도록 조정될 수 있다. 충전 단자(T_1)의 크기는 단자 상에 부여되는 전하(Q_1)를 위해 충분히 큰 표면을 제공하도록 선택될 수 있다. 일반적으로, 실용적으로 가능한 한 크게 충전 단자(T_1)를 구성하는 것이 바람직하다. 충전 단자(T_1)의 크기는 충전 단자 주변의 전기 방전 또는 스파크형성을 초래할 수 있는 주변 공기의 이온화를 피하도록 충분히 커야 한다.

나선형으로 권선된 코일의 위상 지연(θ_c)은 Corum, K.L. 및 J.F. Corum의 "RF Coils, Helical Resonators and Voltage Magnification by Coherent Spatial Modes"(Microwave Review, Vol. 7, No. 2, September 2001, pp. 36-45)에 설명된 바와 같이 Maxwell 방정식으로부터 결정될 수 있으며, 상기 문헌은 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합되어 있다. $H/D > 1$ 인 나선형 코일에 대하여, 광속(c) 또는 "속도 인자"에 대한 코일의 종축을 따른 파의 전파 속도(v)의 비율은 다음에 의해 주어진다.

$$V_f = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 + 20\left(\frac{D}{s}\right)^{2.5} \left(\frac{D}{\lambda_0}\right)^{0.5}}} \quad (45)$$

여기서, H 는 솔레노이드 나선의 축방향 길이이고, D 는 코일 직경이며, N 은 코일의 권회수이고, $s=H/N$ 은 코일의 권선간 간격(또는 나선 피치)이고, λ_0 는 자유 공간 파장이다. 이러한 관계에 기초하여, 나선형 코일의 전기적 길이 또는 위상 지연은 다음에 의해 주어진다.

$$\theta_c = \beta_p H = \frac{2\pi}{\lambda_p} H = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0} H \quad (46)$$

나선이 나선형으로 권선되거나 짧고 뚱뚱한 경우 원리는 동일하지만 V_f 및 θ_c 는 경험적 측정에 의해 취득하기가 더 용이하다. 또한, 나선형 전송 라인의 특성(파) 임피던스에 대한 방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$Z_c = \frac{60}{V_f} \left[\ln \left(\frac{V_f \lambda_0}{D} \right) - 1.027 \right] \quad (47)$$

구조의 공간적 위상 지연(θ_y)은 수직 급전 라인 전도체(221)(도 7)의 진행 파 위상 지연을 사용하여 결정될 수 있다. 완전한 그라운드 평면 위의 원통형 수직 전도체의 용량은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C_A = \frac{2\pi\epsilon_0 h_w}{\ell n\left(\frac{h}{a}\right)-1} \text{ Farads} \quad (48)$$

여기서 h_w 는 전도체의 수직 길이(또는 높이)이고, a 는 반경(mks 단위)이다. 나선형 코일에서와 같이, 수직 급전 라인 전도체의 진행 파 위상 지연은 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$\theta_y = \beta_w h_w = \frac{2\pi}{\lambda_w} h_w = \frac{2\pi}{V_w \lambda_0} h_w \quad (49)$$

여기서, β_w 는 수직 급전 라인 전도체의 전파 위상 상수이고, h_w 는 수직 급전 라인 전도체의 수직 길이(또는 높이)이고, V_w 는 전선 상의 속도 인자이며, λ_0 는 공급 주파수에서의 파장이고, λ_w 는 속도 인자(V_w)로부터 초래되는 전파 파장이다. 균일한 원통형 전도체에 대하여, 속도 인자는 $V_w \approx 0.94$ 인 상수이거나, 약 0.93 내지 약 0.98의 범위에 있다. 마스트(mast)가 균일한 전송 라인인 것으로 고려되는 경우, 그 평균 특성 임피던스는 다음에 의해 추산될 수 있다.

$$Z_w = \frac{60}{V_w} \left[\ell n\left(\frac{h_w}{a}\right) - 1 \right] \quad (50)$$

여기서, 균일한 원통형 전도체에 대하여 $V_w \approx 0.94$ 이고, a 는 전도체의 반경이다. 단선 급전 라인의 특성 임피던스를 위해 아마추어 무선 문헌에서 사용되어온 대안적 방정식은 다음에 의해 주어진다.

$$Z_w = 138 \log\left(\frac{1.123 V_w \lambda_0}{2\pi a}\right) \quad (51)$$

방정식 (51)은 단선 급전선에 대한 Z_w 는 주파수에 따라 변한다는 것을 의미한다. 위상 지연은 용량과 특성 임피던스에 기초하여 결정될 수 있다.

충전 단자(T_1)가 도 3에 도시된 바와 같은 손실성 전도 매체(203) 위에 위치된 상태에서, 급전 네트워크(209)는 복소 유효 높이(h_{eff})의 위상 이동(Φ)이 Hankel 크로스오버 거리에서의 파 경사의 각도(ψ)와 같은 또는 $\Phi = \psi$ 인 상태로 충전 단자(T_1)를 여기시키도록 조정될 수 있다. 이러한 조건이 충족될 때, 충전 단자(T_1) 상의 전하 진동(Q_1)에 의해 생성되는 전기장은 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따라 진행하는 유도 표면 도파 모드로 결합된다. 예로서, 브루스터 각도($\theta_{i,B}$), 수직 급전 라인 전도체(221)(도 7)와 연계된 위상 지연(θ_y) 및 코일(215)(도 7)의 구성이 알려져 있는 경우, 이때, 탭(224)(도 7)의 위치는 위상 $\Phi = \psi$ 인 상태로 충전 단자(T_1) 상에 진동하는 전하(Q_1)를 부여하도록 결정 및 조정될 수 있다. 탭(224)의 위치는 표면파를 유도 표면 도파 모드로의 진행하는 표면파의 결합을 최대화하도록 조정될 수 있다. 탭(224)의 위치를 초과한 잉여 코일 길이는 용량성 영향을 감소시키기 위해 제조될 수 있다. 수직 전선 높이 및/또는 나선형 코일의 기하학적 파라미터도 변경될 수 있다.

손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 모드로의 결합은 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)와 연계된 복소 이미지 평면에 관한 정재파 공진에 대해 유도 표면 도파 프로브(200)를 튜닝함으로써 개선 및/또는 최적화될 수 있다. 이렇게 함으로써, 유도 표면 도파 프로브(200)의 성능은 충전 단자(T_1) 상에서의 증가된 및/또는 최대 전압(그리고, 이에 따라 전하(Q_1))을 위해 조정될 수 있다. 도 3을 다시 참조하면, 영역 1에서의 손실성 전도 매체(203)의 영향은 이미지 이론 분석을 사용하여 검토될 수 있다.

물리적으로, 완전 전도성 평면 위에 배치된 상승된 전하(Q_1)는 완전 전도성 평면 상의 자유 전하를 끌어당기고, 이는 그 후 상승된 전하(Q_1) 아래의 영역에 "쌓이게" 된다. 완전 전도성 평면 상의 "속박" 전하의 결과적 분포는 종-형상 곡선과 유사하다. 그 아래의 유도된 "쌓인" 전하의 전위에 더해진 상승된 전하(Q_1)의 전위의 중첩은 완전 전도성 평면을 위한 제로 등전위 표면을 강요한다. 완전 전도성 평면 위의 영역에서의 필드를 설명하는 경계값 문제 해는 이미지 전하의 고전적 개념을 사용하여 얻어질 수 있으며, 여기서, 상승된 전하로부터의 필드는 완전 전도성 평면 아래의 대응하는 "이미지" 전하로부터의 필드와 중첩된다.

이러한 분석은 또한 유도 표면 도파 프로브(200) 아래의 유효 이미지 전하(Q_1')의 존재를 가정함으로써 손실성

전도 매체(203)에 관하여 사용될 수 있다. 유효 이미지 전하(Q_1')는 도 3에 예시된 바와 같은 전도성 이미지 그라운드 평면(130)에 대하여 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)와 매칭된다. 그러나, 이미지 전하(Q_1')는 단순히 완전 전도체의 경우에 그러한 바와 같이 충전 단자(T_1) 상의 일차 소스 전하(Q_1)와 180도 위상차를 갖고 소정 실제 깊이에 위치되는 것 만은 아니다. 오히려, 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지상 매체)는 위상 이동된 이미지를 제공한다. 즉, 이미지 전하(Q_1')는 손실성 전도 매체(203)의 표면(또는 물리적 경계) 아래의 복소 깊이에 있다. 복소 이미지 깊이에 대한 설명에 대해서는 Wait, J. R.의 "Complex Image Theory—Revisited"(IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 33, No. 4, August 1991, pp. 27-29)를 참고하며, 이 문헌은 본 명세서에 그 전문이 참조로 통합되어 있다.

[0167] 전하(Q_1)의 물리적 높이(H_1)와 같은 깊이에 있는 이미지 전하(Q_1') 대신, 전도성 이미지 그라운드 평면(130)(완전 전도체를 나타냄)은 $z=-d/2$ 의 복소 깊이에 위치되고, 이미지 전하(Q_1')는 $-D_1 = -(d/2 + d/2 + H_1) \neq H_1$ 로 주어지는 복소 깊이에서 나타난다(즉, "깊이"는 크기 및 위상 양자 모두를 갖는다). 지구 위의 수직방향으로 편광된 소스에 대하여, 다음과 같고,

$$d = \frac{2\sqrt{\gamma_s^2 + k_o^2}}{\gamma_s^2} \approx \frac{2}{\gamma_s} = d_r + jd_i = |d|\angle\zeta \quad (52)$$

[0169] 여기서, 방정식 (12)에 나타난 바와 같이 다음과 같다.

$$\gamma_s^2 = j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\epsilon_1, \text{ 및} \quad (53)$$

$$k_o = \omega\sqrt{\mu_o\epsilon_o} \quad (54)$$

[0172] 이미지 전하의 복소 간격은 따라서 외부적 필드가 계면이 유전체 또는 완전 전도체 중 어느 하나일 때 발생하지 않는 추가적 위상 이동을 나타낸다는 것을 의미한다. 손실성 전도 매체에서, 파면 법선은 영역 1과 영역 2 사이의 경계 계면에 있지 않고 $z=-d/2$ 에서 전도성 이미지 그라운드 평면(130)의 접선과 평행하다.

[0173] 손실성 전도 매체(203)가 물리적 경계(136)를 갖는 유한 전도성 지구(133)인 도 8a에 예시된 경우를 고려한다. 유한 전도성 지구(133)는 물리적 경계(136) 아래의 복소 깊이(z_1)에 위치되어 있는 도 8b에 도시된 바와 같은 완전 전도성의 이미지 그라운드 평면(139)으로 대체될 수 있다. 이러한 등가의 표현은 물리적 경계(136)의 계면으로 내려다볼 때 동일한 임피던스를 나타낸다. 도 8b의 등가 표현은 도 8c에 도시된 바와 같이 등가 전송 라인으로서 모델링될 수 있다. 등가 구조의 단면은 (z -방향) 종단 장하된(end-loaded) 전송 라인으로서 표현되고, 완전 전도성의 이미지 평면의 임피던스는 단락 회로가 된다($z_s=0$). 깊이(z_1)는 지구에서 내려다본 TEM 파 임피던스를 도 8c의 전송 라인을 볼 때 보여지는 임피던스 그라운드 평면 임피던스(Z_{in})와 같다고 놓음으로써 결정될 수 있다.

[0174] 도 8a의 경우에, 상부 영역(공기)(142)에서의 전파 상수 및 파 고유 임피던스는 다음과 같다.

$$\gamma_o = j\omega\sqrt{\mu_o\epsilon_o} = 0 + j\beta_o, \text{ 및} \quad (55)$$

$$z_o = \frac{j\omega\mu_o}{\gamma_o} = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \quad (56)$$

[0177] 손실성 지구(133)에서, 전파 상수 및 파 고유 임피던스는 다음과 같다.

$$\gamma_s = \sqrt{j\omega\mu_1(\sigma_1 + j\omega\epsilon_1)}, \text{ 및} \quad (57)$$

$$Z_s = \frac{j\omega\mu_1}{\gamma_s} \quad (58)$$

[0180] 수직 입사에 대해, 도 8b의 등가 표현은 그 특성 임피던스가 공기의 것(z_o)이고, γ_o 의 전파 상수를 가지며, 그 길이가 z_1 인 TEM 전송 라인과 등가이다. 이 때문에 도 8c의 단락된 전송 라인을 위한 계면에서 본 이미지 그라

운드 평면 임피던스(Z_{in})는 다음에 의해 주어진다.

$$Z_{in} = Z_o \tanh(\gamma_o z_1) \quad (59)$$

도 8c의 등가 모델과 연계된 이미지 그라운드 평면 임피던스(Z_{in})를 도 8a의 법선 입사 파 임피던스와 같다고 놓고, z_1 에 대해 풀면 다음과 같은 단락 회로(완전히 전도성인 이미지 그라운드 평면(139))까지의 거리가 주어진다.

$$z_1 = \frac{1}{\gamma_o} \tanh^{-1} \left(\frac{Z_s}{Z_o} \right) = \frac{1}{\gamma_o} \tanh^{-1} \left(\frac{\gamma_o}{\gamma_s} \right) \approx \frac{1}{\gamma_s} \quad (60)$$

역 쌍곡선 탄젠트에 대한 급수 전개 첫 번째 항만이 이러한 근사화에 고려된다. 공기 영역(142)에서, 전파 상수는 $\gamma_o = j\beta_o$ 이고, 그래서, $Z_{in} = jZ_o \tan \beta_o z_1$ (실제 z_1 에 대한 순수 가상적 양임)이지만, z_e 는 $\sigma \neq 0$ 인 경우 복소 값이다. 따라서, z_1 이 복소 거리인 경우에만 $Z_{in} = Z_e$ 이다.

도 8b의 등가 표현이 완전히 전도성인 이미지 그라운드 평면(139)을 포함하기 때문에, 지구의 표면에 놓여지는 (물리적 경계(136)) 전하 또는 전류의 이미지 깊이는 이미지 그라운드 평면(139)의 다른 측부 상에서 거리(z_1)와 동일하거나 지구의 표면($z = 0$ 에 위치됨) 아래에서 $d = 2 \times z_1$ 이다. 따라서, 완전히 전도성인 이미지 그라운드 평면(139)에 대한 거리는 다음과 같이 추산될 수 있다.

$$d = 2z_1 \approx \frac{2}{\gamma_s} \quad (61)$$

추가적으로, "이미지 전하"는 실제 전하에 대해 "동일하면서 반대"이고, 그래서, 깊이 $z_1 = -d/2$ 에서 완전히 전도성인 이미지 그라운드 평면(139)의 전위는 0일 것이다.

전하(Q_1)가 도 3에 예시된 바와 같은 지구의 표면 위 거리(H_1)로 상승되는 경우, 이때 이미지 전하(Q_1')는 표면 아래 $D_1 = d + H_1$ 의 복소 거리에 존재하거나 이미지 그라운드 평면(130) 아래 $d/2 + H_1$ 의 복소 거리에 존재한다. 도 7의 유도 표면 도파 프로브(200b)는 도 8b의 완전 전도성 이미지 그라운드 평면(139)에 기초할 수 있는 등가 단선 전송 라인 이미지 평면 모델로서 모델링될 수 있다. 도 9a는 등가 단선 전송 라인 이미지 평면 모델의 예를 도시하고, 도 9b는 도 8c의 단락 전송 라인을 포함하는 등가 고전적 전송 라인 모델의 예를 예시한다.

도 9a 및 도 9b의 등가 이미지 평면 모델에서, $\Phi = \theta_y + \theta_c$ 는 지구(133)(또는 손실성 전도 매체(203))를 기준으로 한 유도 표면 도파 프로브(200)의 진행과 위상 지연이고, $\theta_c = \beta_p H$ 는 도 단위로 표현된 물리적 길이(H)의 코일(215)(도 7)의 전기적 길이이며, $\theta_y = \beta_w h_w$ 는 도 단위로 표현된 물리적 길이(h_w)의 수직 급전 라인 전도체(221)(도 7)의 전기적 길이이며, $\theta_d = \beta_o d/2$ 는 지구(133)(또는 손실성 전도 매체(203))의 물리적 경계(136)와 이미지 그라운드 평면(139) 사이의 위상 이동이다. 도 9a 및 도 9b의 예에서, Z_w 는 음단위의 상승된 수직 급전 라인 전도체(221)의 특성 임피던스이고, Z_c 는 음 단위의 코일(215)의 특성 임피던스이고, Z_o 는 자유 공간의 특성 임피던스이다.

유도 표면 도파 프로브(200)의 베이스에서, 구조 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 $Z_{\uparrow} = Z_{base}$ 이다. 다음과 같은 부하 임피던스에서:

$$Z_L = \frac{1}{j\omega C_T} \quad (62)$$

-여기서 C_T 는 충전 단자(T_1)의 자기 용량임- 수직 급전 라인 전도체(221)(도 7) 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 다음에 의해 주어지고:

$$Z_2 = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tanh(j\beta_w h_w)}{Z_w + Z_L \tanh(j\beta_w h_w)} = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tanh(j\theta_y)}{Z_w + Z_L \tanh(j\theta_y)} \quad (63)$$

코일(215)(도 7) 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 다음에 의해 주어진다:

$$Z_{base} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tanh(j\beta_p H)}{Z_c + Z_2 \tanh(j\beta_p H)} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tanh(j\theta_c)}{Z_c + Z_2 \tanh(j\theta_c)} \quad (64)$$

유도 표면 도파 프로브(200)의 베이스에서, 손실성 전도 매체(203) 내로 "아래로 본" 관찰된 임피던스는 $Z_L = Z_{in}$ 이고, 다음에 의해 주어지며:

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_s + Z_o \tanh[j\beta_o (d/2)]}{Z_o + Z_s \tanh[j\beta_o (d/2)]} = Z_o \tanh(j\theta_d) \quad (65)$$

여기서 $Z_s = 0$ 이다.

손실을 무시하면, 등가 이미지 평면 모델은 물리적 경계(136)에서 $Z_L + Z_T = 0$ 일 때의 공진으로 튜닝될 수 있다. 또는, 저 손실의 경우에, 물리적 경계(136)에서 $X_L + X_T = 0$ 이고, 여기서 X 는 대응하는 반작용 성분이다. 따라서, 유도 표면 도파 프로브(200) 내로 "올려다본" 물리적 경계(136)에서의 임피던스는 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 물리적 경계(136)에서의 임피던스의 켈레이다. $\Phi = \Psi$ 이도록 매체의 파 경사각(Ψ)과 동일한 진행파 위상 지연(Φ)을 유지하면서-이는 손실성 전도 매체(203)(예컨대, 지구)의 표면을 따른 유도 표면 도파 모드에 대한 프로브의 전기 필드의 결합을 개선 및/또는 최대화함- 충전 단자(T_1)의 부하 임피던스(Z_L)를 조정함으로써, 도 9a 및 도 9b의 등가 이미지 평면 모델은 이미지 그라운드 평면(139)에 관하여 공진하도록 튜닝될 수 있다. 이러한 방식으로, 등가 복소 이미지 평면 모델의 임피던스는 순수히 저항성이고, 이는 프로브 구조 상의 중첩된 정재파를 유지하며, 이는 단자(T_1) 상의 전압 및 상승된 전하를 최대화하고 방정식 (1)-(3) 및 (16)에 의해 전파 표면파를 최대화한다.

Hankel 해로부터 유도 표면 도파 프로브(200)에 의해 여기된 유도 표면파는 외향 전파 진행파라는 것을 알 수 있다. 유도 표면 도파 프로브(200)의 그라운드 말뚝(218)(도 3 및 도 7)과 충전 단자(T_1) 사이의 급전 네트워크(209)를 따른 소스 분배는 실제로 구조 상의 정재파와 진행파를 더한 중첩으로 구성된다. 물리적 높이(h_p)에 또는 그 위에 충전 단자(T_1)가 위치된 상태에서, 급전 네트워크(209)를 통해 이동하는 진행파는 손실성 전도 매체(203)와 연계된 파 경사각에 매칭된다. 이러한 모드 매칭은 손실성 전도 매체(203)를 따라 진행파가 발견될 수 있게 한다. 진행파에 대해 위상 지연이 정립되고 나면, 충전 단자(T_1)의 부하 임피던스(Z_L)는 프로브 구조가 $-d/2$ 의 복소 깊이인 이미지 그라운드 평면(도 3의 130 또는 도 8의 139)에 관한 정재파 공진상태가 되게 하도록 조정된다. 이 경우, 이미지 그라운드 평면으로부터 본 임피던스는 제로 리액턴스를 가지고, 충전 단자(T_1) 상의 전하는 최대화된다.

진행파 현상과 정재파 현상 사이의 구분은 (1) 길이(d)의 전송 라인의 섹션(때때로 "지연 라인"이라 지칭됨) 상의 진행파의 위상 지연($\Theta = \beta d$)이 전파 시간 지연에 기인하는 반면 (2) 정재파(순방향 전파파와 역방향 전파파로 구성됨)의 위치 의존성 위상은 상이한 특성 임피던스의 라인 섹션 사이의 계면에서의 임피던스 전이와 라인 길이 전파 시간 지연 양자 모두에 의존한다는 점이다. 사인곡선형 정상 상태(steady-state)에서 동작하는 전송 라인의 섹션의 물리적 길이에 기인하여 발생하는 위상 지연에 추가로, Z_{oa}/Z_{ob} 의 비율에 기인한 임피던스 불연속 부에서의 추가적 반사 계수 위상이 존재하며, 여기서 Z_{oa} 및 Z_{ob} 는 예를 들어 특성 임피던스 $Z_{oa} = Z_c$ 의 나선형 코일 섹션(도 9b) 및 특성 임피던스 $Z_{ob} = Z_w$ 의 수직 급전 라인 전도체의 직선 섹션(도 9b) 같은 전송 라인의 두개의 섹션의 특성 임피던스이다.

이러한 현상의 결과로서, 매우 다른 특성 임피던스의 두 개의 비교적 짧은 전송 라인 섹션이 매우 큰 위상 이동을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 예로서, 하나는 저 임피던스이고 하나는 고 임피던스이며 함께 합쳐서 말하자면 0.05λ 의 물리적 길이를 갖는 전송 라인의 두 개의 섹션으로 구성된 프로브 구조가 제조되어 0.25λ 공진과 등가인 90° 의 위상 이동을 제공한다. 이는 특성 임피던스의 큰 점프에 기인한다. 이러한 방식으로, 물리적으로 짧은 프로브 구조는 조합된 두 개의 물리적 길이보다 전기적으로 더 길 수 있다. 임피던스 비율의 불연속성이 위상의 큰 점프를 제공하는 도 9a 및 도 9b에 예시되어 있다. 임피던스 불연속성은 상당한 위상 이동을 제공하고, 여기서 섹션들은 함께 결합되어 있다.

도 10을 참조하면, 유도 표면 도파 프로브(200)(도 3 및 도 7)를 손실성 전도 매체의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭되도록 조정하는 예를 예시하는 흐름도(150)가 도시되어 있으며, 이는 손실성 전도

매체(203)를 따른 유도 표면 진행파를 발진시킨다(도 3). 153에서 시작하여, 유도 표면 도파 프로브(200)의 충전 단자(T_1)는 손실성 전도 매체(203) 위의 규정된 높이에 위치된다. 손실성 전도 매체(203)의 특성 및 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작 주파수를 사용하여, Hankei 크로스오버 거리는 또한 $-j\gamma\rho$ 에 대한 방정식 (20b) 및 (21)의 크기를 같다고 놓고 도 4에 예시된 바와 같이 R_x 에 대해 푸는 것에 의해 찾아질 수 있다. 복소 굴절 지수(n)는 방정식 (41)을 사용하여 결정될 수 있고, 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$)는 그후 방정식 (42)로부터 결정될 수 있다. 충전 단자(T_1)의 물리적 높이(h_p)는 그후 방정식 (44)로부터 결정될 수 있다. 충전 단자(T_1)는 Hankei 함수의 원위 성분을 여기하기 위해 물리적 높이(h_p) 이상이어야 한다. 이러한 높이 관계는 초기에 표면과 발진시 고려된다. 충전 단자(T_1) 상의 속박 전하를 감소시키거나 최소화하기 위해, 높이는 충전 단자(T_1)의 구체 직경(또는 등가 구체 직경)의 적어도 4배이어야 한다.

[0204] 156에서, 충전 단자(T_1) 상의 상응된 전하(Q_1)의 전기적 위상 지연(Φ)은 복소 파 경사각(ψ)에 매칭된다. 나선형 코일의 위상 지연(θ_c) 및/또는 수직 급전 라인 전도체의 위상 지연(θ_y)은 파 경사(W)의 각도(ψ)와 Φ 가 같아지게 하도록 조정될 수 있다. 방정식 (31)에 기초하여, 파 경사의 각도(ψ)는 아음으로부터 결정될 수 있다.

$$W = \frac{E_z}{E_x} = \frac{1}{\tan \theta_{i,B}} = \frac{1}{n} = |W|e^{j\Psi} \quad (66)$$

[0205] 전기적 위상(Φ)은 그후 파 경사 각도에 매칭될 수 있다. 이러한 각도(또는 위상) 관계는 다음에 표면과 발진시 고려된다. 예로서, 전기적 위상 지연($\Phi = \theta_c + \theta_y$)은 수직 급전 라인 전도체(221)(도 7)의 길이(또는 높이) 및/또는 코일(215)(도 7)의 기하학적 파라미터를 변경함으로써 조정될 수 있다. $\Phi = \psi$ 로 매칭시킴으로써, 전기적 필드는 표면 도파 모드를 여기시키고 손실성 전도 매체(203)를 따른 진행파를 발진시키기 위해 경계 계면에서 복소 브루스터 각도로 Hankei 크로스오버 거리(R_x)에 또는 그를 초과하여 형성될 수 있다.

[0207] 다음에, 159에서, 충전 단자(T_1)의 부하 임피던스는 유도 표면 도파 프로브(200)의 등가 이미지 평면 모델을 공진시키도록 튜닝된다. 도 9a 및 도 9b의 전도성 이미지 그라운드 평면(139)(또는 도 3의 130)의 깊이($d/2$)는 방정식 (52), (53) 및 (54)와 측정될 수 있는 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구)의 값을 사용하여 결정될 수 있다. 해당 깊이를 사용하여, 손실성 전도 매체(203)의 물리적 경계(136)와 이미지 그라운드 평면(139) 사이의 위상 이동(θ_d)은 $\theta_d = \beta_0 d/2$ 를 사용하여 결정될 수 있다. 그후, 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 관찰된 바와 같은 임피던스(Z_{in})는 방정식 (65)를 사용하여 결정될 수 있다. 이러한 공진 관계는 발진된 표면파를 최대화하기 위해 고려될 수 있다.

[0208] 코일(215)의 조정된 파라미터와 수직 급전 라인 전도체(221)의 길이에 기초하여, 속도 인자, 위상 지연 및 코일(215)과 수직 급전 라인 전도체(221)의 임피던스가 방정식 (45) 내지 (51)을 사용하여 결정될 수 있다. 추가적으로, 충전 단자(T_1)의 자기 용량(C_T)은 예를 들어 방정식 (24)를 사용하여 결정될 수 있다. 코일(215)의 전파 인자(β_p)는 방정식 (35)를 사용하여 결정될 수 있고, 수직 급전 라인 전도체(221)를 위한 전파 위상 상수(β_w)는 방정식 (49)를 사용하여 결정될 수 있다. 수직 급전 라인 전도체(221)와 코일(215)의 결정된 값 및 자기 용량을 사용하여, 코일(215) 내로 "올려다본" 관찰된 바와 같은 유도 표면 도파 프로브(200)의 임피던스(Z_{base})는 방정식 (62), (63) 및 (64)를 사용하여 결정될 수 있다.

[0209] 유도 표면 도파 프로브(200)의 등가 이미지 평면 모델은 Z_{base} 의 리액턴스 성분(X_{base})이 Z_{in} 의 리액턴스 성분(X_{in})을 소거하도록 또는 $X_{base} + X_{in} = 0$ 이도록 부하 임피던스(Z_L)를 조정하는 것에 의해 공진에 대해 튜닝될 수 있다. 따라서, 유도 표면 도파 프로브(200) 내로 "올려다본" 물리적 경계(136)에서의 임피던스는 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 물리적 경계(136)에서의 임피던스의 켤레이다. 부하 임피던스(Z_L)는 충전 단자(T_1)의 전기적 위상 지연($\Phi = \theta_c + \theta_y$)을 변화시키지 않고 충전 단자(T_1)의 용량(C_T)을 변화시킴으로써 조정될 수 있다. 전도성 이미지 그라운드 평면(139)(또는 130)에 관한 등가 이미지 평면 모델의 공진을 위한 부하 임피던스(Z_L)를 튜닝하기 위해 반복 접근법이 수행될 수 있다. 이러한 방식으로 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구)의 표면을 따른 유도 표면 도파 모드에 대한 전기적 필드의 결합이 개선 및/또는 최대화될 수 있다.

[0210] 이는 수치적 예를 갖는 상황을 예시함으로써 더 양호하게 이해될 수 있다. 상단에 충전 단자(T_1)를 갖는 물리적 높이(h_p)의 상단 부하형 수직 스티브를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200)를 고려하고, 여기서, 충전 단자(T_1)는 1.85 MHz의 동작 주파수(f_o)에서 수직 급전 라인 전도체와 나선형 코일을 통해 여기된다. 16 피트의 높이(H_1) 및 $\epsilon_r=15$ 의 상대 유전율과 $\sigma_1=0.010$ mhos/m의 전도율을 갖는 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구)에서, 몇몇 표면파 전파 파라미터가 $f_o=1.850$ MHz에 대해 계산될 수 있다. 이들 조건 하에서, Hankel 크로스 오버 거리는 $h_p=5.5$ 의 물리적 높이에서 $R_x=54.5$ feet가 되는 것으로 판명되고, 이는 충전 단자(T_1)의 실제 높이보다 매우 아래이다. $H_1=5.5$ feet의 충전 단자 높이가 사용되었지만, 더 높은 프로브 구조는 결합 용량을 감소시켜 충전 단자(T_1) 상의 자유 전하의 더 큰 백분율을 허용함으로써 더 큰 필드 강도와 진행파의 여기를 제공한다.

[0211] 파 길이는 다음과 같이 결정될 수 있다:

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o} = 162.162 \text{ meters} \quad (67)$$

[0212] 여기서, c 는 광속이다. 복소 굴절 지수는 방정식 (41)로부터 다음과 같으며:

$$n = \sqrt{\epsilon_r - jx} = 7.529 - j 6.546 \quad (68)$$

[0215] 여기서, $\omega=2\pi f_o$ 에서 $x=\sigma_1/\omega \epsilon_o$ 이고, 복소 브루스터 각은 방정식 (42)로부터 다음과 같다:

$$\theta_{i,B} = \arctan(\sqrt{\epsilon_r - jx}) = 85.6 - j 3.744^\circ \quad (69)$$

[0217] 방정식 (66)을 사용하여, 파 경사 값은 다음이 되도록 결정될 수 있다:

$$W = \frac{1}{\tan \theta_{i,B}} = \frac{1}{n} = |W|e^{j\Psi} = 0.101e^{j40.614^\circ} \quad (70)$$

[0219] 따라서, 나선형 코일은 매칭되도록 조정될 수 있다 $\Phi=\Psi=40.614^\circ$.

[0220] 수직 급전 라인 전도체(0.27 인치의 직경을 갖는 균일한 원통형 전도체로 가정됨)의 속도 인자는 $V_w \approx 0.93$ 로서 주어질 수 있다. $h_p \ll \lambda_o$ 이기 때문에, 수직 급전 라인 전도체를 위한 전파 위상 상수는 다음과 같이 추산될 수 있다:

$$\beta_w = \frac{2\pi}{\lambda_w} = \frac{2\pi}{V_w \lambda_o} = 0.042 \text{ m}^{-1} \quad (71)$$

[0222] 방정식 (49)로부터 수직 급전 라인 전도체의 위상 지연은 다음과 같다:

$$\theta_y = \beta_w h_w \approx \beta_w h_p = 11.640^\circ \quad (72)$$

[0224] $\theta_c = 28.974^\circ = 40.614^\circ - 11.640^\circ$ 이 되도록 나선형 코일의 위상 지연을 조정함으로써, Φ 는 유도 표면 도파 모드에 매칭되도록 Ψ 와 같을 것이다. Φ 와 Ψ 사이의 관계를 예시하기 위해, 도 11은 주파수 범위에 걸친 양자의 플롯을 도시한다. Φ 및 Ψ 양자 모두가 주파수 의존성이기 때문에, 그 각각의 곡선이 대략 1.85 MHz에서 서로 크로스오버되는 것을 볼 수 있다.

[0225] 0.0881 인치의 전도체 직경, 30 인치의 코일 직경(D) 및 4 인치의 권선간 간격(s)을 갖는 나선형 코일에 대하여, 코일을 위한 속도 인자는 방정식 (45)를 사용하여 다음과 같이 결정될 수 있다:

$$V_f = \frac{1}{\sqrt{1+20\left(\frac{D}{s}\right)^{2.5}\left(\frac{D}{\lambda_o}\right)^{0.5}}} = 0.069 \quad (73)$$

[0227] 그리고, 방정식 (35)로부터 전파 인자는 다음과 같다:

$$\beta_p = \frac{2\pi}{V_f \lambda_o} = 0.564 \text{ m}^{-1} \quad (74)$$

[0229] $\theta_c = 28.974^\circ$ 에서, 솔레노이드 나선(H)의 축방향 길이는 다음이 되도록 방정식 (46)을 사용하여 결정될 수 있다:

$$[0230] \quad H = \frac{\theta_c}{\beta_p} = 35.2732 \text{ inches} \quad (75)$$

[0231] 이러한 높이는 수직 급전 라인 전도체가 연결되어 8.818 권선(N=H/s)을 갖는 코일을 초래하는 나선형 코일 상의 위치를 결정한다.

[0232] 파 경사각과 매칭되도록 조정된 수직 급전 라인 전도체 및 코일의 진행파 위상 지연($\Phi = \theta_c + \theta_y = \psi$)에서, 충전 단자(T_1)의 부하 임피던스(Z_L)는 유도 표면 도파 프로브(200)의 등가 이미지 평면 모델의 정재파 공진에 대해 조정될 수 있다. 측정된 유전율, 전도율 및 지구의 유전율로부터, 방정식 (57)을 사용하여 레디얼 전파 상수가 결정될 수 있다.

$$[0233] \quad \gamma_s = \sqrt{j\omega u_1(\sigma_1 + j\omega \epsilon_1)} = 0.25 + j 0.292 \text{ m}^{-1} \quad (76)$$

[0234] 그리고, 전도성 이미지 그라운드 평면의 복소 깊이가 방정식 (52)로부터 다음과 같이 추산될 수 있으며:

$$[0235] \quad d \approx \frac{2}{\gamma_s} = 3.364 + j 3.963 \text{ meters} \quad (77)$$

[0236] 여기서 지구의 물리적 경계와 전도성 이미지 그라운드 평면 사이의 대응 위상 이동은 다음에 의해 주어진다:

$$[0237] \quad \theta_d = \beta_o(d/2) = 4.015 - j 4.73^\circ \quad (78)$$

[0238] 방정식 (65)를 사용하여, 손실성 전도 매체(203)(즉, 지구) 내로 "내려다본" 관찰된 임피던스는 다음과 같이 결정될 수 있다:

$$[0239] \quad Z_{in} = Z_o \tanh(j\theta_d) = R_{in} + jX_{in} = 31.191 + j 26.27 \text{ ohms} \quad (79)$$

[0240] 유도 표면 도파 프로브(200) 내로 "올려다본" 관찰된 반작용 성분(X_{base})과 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 관찰된 반작용 성분(X_{in})을 매칭시킴으로써 유도 표면 도파 모드의 결합은 최대화될 수 있다. 이는 수직 급전 라인 전도체와 코일의 진행파 위상 지연을 변경하지 않고 충전 단자(T_1)의 용량을 조정함으로써 달성될 수 있다. 예로서, 충전 단자 용량(C_T)을 61.8126 pF로 조정함으로써 방정식 (62)로부터의 부하 임피던스는 다음과 같아지고:

$$[0241] \quad Z_L = \frac{1}{j\omega C_T} = -j 1392 \text{ ohms} \quad (80)$$

[0242] 경계에서의 반작용 성분은 매칭된다.

[0243] 방정식 (51)을 사용하여, 수직 급전 라인 전도체 0.27 인치의 직경(2a)을 가짐)의 임피던스는 다음과 같이 주어지고,

$$[0244] \quad Z_w = 138 \log\left(\frac{1.123 V_w \lambda_o}{2\pi a}\right) = 537.534 \text{ ohms} \quad (81)$$

[0245] 수직 급전 라인 전도체 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 방정식 (63)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$[0246] \quad Z_2 = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tanh(j\theta_y)}{Z_w + Z_L \tanh(j\theta_y)} = -j 835.438 \text{ ohms} \quad (82)$$

[0247] 방정식 (47)을 사용하여, 나선형 코일의 특성 임피던스는 다음과 같이 주어지고,

$$[0248] \quad Z_c = \frac{60}{V_f} \left[\ell n \left(\frac{V_f \lambda_o}{D} \right) - 1.027 \right] = 1446 \text{ ohms} \quad (83)$$

[0249] 베이스에서 코일 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 방정식 (64)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{base} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tanh(j\theta_c)}{Z_c + Z_2 \tanh(j\theta_c)} = -j 26.271 \text{ ohms} \quad (84)$$

[0250]

방정식 (79)의 해에 비교할 때, 반작용 성분은 반대이고 대략 동일하며 따라서 서로 켈레라는 것을 알 수 있다. 따라서, 완전 전도성 이미지 그라운드 평면으로부터 도 9a 및 도 9b의 등가 이미지 평면 모델 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스(Z_{ip})는 단지 저항성이거나 $Z_{ip}=R+j0$ 이다.

[0252]

유도 표면 도파 프로브(200)(도 3)에 의해 생성된 전기적 필드가 파 경사각에 급전 네트워크의 진행과 위상 지연을 매칭시킴으로써 정립되고 프로브 구조가 복소 깊이 $z=-d/2$ 의 완전 전도성 이미지 그라운드 평면에 관해 공진되는 경우, 필드는 손실성 전도 매체의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭되고, 유도 표면 진행파가 손실성 전도 매체의 표면을 따라 발진된다. 도 1에 예시된 바와 같이, 유도 전자기 필드의 유도 필드 강도 곡선(103)은 $e^{-\alpha d}/\sqrt{d}$ 의 특성적 지수적 감쇠를 가지고, 로그-로그 스케일에서 뚜렷한 굴곡형상(109)을 나타낸다.

[0253]

요약하면, 분석적 및 경험적 양자 모두에서, 유도 표면 도파 프로브(200)의 구조 상의 진행과 성분은 표면 진행 파의 파 경사의 각도(ψ)와 매칭되는($\Phi=\psi$) 그 상부 단자에서의 위상 지연(Φ)을 갖는다. 이러한 조건 하에서, 표면 도파로는 "모드 매칭된" 것으로 고려될 수 있다. 또한, 유도 표면 도파 프로브(200)의 구조 상의 공진 정제파 성분은 단자(T_1)에서 V_{MAX} 과 이미지 평면(139)(도 8b)에서 하방 V_{MIN} 을 가지며, 여기서, 손실성 전도 매체(203)(도 8b)의 물리적 경계(136)에서의 연결부 예서가 아니라 $z=-d/2$ 의 복소 깊이에서 $Z_{ip} = R_{ip}+j0$ 이다.

마지막으로, 충전 단자(T_1)는 도 3의 충분한 높이(H_1)로 이루어지며($h \geq R_x \tan \psi_{i,B}$), 그래서, 복소 브루스터 각도에서 손실성 전도 매체(203) 상으로 입사되는 전자기파는 $1/\sqrt{r}$ 항이 우세한 거리($\geq R_x$)에서 그렇게 된다. 무선 전송 및/또는 전력 전달 시스템을 이행하도록 하나 이상의 유도 표면 도파 프로브와 함께 수신 회로가 사용될 수 있다.

[0254]

도 3을 다시 참조하면, 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작은 유도 표면 도파 프로브(200)와 연계된 동작 조건의 변동에 대해 조정되도록 제어될 수 있다. 예로서, 적응성 프로브 제어 시스템(230)이 사용되어 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작을 제어하기 위해 급전 네트워크(209) 및/또는 충전 단자(T_1)를 제어할 수 있다. 동작 조건은 손실성 전도 매체(203)의 특성의 변동(예를 들어, 전도율(σ) 및 상대 유전율(ϵ_r)), 필드 강도의 변동 및/또는 유도 표면 도파 프로브(200)의 부하의 변동을 포함할 수 있지만 이에 한정되지는 않는다. 방정식 (31), (41) 및 (42)로부터 볼 수 있는 바와 같이, 굴절 지수(n), 복소 브루스터 각도($\Theta_{i,B}$) 및 파 경사($|W|e^{j\psi}$)는 예를 들어 기후 조건으로부터 초래되는 토양 전도율 및 유전율의 변화에 의해 영향을 받을 수 있다.

[0255]

예를 들어 전도율 측정 프로브, 유전율 센서, 그라운드 파라미터 측정기, 필드 측정기, 전류 모니터 및/또는 부하 수신기 같은 장비가 사용되어 동작 조건의 변화를 모니터링하고 적응성 프로브 제어 시스템(230)에 현재 동작 조건에 대한 정보를 제공할 수 있다. 프로브 제어 시스템(230)은 그후 유도 표면 도파 프로브(200)를 위한 지정된 동작 조건을 유지하기 위해 유도 표면 도파 프로브(200)에 대한 하나 이상의 조정을 수행할 수 있다. 예로서, 습기 및 온도가 변함에 따라, 토양의 전도율이 또한 변할 것이다. 전도율 측정 프로브 및/또는 유전율 센서가 유도 표면 도파 프로브(200) 주변의 다수의 장소에 위치될 수 있다. 일반적으로, 동작 주파수에 대하여 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 또는 그 주변에서 전도율 및/또는 유전율을 모니터링하는 것이 바람직하다. 전도율 측정 프로브 및/또는 유전율 센서가 유도 표면 도파 프로브(200) 주변의 다수의 장소에(예를 들어, 각 사분역 내에) 위치될 수 있다.

[0256]

전도율 측정 프로브 및/또는 유전율 센서는 주기적 기반으로 전도율 및/또는 유전율을 평가하고 프로브 제어 시스템(230)에 정보를 통신하도록 구성될 수 있다. 이 정보는 LAN, WLAN, 셀룰러 네트워크 또는 다른 적절한 유선 또는 무선 통신 네트워크 같은, 그러나, 이에 한정되지 않는 네트워크를 통해 프로브 제어 시스템(230)에 통신될 수 있다. 감시된 전도율 및/또는 유전율에 기초하여, 프로브 제어 시스템(230)은 굴절 지수(n)의 변동, 복소 브루스터 각도($\Theta_{i,B}$) 및/또는 파 경사($|W|e^{j\psi}$)를 평가하고, 파 경사각(ψ)과 같은 급전 네트워크(209)의 위상 지연(Φ)을 유지하고 및/또는 유도 표면 도파 프로브(200)의 등가 이미지 평면 모델의 공진을 유지하기 위

해 유도 표면 도파 프로브(200)를 조정할 수 있다. 이는 예를 들어, θ_y , θ_c 및/또는 C_f 를 조정함으로써 달성될 수 있다. 예로서, 프로브 제어 시스템(230)은 그 최대치로 또는 그 부근으로 유도 표면과의 전기적 발진 효율을 유지하기 위해 충전 단자(T_1)에 인가된 위상 지연(θ_y , θ_c) 및/또는 충전 단자(T_1)의 자기 용량을 조정할 수 있다. 예로서, 충전 단자(T_1)의 자기 용량은 단자의 크기 변경에 의해 변화될 수 있다. 전하 분포는 또한 충전 단자(T_1)의 크기를 증가시킴으로써 개선될 수 있고, 이러한 크기 증가는 충전 단자(T_1)로부터의 전기 방전의 기회를 감소시킬 수 있다. 다른 실시예에서, 충전 단자(T_1)는 부하 임피던스(Z_L)를 변화시키도록 조정될 수 있는 가변 인덕턴스를 포함할 수 있다. 충전 단자(T_1)에 인가된 위상은 코일(215)(도 7) 상의 탭 위치를 변경함으로써 및/또는 코일(215)을 따라 복수의 사전규정된 탭을 포함하고 다양한 사전규정된 탭 위치들 사이에서 절환함으로써 발진 효율을 최대화하도록 조정될 수 있다.

[0257] 필드 또는 필드 강도(FS) 측정기는 유도 표면과 연결된 필드의 필드 강도를 측정하기 위해 유도 표면 도파 프로브(200) 주변에 분포될 수 있다. 필드 또는 FS 측정기는 필드 강도 및/또는 필드 강도(예를 들어, 전기적 필드 강도)의 변화를 검출하고 해당 정보를 프로브 제어 시스템(230)에 통신하도록 구성될 수 있다. 이 정보는 LAN, WLAN, 셀룰러 네트워크 또는 다른 적절한 통신 네트워크 같은, 그러나, 이에 한정되지 않는 네트워크를 통해 프로브 제어 시스템(230)에 통신될 수 있다. 부하 및/또는 환경 조건이 동작 동안 변경되거나 변하기 때문에, 유도 표면 도파 프로브(200)는 수신기 및 그들이 급전하는 부하로의 적절한 전력 전송을 보장하기 위해 FS 측정기 위치에서 지정된 필드 강도(들)을 유지하도록 조정될 수 있다.

[0258] 예로서, 충전 단자(T_1)에 인가된 위상 지연($\Phi = \theta_y + \theta_c$)은 파 경사각(ψ)을 매칭시키도록 조정될 수 있다. 하나 또는 양자 모두의 위상 지연을 조정함으로써, 유도 표면 도파 프로브(200)는 파 경사가 복소 브루스터 각도에 대응하는 것을 보장하도록 조정될 수 있다. 이는 충전 단자(T_1)에 공급되는 위상 지연을 변경하도록 코일(215)(도 7) 상의 탭 위치를 조정함으로써 달성될 수 있다. 충전 단자(T_1)에 공급되는 전압 레벨이 또한 전기적 필드 강도를 조정하기 위해 증가 또는 감소될 수 있다. 이는 급전 네트워크(209)를 조정 또는 재구성하는 것에 의해 또는 여기 소스(212)의 출력 전압을 조정하는 것에 의해 달성될 수 있다. 예로서, AC 소스(212)를 위한 탭(227)(도 7)의 위치는 충전 단자(T_1)에 의해 관찰되는 전압을 증가시키기 위해 조정될 수 있다. 필드 강도 레벨을 사전규정된 범위 이내로 유지하는 것은 수신기에 의한 결함을 향상시키고, 그라운드 전류 손실을 감소시키며, 다른 유도 표면 도파 프로브(200)로부터의 전송과의 간섭을 회피할 수 있다.

[0259] 프로브 제어 시스템(230)은 하드웨어, 펌웨어, 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 또는 그 조합에 의해 구현될 수 있다. 예로서, 프로브 제어 시스템(230)은 프로세서와 메모리를 포함하는 처리 회로를 포함할 수 있고, 프로세서와 메모리 양자 모두는 예로서 본 기술 분야의 숙련자가 알 수 있는 바와 같은 동반되는 제어/어드레스 버스와 함께 데이터 버스 같은 로컬 인터페이스에 결합될 수 있다. 프로브 제어 애플리케이션은 모니터링된 조건에 기초하여 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작을 조정하기 위해 프로세서에 의해 실행될 수 있다. 프로브 제어 시스템(230)은 또한 다양한 모니터링 디바이스와의 통신을 위한 하나 이상의 네트워크 인터페이스를 포함할 수 있다. 통신은 LAN, WLAN, 셀룰러 네트워크 또는 다른 적절한 통신 네트워크 같은, 그러나, 이에 한정되지 않는 네트워크를 통해 수 있다. 프로브 제어 시스템(230)은 예로서 서버, 데스크탑 컴퓨터, 랩탑 또는 유사한 기능을 갖는 다른 시스템 같은 컴퓨터 시스템을 포함할 수 있다.

[0260] 도 5a의 예를 다시 참조하면, Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$)를 갖는 충전 단자(T_1)의 입사 전기적 필드(E)의 광선 광학 해석을 위한 복소 각도 삼각법이 도시되어 있다. 손실성 전도 매체에 대하여 브루스터 각도는 복소수이고 방정식 (38)에 의해 특정된다는 것을 상기하라. 전기적으로, 기하학적 파라미터들은 방정식 (39)에 의해 충전 단자(T_1)의 전기적 유효 높이(h_{eff})에 의해 관련된다. 물리적 높이(h_p)와 Hankel 크로스오버 거리(R_x) 양자 모두가 실수량이기 때문에, Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서의 원하는 유도 표면과 경사의 각도(θ_{R_x})는 복소 유효 높이(h_{eff})의 위상(Φ)과 같다. 충전 단자(T_1)가 적절한 위상(Φ)을 갖는 전하로 여기되고 물리적 높이(h_p)에 위치된 상태에서, 결과적 전기 필드는 브루스터 각도에서 그리고 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 손실성 전도 매체 경계 계면으로 입사된다. 이들 조건 하에서, 반사 없이 또는 실질적으로 무시가능한 반사로 유도 표면 도파 모드가 여기될 수 있다.

[0261] 그러나, 방정식 (39)는 유도 표면 도파 프로브(200)의 물리적 높이가 비교적 작을 수 있다는 것을 의미한다.

이것이 유도 표면 도파 모드를 여기할 것이지만, 이는 미소한 자유 전하로 부적합하게 많은 속박 전하를 초래할 수 있다. 보상을 위해, 충전 단자(T_1)는 자유 전하의 양을 증가시키기 위해 적절한 고도로 상승될 수 있다. 일 예의 경험 법칙으로서, 충전 단자(T_1)는 충전 단자(T_1)의 유효 직경의 대략 4-5 배(또는 그 이상)의 고도에 위치될 수 있다. 도 6은 도 5a에 도시된 물리적 높이(h_p)를 초과하여 충전 단자(T_1)를 상승시킨 효과를 예시한다. 증가된 고도는 손실성 전도 매체로 파 경사가 입사되는 거리를 Hankel 크로스오버 지점(121)(도 5a)을 초과하여 이동시킨다. 유도 표면 도파 모드에의 결합을 향상시키고 따라서 유도 표면파의 더 큰 발진 효율을 제공하기 위해, 하부 보상 단자(T_2)가 사용되어 Hankel 크로스오버 거리에서의 파 경사가 브루스터 각도에 있게 되도록 충전 단자(T_1)의 전체 유효 높이(h_{TE})를 조정할 수 있다.

[0262] 도 12를 참조하면, 손실성 전도 매체(203)에 의해 제공되는 평면에 수직인 수직 축(z)을 따라 배열된 상승된 충전 단자(T_1) 및 하부 보상 단자(T_2)를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200c)의 일 예가 도시되어 있다. 이에 관하여, 충전 단자(T_1)는 보상 단자(T_2)의 직접적 위쪽에 배치되지만, 둘 이상의 전하 및/또는 보상 단자(T_N)의 소정의 다른 배열이 사용되는 것이 가능하다. 유도 표면 도파 프로브(200c)는 본 개시내용의 일 실시예에 따른 손실성 전도 매체(203) 위에 배치된다. 손실성 전도 매체(203)는 영역 1을 구성하고, 제2 매체(206)는 영역 2를 구성하며, 손실성 전도 매체(203)와 경계 계면을 공유한다.

[0263] 유도 표면 도파 프로브(200c)는 충전 단자(T_1)와 보상 단자(T_2)에 여기 소스(212)를 결합하는 급전 네트워크(209)를 포함한다. 다양한 실시예에 따라서, 임의의 주어진 순간에 단자(T_1 , T_2)에 인가된 전압에 따라서 각각의 전하 및 보상 단자(T_1 , T_2) 상에 전하(Q_1 , Q_2)가 부여될 수 있다. I_1 은 단자 리드를 통해 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)를 공급하는 전도 전류이고, I_2 는 단자 리드를 통해 보상 단자(T_2) 상에 전하(Q_2)를 공급하는 전도 전류이다.

[0264] 도 12의 실시예에 따라, 충전 단자(T_1)는 물리적 높이(H_1)에서 손실성 전도 매체(203) 위에 위치되고, 보상 단자(T_2)는 물리적 높이(H_2)에서 수직 축(z)을 따라 T_1 직접적 아래쪽에 위치되며, H_2 는 H_1 보다 작다. 전송 구조의 높이(h)는 $h = H_1 - H_2$ 로서 계산될 수 있다. 충전 단자(T_1)은 격리(또는 자기) 용량(C_1)을 가지고, 보상 단자(T_2)는 격리(또는 자기) 용량(C_2)를 갖는다. 단자(T_1 , T_2) 사이에는 그 사이의 거리에 따라 상호 용량(C_M)도 존재할 수 있다. 동작 동안, 임의의 주어진 순간에 충전 단자(T_1) 및 보상 단자(T_2)에 인가되는 전압에 따라서 전하(Q_1 , Q_2)가 충전 단자(T_1)와 보상 단자(T_2)에 각각 부여된다.

[0265] 다음에 도 13을 참조하면, 도 12의 보상 단자(T_2)와 충전 단자(T_1) 상의 상승된 전하(Q_1)에 의해 생성되는 효과의 광선 광학 해석이 도시되어 있다. 라인 163으로 예시된 바와 같이 Hankel 크로스오버 지점(121)보다 큰 거리에서 브루스터 각도로 손실성 전도 매체와 광선이 교차하는 높이로 충전 단자(T_1)가 상승된 상태에서, 증가된 높이를 보상함으로써 h_{TE} 를 조정하기 위해 보상 단자(T_2)가 사용될 수 있다. 보상 단자(T_2)의 효과는 Hankel 크로스오버 거리에서 파 경사가 라인 166으로 예시된 바와 같이 브루스터 각도에 있도록 유도 표면 도파 프로브의 전기적 유효 높이를 감소시키는 것(또는 사실상 손실성 매체 계면을 상승시키는 것)이다.

[0266] 전체 유효 높이는 보상 단자(T_2)와 연계된 하부 유효 높이(h_{LE})와 충전 단자(T_1)와 연계된 상부 유효 높이(h_{UE})의 중첩으로서 기재될 수 있으며, 그래서 다음과 같다:

[0267]
$$h_{TE} = h_{UE} + h_{LE} = h_p e^{j(\beta h_p + \Phi_U)} + h_d e^{j(\beta h_d + \Phi_L)} = R_x \times W \quad (85)$$

[0268] 여기서, Φ_U 는 상부 충전 단자(T_1)에 인가된 위상 지연이고, Φ_L 는 보상 단자(T_2)에 인가된 위상 지연이고, $\beta = 2\pi/\lambda_p$ 는 방정식 (35)로부터의 전파 인자이며, h_p 는 충전 단자(T_1)의 물리적 높이이고, h_d 는 보상 단자(T_2)의 물리적 높이이다. 잉여 리드 길이가 고려되는 경우, 이들은 아래에 나타난 바와 같이 보상 단자(T_2)의 물리적 높이(h_d)에 보상 단자 리드 길이(y)를 가산하고 충전 단자(T_1)의 물리적 높이(h_p)에 충전 단자 리드 길이(z)를 가산함으로써 고려될 수 있다.

$$h_{TE} = (h_p + z)e^{j(\beta(h_p+z)+\phi_U)} + (h_d + y)e^{j(\beta(h_d+y)+\phi_L)} = R_x \times W \quad (86)$$

하부 유효 높이는 도 5a의 복소 유효 높이(h_{eff})와 같도록 전체 유효 높이(h_{TE})를 조정하기 위해 사용될 수 있다.

방정식 (85) 또는 (86)은 Hankel 크로스오버 거리에서 원하는 파 경사를 획득하도록 단자들로의 급전을 위한 위상 각도 및 보상 단자(T_2)의 하부 디스크의 물리적 높이를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 예로서, 방정식 (86)은 보상 단자 높이(h_d)의 함수로서 충전 단자(T_1)에 인가된 위상 이동으로 재기록되어 다음을 제공할 수 있다:

$$\Phi_U(h_d) = -\beta(h_p + z) - j \ln \left(\frac{R_x \times W - (h_d + y)e^{j(\beta h_d + \beta y + \phi_L)}}{(h_p + z)} \right) \quad (87)$$

보상 단자(T_2)의 위치설정을 결정하기 위해, 전술한 관계가 사용될 수 있다. 먼저, 총 유효 높이(h_{TE})는 방정식 (86)에 표현된 바와 같이 하부 보상 단자(T_2)의 복소 유효 높이(h_{UE})와 상부 충전 단자(T_1)의 복소 유효 높이(h_{LE})의 중첩이다. 다음에, 입사각의 탄젠트는 다음과 같이 기하학적으로 표현될 수 있다.

$$\tan \psi_E = \frac{h_{TE}}{R_x} \quad (88)$$

이는 파 경사(W)의 정의와 같다. 마지막으로, 원하는 Hankel 크로스오버 거리(R_x)가 주어지면, h_{TE} 는 Hankel 크로스오버 지점(121)에서 복소 브루스터 각도와 입사 광선의 파 경사가 매칭되게 하도록 조정될 수 있다. 이는 h_p , Φ_U 및/또는 h_d 를 조정함으로써 달성될 수 있다.

이들 개념은 유도 표면 도파 프로브의 예에 관련하여 설명할 때 더 양호하게 이해될 수 있다. 도 14를 참조하면, 손실성 전도 매체(203)에 의해 제공된 평면에 실질적으로 수직인 수직 축(z)을 따라 위치설정되는 하부 보상 단자(T_2)(예를 들어, 높이(h_d)의 디스크) 및 상부 충전 단자(T_1)(예를 들어, 높이(h_T)의 구체)를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200d)의 일 예의 도식적 표현이 도시되어 있다. 동작 동안, 임의의 주어진 순간에 단자들(T_1 , T_2)에 인가되는 전압들에 따라 전하 및 보상 단자(T_1 , T_2) 각각 상에 전하들(Q_1 , Q_2)이 부여된다.

AC 소스(212)는 충전 단자(T_1)를 위한 여기 소스로서 작용하고, 이는 예를 들어 나선형 코일 같은 코일(215)을 포함하는 급전 네트워크(209)를 통해 유도 표면 도파 프로브(200d)에 결합된다. AC 소스(212)는 도 14에 도시된 바와 같이 탭(227)을 통해 코일(215)의 하부 부분을 가로질러 연결될 수 있거나 일차 코일에 의해 코일(215)에 유도식으로 결합될 수 있다. 코일(215)은 제1 단부에서 그라운드 말뚝(218)에 결합될 수 있고 제2 단부에서 충전 단자(T_1)에 결합될 수 있다. 일부 구현예에서, 충전 단자(T_1)에 대한 연결은 코일(215)의 제2 단부의 탭(224)을 사용하여 조정될 수 있다. 보상 단자(T_2)는 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 그라운드 또는 지구)와 실질적으로 평행하게 그 위에 위치되고, 코일(215)에 결합된 탭(233)을 통해 에너지공급된다. 코일(215)과 그라운드 말뚝(218) 사이에 위치한 전류계(236)가 사용되어 유도 표면 도파 프로브의 베이스에서 전류 유동(I_0)의 크기의 표시를 제공한다. 대안적으로, 전류 클램프가 그라운드 말뚝(218)에 결합된 전도체 둘레에 사용되어 전류 유동(I_0)의 크기의 표시를 획득할 수 있다.

도 14의 예에서, 코일(215)은 제1 단부에서 그라운드 말뚝(218)에 결합되고 제2 단부에서 수직 급전 라인 전도체(221)를 통해 충전 단자(T_1)에 결합된다. 일부 구현예에서, 충전 단자(T_1)에 대한 연결은 도 14에 도시된 바와 같이 코일(215)의 제2 단부의 탭(224)을 사용하여 조정될 수 있다. 코일(215)은 코일(215)의 하부 부분에서 탭(227)을 통해 AC 소스(212)에 의해 동작 주파수로 에너지 공급될 수 있다. 다른 구현예에서, AC 소스(212)는 일차 코일을 통해 코일(215)에 유도식으로 결합될 수 있다. 보상 단자(T_2)는 코일(215)에 결합된 탭(233)을 통해 에너지 공급된다. 코일(215)과 그라운드 말뚝(218) 사이에 위치한 전류계(236)가 사용되어 유도 표면 도파 프로브(200d)의 베이스에서 전류 유동의 크기의 표시를 제공한다. 대안적으로, 전류 클램프가 그라운드 말뚝(218)에 결합된 전도체 둘레에 사용되어 전류 유동의 크기의 표시를 획득할 수 있다. 보상 단자(T_2)는 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 그라운드)와 실질적으로 평행하게, 그 위에 위치된다.

[0279] 도 14의 예에서, 충전 단자(T_1)에 대한 연결은 보상 단자(T_2)를 위한 탭(233)의 연결 지점 위에서 코일(215) 상에 위치되어 있다. 이런 조정은 증가된 전압(그리고, 따라서 더 높은 전하(Q_1))가 상부 충전 단자(T_1)에 인가될 수 있게 한다. 다른 실시예에서, 충전 단자(T_1)와 보상 단자(T_2)를 위한 연결 지점이 반전될 수 있다. Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 유도 표면과 경사를 갖는 전기적 필드를 여기하기 위해 유도 표면 도파 프로브(200d)의 전체 유효 높이(h_{TE})를 조정하는 것이 가능하다. Hankel 크로스오버 거리는 또한 $-j \sqrt{\epsilon} \rho$ 에 대하여 방정식 (20b) 및 (21)의 크기를 같다고 놓고 도 4에 예시된 바와 같이 R_x 에 대하여 푸는 것에 의해 발견될 수 있다. 굴절 지수(n), 복소 브루스터 각도($\theta_{i,B}$ 및 $\psi_{i,B}$), 과 경사($|W|e^{j\psi}$) 및 복소 유효 높이($h_{eff} = h_p e^{j\phi}$)는 상술한 방정식 (41)-(44)에 관하여 설명된 바와 같이 결정될 수 있다.

[0280] 선택된 충전 단자(T_1) 구성에서, 구체 직경(또는 유효 구체 직경)이 결정될 수 있다. 예로서, 충전 단자(T_1)가 구로서 구성되지 않는 경우, 이때, 단자 구성은 유효 구체 직경을 갖는 구체 용량으로서 모델링될 수 있다. 충전 단자(T_1)의 크기는 단자 상에 부여되는 전하(Q_1)를 위해 충분히 큰 표면을 제공하도록 선택될 수 있다. 일반적으로, 실용적으로 가능한 한 크게 충전 단자(T_1)를 구성하는 것이 바람직하다. 충전 단자(T_1)의 크기는 충전 단자 주변의 전기 방전 또는 스파크형성을 초래할 수 있는 주변 공기의 이온화를 피하도록 충분히 커야 한다. 충전 단자(T_1) 상의 속박 전하의 양을 감소시키기 위해, 유도 표면파를 발전시키기 위한 충전 단자(T_1) 상에 자유 전하를 제공하기 위한 바람직한 고도는 손실성 전도 매체(예를 들어, 지구) 위의 유효 구체 직경의 적어도 4-5 배이어야 한다. 보상 단자(T_2)는 R_x 에서 유도 표면파를 갖는 전기적 필드를 여기시키기 위해 유도 표면 도파 프로브(200d)의 전체 유효 높이(h_{TE})를 조정하기 위해 사용될 수 있다. 보상 단자(T_2)는 $h_d = h_T - h_p$ 에서 충전 단자(T_1) 아래에 위치될 수 있고, 여기서, h_T 는 충전 단자(T_1)의 전체 물리적 높이이다. 보상 단자(T_2)의 위치가 고정되고 위상 지연(Φ_U)이 상부 충전 단자(T_1)에 인가된 상태에서, 하부 보상 단자(T_2)에 인가된 위상 지연(Φ_L)은 다음이 되도록 방정식 (86)의 관계를 사용하여 결정될 수 있다:

[0281]
$$\Phi_U(h_d) = -\beta(h_d + y) - j \ln \left(\frac{R_x \times W - (h_p + z) e^{j(\beta h_p + \beta z + \Phi_L)}}{(h_d + y)} \right) \quad (89)$$

[0282] 대안적 실시예에서, 보상 단자(T_2)는 높이(h_d)에 위치될 수 있고, 여기서 $\text{Im}\{\Phi_L\} = 0$ 이다. 이는 Φ_U 의 허수부와 실수부의 플롯(172, 175)을 각각 도시하는 도 15a에 도식적으로 예시되어 있다. 보상 단자(T_2)는 플롯 172에 도식적으로 예시된 바와 같이 $\text{Im}\{\Phi_U\} = 0$ 인 높이(h_d)에 위치되어 있다. 이 고정된 높이에서, 코일 위상(Φ_U)은 플롯(175)에 도식적으로 예시된 바와 같이 $\text{Re}\{\Phi_U\}$ 로부터 결정될 수 있다.

[0283] AC 소스(212)가 코일(215)에 결합된 상태에서(예를 들어, 결합을 최대화하기 위해 50Ω 지점에서), 탭(233)의 위치는 동작 주파수에서의 코일의 적어도 일부와의 보상 단자(T_2)의 평행 공진을 위해 조정될 수 있다. 도 15b는 도 14의 일반적 전기적 hookup의 개략도를 도시하며, 여기서, V_1 은 탭(227)을 통해 AC 소스(212)로부터 코일(215)의 하부 부분에 인가된 전압이고, V_2 는 상부 충전 단자(T_1)에 공급되는 탭(224)에서의 전압이고, V_3 는 탭(233)을 통해 하부 보상 단자(T_2)에 인가된 전압이다. 저항(R_p 및 R_d)은 각각 충전 단자(T_1) 및 보상 단자(T_2)의 그라운드 리턴 저항을 나타낸다. 전하 및 보상 단자(T_1 , T_2)는 구체, 원통체, 원환체, 링, 후드 또는 용량성 구조의 다른 조합으로 구성될 수 있다. 전하 및 보상 단자(T_1 , T_2)의 크기는 단자 상에 부여되는 전하(Q_1 , Q_2)를 위해 충분히 큰 표면을 제공하도록 선택될 수 있다. 일반적으로, 실용적으로 가능한 한 크게 충전 단자(T_1)를 구성하는 것이 바람직하다. 충전 단자(T_1)의 크기는 충전 단자 주변의 전기 방전 또는 스파크형성을 초래할 수 있는 주변 공기의 이온화를 피하도록 충분히 커야 한다. 전하 및 보상 단자(T_1 및 T_2) 각각의 자기 용량(C_p 및 C_d)은 예로서 방정식 (24)을 사용하여 결정될 수 있다.

[0284] 도 15b에서 볼 수 있는 바와 같이, 보상 단자(T_2)와 연계된 그라운드 리턴 저항(R_d)과 보상 단자(T_2)의 자기 용량(C_d) 및 코일(215)의 인덕턴스의 적어도 일부에 의해 공진 회로가 형성된다. 평행 공진은 보상 단자(T_2)에 인

가되는 전압(V_3)을 조정함으로써(예를 들어, 코일(215) 상의 탭(233) 위치를 조정함으로써) 또는 C_d 를 조정하도록 보상 단자(T_2)의 높이 및/또는 크기를 조정함으로써 정립될 수 있다. 코일(233)의 위치는 평행 공진을 위해 조정될 수 있고, 이는 그라운드 말뚝(218) 및 전류계(236)를 통한 그라운드 전류가 최대 지점에 도달하게 한다. 보상 단자(T_2)의 평행 공진이 정립된 이후, AC 소스(212)를 위한 탭(227)의 위치는 코일(215) 상의 50Ω 지점으로 조정될 수 있다.

[0285] 코일(215)로부터의 전압(V_2)은 충전 단자(T_1)에 인가될 수 있고, 탭(224)의 위치는 전체 유효 높이(h_{TE})의 위상(Φ)이 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 유도 표면과 경사(W_{RX})의 각도와 대략 동일하도록 조정될 수 있다. 코일 탭(224)의 위치는 이 동작 지점이 도달될 때까지 조정될 수 있고, 이는 전류계(236)를 통한 그라운드 전류가 최대치까지 증가되게 한다. 이 지점에서, 유도 표면 도파 프로브(200d)에 의해 여기된 결과적 필드는 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭됨으로써 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따른 유도 표면파의 발진을 초래한다. 이는 유도 표면 도파 프로브(200)로부터 연장하는 레디얼을 따라 필드 강도를 측정함으로써 확인될 수 있다.

[0286] 보상 단자(T_2)를 포함하는 회로의 공진은 충전 단자(T_1)의 부착 및/또는 탭(224)을 통해 충전 단자(T_1)에 인가되는 전압의 조정에 의해 변할 수 있다. 공진을 위해 보상 단자 회로를 조정하는 것이 충전 단자 연결의 후속 조정을 돕지만, Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 유도 표면과 경사(W_{RX})를 정립하는 것은 필수적이지는 않다. 시스템은 AC 소스(212)를 위한 탭(227)의 위치를 코일(215) 상의 50Ω 지점이 되도록 반복적으로 조정하고, 전류계(236)를 통한 그라운드 전류를 최대화하도록 탭(233)의 위치를 조정함으로써 결합을 개선시키도록 추가로 조정될 수 있다. 보상 단자(T_2)를 포함하는 회로의 공진은 탭(227, 233)의 위치가 조정됨에 따라 또는 다른 구성 요소가 코일(215)에 부착될 때 편이될(drift) 수 있다.

[0287] 다른 구현예에서, 코일(215)로부터의 전압(V_2)은 충전 단자(T_1)에 인가될 수 있고, 탭(233)의 위치는 전체 유효 높이(h_{TE})의 위상(Φ)이 R_x 에서 유도 표면과의 각도(Ψ)와 대략 동일하도록 조정될 수 있다. 코일 탭(224)의 위치는 동작 지점이 도달될 때까지 조정됨으로써 전류계(236)를 통한 그라운드 전류가 실질적으로 최대치에 도달하게 한다. 결과적 필드는 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭되고, 유도 표면파는 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따라 발진된다. 이는 유도 표면 도파 프로브(200)로부터 연장하는 레디얼을 따라 필드 강도를 측정함으로써 확인될 수 있다. 시스템은 AC 소스(212)를 위한 탭(227)의 위치를 코일(215) 상의 50Ω 지점이 되도록 반복적으로 조정하고, 전류계(236)를 통한 그라운드 전류를 최대화하도록 탭(224, 233)의 위치를 조정함으로써 결합을 개선시키도록 추가로 조정될 수 있다.

[0288] 도 12를 다시 참조하면, 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작은 유도 표면 도파 프로브(200)와 연계된 동작 조건의 변동에 대해 조정되도록 제어될 수 있다. 예로서, 프로브 제어 시스템(230)이 사용되어 유도 표면 도파 프로브(200)의 동작을 제어하기 위해 급전 네트워크(209) 및/또는 충전 단자(T_1) 및/또는 보상 단자(T_2)의 위치설정을 제어할 수 있다. 동작 조건은 손실성 전도 매체(203)의 특성의 변동(예를 들어, 전도율(σ) 및 상대 유전율(ϵ_r)), 필드 강도의 변동 및/또는 유도 표면 도파 프로브(200)의 부하의 변동을 포함할 수 있지만 이에 한정되지는 않는다. 방정식 (41) - (44)로부터 볼 수 있는 바와 같이, 굴절 지수(n), 복소 브루스터 각도($\Theta_{i,B}$ 및 $\Psi_{i,B}$), 과 경사($|W|e^{j\Psi}$) 및 복소 유효 높이($h_{eff} = h_p e^{j\Phi}$)는 예를 들어 기후 조건으로부터 초래되는 토양 전도율 및 유전율의 변화에 의해 영향을 받을 수 있다.

[0289] 예를 들어 전도율 측정 프로브, 유전율 센서, 그라운드 파라미터 측정기, 필드 측정기, 전류 모니터 및/또는 부하 수신기 같은 장비가 사용되어 동작 조건의 변화를 모니터링하고 프로브 제어 시스템(230)에 현재 동작 조건에 대한 정보를 제공할 수 있다. 프로브 제어 시스템(230)은 그 후 유도 표면 도파 프로브(200)를 위한 지정된 동작 조건을 유지하기 위해 유도 표면 도파 프로브(200)에 대한 하나 이상의 조정을 수행할 수 있다. 예로서, 습기 및 온도가 변함에 따라, 토양의 전도율이 또한 변할 것이다. 전도율 측정 프로브 및/또는 유전율 센서가 유도 표면 도파 프로브(200) 주변의 다수의 장소에 위치될 수 있다. 일반적으로, 동작 주파수에 대하여 Hankel 크로스오버 거리(R_x)에서 또는 그 주변에서 전도율 및/또는 유전율을 모니터링하는 것이 바람직하다. 전도율 측정 프로브 및/또는 유전율 센서가 유도 표면 도파 프로브(200) 주변의 다수의 장소에(예를 들어, 각 사분역 내에) 위치될 수 있다.

[0290] 도 16을 참조하면, 수직축(z)을 따라 배열된 충전 단자(T_1) 및 충전 단자(T_2)를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(200e)의 일례가 도시되어 있다. 유도 표면 도파 프로브(200e)는 영역 1을 구성하는 손실성 전도 매체(203) 위에 배치된다. 추가적으로, 제2 매체(206)가 손실성 전도 매체(203)와 경계 계면을 공유하며, 영역 2를 구성한다. 충전 단자들(T_1 , T_2)은 손실성 전도 매체(203) 위에 배치된다. 충전 단자(T_1)는 높이(H_1)에 배치되고, 충전 단자(T_2)는 높이(H_2)에서 수직축(z)을 따라 T_1 바로 아래 배치되며, H_2 는 H_1 보다 작다. 유도 도파 프로브(200e)에 의해 제공되는 전송 구조의 높이(h)는 $h = H_1 - H_2$ 이다. 유도 표면 도파 프로브(200e)는 충전 단자(T_1 , T_2)에 여기 소스(212)를 결합하는 급전 네트워크(209)를 포함한다.

[0291] 충전 단자(T_1 및/또는 T_2)는 실용적으로 가능한 많은 전하를 보유하도록 크기설정될 수 있는 전기 전하를 보유할 수 있는 전도성 매스(conductive mass)를 포함한다. 충전 단자(T_1)는 자기 용량(C_1)을 가지고, 충전 단자(T_2)는 자기 용량(C_2)을 가지며, 이는 예로서 방정식 (24)을 사용하여 결정될 수 있다. 충전 단자(T_2) 바로 위의 충전 단자(T_1)의 배치로 인해, 충전 단자들(T_1 , T_2) 사이에 상호 용량(C_M)이 생성된다. 충전 단자들(T_1 , T_2)은 동일한 필요가 없으며, 각자 개별 크기 및 형상을 가질 수 있고, 상이한 전도성 재료들을 포함할 수 있다는 점에 유의한다. 궁극적으로, 유도 표면 도파 프로브(200e)에 의해 발전되는 유도 표면파의 필드 강도는 단자(T_1) 상의 전하의 양에 정비례한다. 전하(Q_1)는 따라서 $Q_1 = C_1 V$ 이기 때문에 충전 단자(T_1)와 관련된 자기 용량(C_1)에 비례하며, 여기서 V 는 충전 단자(T_1) 상에 부여되는 전압이다.

[0292] 사전규정된 동작 주파수에서 동작하도록 적절히 조정될 때, 유도 도파 프로브(200e)는 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따라 유도 표면파를 생성한다. 여기 소스(212)는 구조를 여기시키기 위해 유도 표면 도파 프로브(200e)에 인가되는 미리 정의된 주파수에서 전기 에너지를 발생시킬 수 있다. 유도 표면 도파 프로브(200e)에 의해 생성되는 전자기 필드들이 손실성 전도 매체(203)와 실질적으로 모드 일치되면, 전자기 필드들은 실질적으로, 거의 또는 전혀 반사를 유발하지 않는 브루스터 각도로 입사하는 파면을 합성한다. 따라서, 유도 표면 도파 프로브(200e)는 방사 파를 생성하지 않고 손실성 전도 매체(203)의 표면을 따른 유도 표면 진행 파를 발전시킨다. 여기 소스(212)로부터의 에너지는 Zenneck 표면 전류로서 유도 표면 도파 프로브(200e)의 유효 전송 범위 내에 위치되어 있는 하나 이상의 수신기에 전송될 수 있다.

[0293] $J_1(\rho)$ 근위 및 $J_2(\rho)$ 원위가 되는 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 레디얼 Zenneck 표면 전류($J(\rho)$)의 점근선을 결정할 수 있으며,

[0294] 근위($\rho < \lambda/8$):
$$I_\rho(\rho) \sim J_1 = \frac{I_1 + I_2}{2\pi\rho} + \frac{E_\rho^{QS}(Q_1) + E_\rho^{QS}(Q_2)}{Z_\rho}, \text{ 및 (90)}$$

[0295] 원위($\rho \gg \lambda/8$):
$$I_\rho(\rho) \sim J_2 = \frac{j\gamma\omega Q_1}{4} \times \sqrt{\frac{2\gamma}{\pi}} \times \frac{e^{-(\alpha+j\beta)\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (91)$$

[0296] 여기서 I_1 은 제1 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)를 공급하는 전도 전류이고, I_2 는 제2 충전 단자(T_2) 상에 전하(Q_2)를 공급하는 전도 전류이다. 상부 충전 단자(T_1) 상의 전하(Q_1)는 $Q_1 = C_1 V$ 에 의해 결정되며, 여기서 C_1 은 충전 단자(T_1)의 고립된 용량이다. $(E_\rho^{Q_1})/Z_\rho$ 로 주어지는 앞서 언급한 J_1 에 대한 제3 성분이 존재한다는 점을 유의하여야 하며, 이는 Leontovich 경계 조건을 따르며, 제1 충전 단자(Q_1) 상의 상승된 진동 전하의 준-정적 필드에 의해 펌핑되는 손실성 전도 매체(203)에서의 레디얼 전류 기여도이다. 양 $Z_\rho = j\omega\mu_0/\gamma_e$ 는 손실성 전도 매체의 레디얼 임피던스이며, $\gamma_e = (j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\epsilon_1)^{1/2}$ 이다.

[0297] 방정식 (90) 및 (91)에 의해 기재된 바와 같이 근위 및 원위의 레디얼 전류를 나타내는 점근선은 복소 양이다. 다양한 실시예에 따라서, 물리적 표면 전류($J(\rho)$)는 크기 및 위상이 전류 점근선에 가능한 근접하게 일치하도록 합성된다. 즉, 근위 $|J(\rho)|$ 는 $|J_1|$ 에 대해 접하게 되고, 원위 $|J(\rho)|$ 는 $|J_2|$ 에 접하게 된다. 또한, 다양한 실시예에 따라서, $J(\rho)$ 의 위상은 J_1 근위의 위상으로부터 J_2 원위의 위상으로 전이하여야 한다.

[0298] 유도 표면파를 발전시키도록 전송 부위에서 유도 표면파 모드를 매칭시키기 위하여, 표면 전류의 위상($|U_2|$ 원위)의 위상은 대략 45도 또는 225도의 상수와 $e^{-j\beta(\rho_2-\rho_1)}$ 에 대응하는 전파 위상만큼 표면 전류($|U_1|$ 근위)의 위상과는 달라야 한다. 이는 $\sqrt{\gamma}$ 를 위해 두 개의 근이 하나는 $\pi/4$ 부근에, 그리고, 하나는 $5\pi/4$ 부근에 존재하기 때문이다. 적절히 조정된 합성 레디얼 표면 전류는 다음과 같다.

[0299]
$$J_\rho(\rho, \phi, 0) = \frac{I_0 \gamma}{4} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho) \quad (92)$$

[0300] 이는 방정식 (17)과 일치함을 유의하여야 한다. Maxwell 방정식에 의해, 이런 $J(\rho)$ 표면 전류는 다음에 부합되도록 필드를 자동으로 생성한다.

[0301]
$$H_\phi = \frac{-\gamma I_0}{4} e^{-u_z z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho) \quad (93)$$

[0302]
$$E_\rho = \frac{-\gamma I_0}{4} \left(\frac{u_z}{j\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_z z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \text{ 및} \quad (94)$$

[0303]
$$E_z = \frac{-\gamma I_0}{4} \left(\frac{-\gamma}{\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_z z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho) \quad (95)$$

[0304] 따라서, 매칭된 유도 표면 도파 모드에 대해 표면 전류 $|U_2|$ 원위 및 표면 전류 $|U_1|$ 근위 사이의 위상차는 방정식 (1)-(3)과 일치하는 방정식 (93)-(95)의 Hankel 함수의 특성에 기인한다. 방정식 (1)-(6) 및 (17)과 방정식에 의해 (92)-(95)에 의해 표현되는 필드는 지상파 전파와 연계된 방사 필드가 아닌 손실성 계면에 결합된 전송 라인 모드의 특성을 갖는다.

[0305] 주어진 위치에서 유도 표면 도파 프로브(200e)의 주어진 설계에 대해 적절한 전압 크기들 및 위상들을 획득하기 위해, 반복 접근법이 이용될 수 있다. 구체적으로, 생성되는 레디얼 표면 전류 밀도를 결정하기 위해 단자들 (T_1 , T_2)에 대한 급전 전류들, 충전 단자들(T_1 , T_2) 상의 전하들 및 손실성 전도 매체(203) 내의 그들의 이미지들을 고려하여 유도 도파 프로브(200e)의 주어진 여기 및 구성에 대한 분석이 수행될 수 있다. 이러한 프로세스는 주어진 유도 표면 도파 프로브(200e)에 대한 최적 구성 및 여기가 원하는 파라미터들에 기초하여 결정될 때까지 반복적으로 수행될 수 있다. 주어진 유도 표면 도파 프로브(200e)가 최적 레벨에서 동작하고 있는지를 결정하는 것을 돕기 위해, 유도 도파 프로브(200e)의 위치에서의 영역 1의 전도율(σ_1) 및 영역 1의 유전율(ϵ_1)에 대한 값들에 기초하여 위의 방정식 (1)-(12)을 이용하여 유도 필드 강도 곡선(103)(도 1)이 생성될 수 있다. 이런 유도 필드 강도 곡선(103)은 최적 전송이 달성되었는지를 결정하기 위해 측정된 필드 강도들이 유도 필드 강도 곡선(103)에 의해 나타내어지는 크기들과 비교될 수 있게 하도록 동작에 대한 벤치마크를 제공할 수 있다.

[0306] 최적화된 조건에 도달하기 위해, 유도 표면 도파 프로브(200e)와 연계된 다양한 파라미터가 조정될 수 있다. 유도 표면 도파 프로브(200e)를 조정하기 위해 변경될 수 있는 하나의 파라미터는 손실성 전도 매체(203)의 표면에 대한 충전 단자들(T_1 및/또는 T_2) 중 하나 또는 양자의 높이이다. 추가적으로, 충전 단자들(T_1 , T_2) 간의 거리 또는 간격도 조정될 수 있다. 그렇게 하면서, 인식될 수 있는 바와 같이 충전 단자들(T_1 , T_2)과 손실성 전도 매체(203) 간의 상호 용량(C_M) 또는 임의의 결합 용량들을 최소화하거나 다른 방식으로 변경할 수 있다. 각각의 충전 단자(T_1 및/또는 T_2)의 크기도 조정될 수 있다. 인식될 수 있는 바와 같이, 충전 단자들(T_1 및/또는 T_2)의 크기를 변경함으로써, 각각의 자기 용량(C_1 및/또는 C_2) 및 상호 용량(C_M)을 변경할 것이다.

[0307] 또한, 조정될 수 있는 다른 파라미터는 유도 표면 도파 프로브(200e)와 관련된 급전 네트워크(209)이다. 이는 급전 네트워크(209)를 구성하는 유도 및/또는 용량 리액티브들의 크기를 조정함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 그러한 유도 리액티브들이 코일들을 포함하는 경우, 그러한 코일들 상의 권회수가 조정될 수 있다. 궁극적으로, 급전 네트워크(209)에 대한 조정은 급전 네트워크(209)의 전기적 길이를 변경하여, 충전 단자들(T_1 , T_2)에 대한 전압 크기들 및 위상들에 영향을 주도록 행해질 수 있다.

[0308] 다양한 조정을 행함으로써 수행되는 전송의 반복은 인식될 수 있는 바와 같이 컴퓨터 모델들을 이용하여 또는 물리 구조들을 조정하여 구현될 수 있다는 점에 유의한다. 상술한 조정을 이행함으로써, 전술한 방정식 (90)

및 (91)에 명시된 유도 표면 도파 모드의 동일한 전류($J(\rho)$)와 근사한 대응하는 "근위" 표면 전류(J_1) 및 "원위" 표면 전류(J_2)를 생성할 수 있다. 따라서, 결과적인 전자기 필드들은 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면파 모드에 실질적으로 또는 대략 모드 일치된다.

[0309] 도 16의 예에는 도시되어 있지 않지만, 유도 표면 도파 프로브(200e)의 동작은 유도 표면 도파 프로브(200)와 연계된 동작 조건의 변동에 대해 조정되도록 제어될 수 있다. 예로서, 도 12에 도시된 프로브 제어 시스템(230)이 유도 표면 도파 프로브(200e)의 동작을 제어하기 위해 충전 단자(T_1 및/또는 T_2)의 크기 및/또는 위치 설정 및/또는 급전 네트워크(209)를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 동작 조건은 손실성 전도 매체(203)의 특성의 변동(예를 들어, 전도율(σ) 및 상대 유전율(ϵ_r)), 필드 강도의 변동 및/또는 유도 표면 도파 프로브(200e)의 부하의 변동을 포함할 수 있지만 이에 한정되지는 않는다.

[0310] 이제 도 17을 참조하면, 유도 표면 도파 프로브(200f)로서 여기서 표시되는 도 16의 유도 표면 도파 프로브(200e)의 일 예가 도시되어 있다. 유도 표면 도파 프로브(200f)는 손실성 전도 매체(203)(예컨대, 지구)에 의해 제공되는 평면에 실질적으로 수직인 수직 축(z)을 따라 배치되는 충전 단자들(T_1 , T_2)을 포함한다. 제2 매체(206)는 손실성 전도 매체(203) 위에 있다. 충전 단자(T_1)는 자기 용량(C_1)을 가지고, 충전 단자(T_2)는 자기 용량(C_2)을 가진다. 동작 동안, 임의의 주어진 순간에 충전 단자들(T_1 , T_2)에 인가되는 전압들에 따라 충전 단자들(T_1 , T_2) 각각 상에 전하들(Q_1 , Q_2)이 부여된다. 충전 단자들(T_1 , T_2) 사이에는 그들 간의 거리에 따라 상호 용량(C_M)이 존재할 수 있다. 추가적으로, 각각의 충전 단자(T_1 , T_2)와 손실성 전도 매체(203) 사이에는 손실성 전도 매체(203)에 대한 각각의 충전 단자(T_1 , T_2)의 높이들에 따라 결합 용량들이 존재할 수 있다.

[0311] 유도 표면 도파 프로브(200f)는 충전 단자(T_1 , T_2) 각각에 결합되는 한 쌍의 리드를 갖는 코일(L_{1a})을 포함하는 유도 임피던스를 포함하는 급전 네트워크(209)를 포함한다. 일 실시예에서, 코일(L_{1a})은 유도 표면 도파 프로브(200f)의 동작 주파수에서의 파장의 절반($1/2$)인 전기적 길이를 갖도록 지정된다.

[0312] 코일(L_{1a})의 전기적 길이가 동작 주파수에서의 파장의 약 절반($1/2$)으로서 지정되지만, 코일(L_{1a})은 다른 값들의 전기적 길이를 갖도록 지정될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 코일(L_{1a})이 동작 주파수에서의 파장의 약 절반의 전기적 길이를 갖는다는 사실은 충전 단자들(T_1 , T_2) 상에서 최대 전압차가 생성된다는 점에서 장점을 제공한다. 그럼에도 불구하고, 코일(L_{1a})의 길이 또는 직경은 유도 표면파 모드의 최적의 여기를 획득하기 위해 유도 표면 도파 프로브(200f)를 조정할 때 증가 또는 감소할 수 있다. 코일 길이의 조정은 코일의 일 단부 또는 양 단부에 위치한 탭에 의해 제공될 수 있다. 다른 실시예에서, 유도 임피던스는 유도 도파 프로브(200f)의 동작 주파수에서의 파장의 $1/2$ 보다 훨씬 작거나 큰 전기적 길이를 갖도록 지정될 수 있다.

[0313] 여기 소스(212)는 자기 결합에 의해 급전 네트워크(209)에 결합될 수 있다. 구체적으로, 여기 소스(212)는 코일(L_{1a})에 유도적으로 결합되는 코일(L_p)에 결합된다. 이것은 인식될 수 있는 바와 같이 링크 결합, 탭핑된 코일, 가변 리액턴스 또는 다른 결합 접근법에 의해 행해질 수 있다. 이 때문에, 인식될 수 있는 바와 같이, 코일(L_p)은 1차측으로서 작용하고, 코일(L_{1a})은 2차측으로서 작용한다.

[0314] 원하는 유도 표면파의 전송을 위해 유도 도파 프로브(200f)를 조정하기 위해, 각각의 충전 단자(T_1 , T_2)의 높이가 손실성 전도 매체(203)에 대해 그리고 서로에 대해 변경될 수 있다. 또한, 충전 단자들(T_1 , T_2)의 크기들이 변경될 수 있다. 추가적으로, 코일(L_{1a})의 크기는 권선들을 추가 또는 제거함으로써 또는 코일(L_{1a})의 소정의 다른 치수를 변경함으로써 변경될 수 있다. 또한, 코일(L_{1a})은 도 17에 도시된 바와 같이 전기적 길이를 조정하기 위한 하나 이상의 탭을 포함할 수 있다. 각 충전 단자(T_1 또는 T_2)에 연결된 탭의 위치도 조정될 수 있다.

[0315] 다음에 도 18a, 도 18b, 도 18c 및 도 19를 참조하면, 무선 전력 전달 시스템들에서 표면 유도 파들을 이용하기 위한 일반화된 수신 회로들의 예들이 도시되어 있다. 도 18a, 도 18b 및 도 18c는 각각 선형 프로브(303) 및 튜닝형 공진기(306)를 포함한다. 도 19는 본 개시 내용의 다양한 실시예들에 따른 자기 코일(309)이다. 다양한 실시예들에 따르면, 선형 프로브(303), 튜닝형 공진기(306) 및 자기 코일(309) 각각은 다양한 실시예들에 따라 손실성 전도 매체(203)의 표면 상에서 유도 표면파의 형태로 전송되는 전력을 수신하는 데 사용될 수 있다.

전술한 바와 같이, 일 실시예에서, 손실성 전도 매체(203)는 지상 매체를 포함한다.

[0316] 도 18a를 참조하면, 선형 프로브(303)의 출력 단자들(312)에서의 개방 회로 단자 전압은 선형 프로브(303)의 유효 높이에 의존한다. 이 때문에, 단자 지점 전압은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$V_T = \int_0^{h_e} E_{inc} \cdot dl \quad (96)$$

[0318] 여기서, E_{inc} 는 미터당 볼트 단위로 선형 프로브(303) 상에 유도된 입사 전기 필드의 강도이고, dl 는 선형 프로브(303)의 방향을 따른 적분의 요소이며, h_e 는 선형 프로브(303)의 유효 높이이다. 전기 부하(315)가 임피던스 일치 네트워크(318)를 통해 출력 단자들(312)에 결합된다.

[0319] 선형 프로브(303)에 전술한 바와 같은 유도 표면파가 인가될 때, 출력 단자들(312) 양단에는 전압이 발생하며, 이 전압은 경우에 따라서는 켈레 임피던스 매칭 네트워크(318)를 통해 전기 부하(315)에 인가될 수 있다. 전기 부하(315)로의 전력의 흐름을 촉진하기 위해, 전기 부하(315)는 후술하는 바와 같이 선형 프로브(303)에 실질적으로 임피던스 매칭되어야 한다.

[0320] 도 18b를 참조하면, 유도 표면파의 파 경사와 동일한 위상 이동을 소유하는 그라운드 전류 여기 코일(306a)은 손실성 전도 매체(203) 위로 상승된(또는 현수된) 충전 단자(T_R)를 포함한다. 충전 단자(T_R)는 자기 용량(C_R)을 갖는다. 추가적으로, 손실성 전도 매체(203) 위의 충전 단자(T_R)의 높이에 따라 충전 단자(T_R)와 손실성 전도 매체(203) 사이에 결합 용량(미도시)이 또한 존재할 수 있다. 결합 용량은 바람직하게는 실용적으로 가능한 많이 최소화되어야 하지만, 이것은 모든 사례에서 전적으로 필요하지는 않을 수 있다.

[0321] 튜닝형 공진기(306a)는 또한 위상 이동(Φ)을 갖는 코일(L_R)을 포함하는 수신기 네트워크를 포함한다. 코일(L_R)의 한 단부는 충전 단자(T_R)에 결합되며, 코일(L_R)의 다른 단부는 손실성 전도 매체(203)에 결합된다. 수신기 네트워크는 충전 단자(T_R)에 코일(L_R)을 결합하는 수직 급전 라인 전도체를 포함할 수 있다. 이 때문에, 코일(L_R)(튜닝형 공진기(L_R-C_R))로도 지칭될 수 있음은 직렬-조정 공진기를 충전 단자(C_R)로서 포함하며, 코일(L_R)은 직렬로 배치된다. 코일(L_R)의 위상 지연은 구조의 위상(Φ)이 파 경사(ψ)의 각도와 실질적으로 동일해지도록 충전 단자(T_R)의 크기 및/또는 높이를 변경함으로써 및/또는 코일(L_R)의 크기를 조정함으로써 조정될 수 있다. 수직 공급 라인의 위상 지연은 또한 예를 들어, 전도체의 길이를 변화시킴으로써 조정될 수 있다.

[0322] 예로서, 자기 용량(C_R)에 의해 제공되는 저항은 $1/j\omega C_R$ 로서 계산된다. 구조(306a)의 전체 용량은 또한 손실성 전도 매체(203)와 충전 단자(T_R) 사이의 용량을 포함할 수 있고, 여기서, 구조(306a)의 전체 용량은 인지할 수 있는 바와같이 임의의 결합 용량 및 자기 용량(C_R) 양자로부터 계산될 수 있다. 일 실시예에 따라서, 충전 단자(T_R)는 임의의 결합 용량을 실질적으로 감소시키거나 제거하도록 소정 높이로 상승될 수 있다. 결합 용량의 존재는 전술한 바와 같이 손실성 전도 매체(203)와 충전 단자(T_R) 사이의 용량 측정으로부터 결정될 수 있다.

[0323] 이산 요소 코일(L_R)에 의해 제공되는 유도 리액턴스는 $j\omega L$ 로서 계산될 수 있고, 여기서 L 은 코일(L_R)의 집중 요소 인덕턴스이다. 코일(L_R)이 분산 요소인 경우, 그 등가 단자 지점 유도 리액턴스는 종래의 접근법에 의해 결정될 수 있다. 구조(306a)를 튜닝하기 위해, 동작 주파수에서 표면 도파로에 대한 모드 매칭의 목적을 위해 위상 지연이 파 경사와 같도록 조정을 수행한다. 이러한 조건에서, 수신 구조체는 표면 도파로와 "모드 매칭"되는 것으로 고려될 수 있다. 임피던스 매칭 네트워크(324) 및/또는 구조 주변의 변압기 랭크가 부하에 전력을 결합하기 위해 전기 부하(327)와 프로브 사이에 삽입될 수 있다. 프로브 단자(321)와 전기 부하(327) 사이에 임피던스 매칭 네트워크(324)를 삽입하는 것은 전기 부하(327)에 대한 최대 전력 전달을 위한 켈레 매칭 조건을 실행할 수 있다.

[0324] 동작 주파수의 표면 전류가 존재하는 상태로 배치되면, 전력은 표면 유도파로부터 전기 부하(327)로 전달될 것이다. 이 때문에, 전기 부하(327)는 자기 결합, 용량 결합 또는 전도(직접 탭) 결합을 통해 구조(306a)에 결합될 수 있다. 결합 네트워크의 요소들은 인식될 수 있는 바와 같이 집중 컴포넌트들 또는 분산 요소들일 수 있다.

[0325] 도 18b에 도시된 실시예에서는, 자기 결합이 이용되며, 여기서 코일(L_S)은 변압기 1차측으로서 작용하는 코일

(L_R)에 대해 2차측으로서 배치된다. 코일(L_S)은 인식할 수 있듯이 그를 동일 코어 구조 주위에 기하학적으로 감고서, 결합된 자속을 조정함으로써 코일(L_R)에 링크 결합될 수 있다. 추가적으로, 수신 구조체(306a)는 직렬 튜닝형 공진기를 포함하지만, 병렬 튜닝형 공진기 또는 심지어는 적절한 위상 지연의 분산-요소 공진기도 사용될 수 있다.

[0326] 전자기 필드에 침지된 수신 구조체가 필드로부터 에너지에 결합할 수 있지만, 편광 매칭된 구조가 결합을 최대화함으로써 최상으로 작동할 수 있으며, 도파 모드에 대한 프로브 결합을 위한 통상적 규칙이 관찰되어야 함을 알 수 있다. 예로서, TE_{20} (횡방향 전기 모드) 도파 프로브는 TE_{20} 모드에서 여기된 종래의 도파로로부터 에너지를 추출하는 데 최적일 수 있다. 유사하게, 이들 경우에서, 모드 매칭되고 위상 매칭된 수신 구조체는 표면 유도 파로부터의 전력 결합에 최적화될 수 있다. 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 프로브(200)에 의해 여기된 유도 표면파는 개방 도파로의 도파 모드로 고려될 수 있다. 도파로 손실을 배제하면, 소스 에너지는 완전히 회수될 수 있다. 유용한 수신 구조체는 E 필드 결합, H 필드 결합 또는 표면 전류 여기될 수 있다.

[0327] 수신 구조체는 수신 구조체 부근의 손실성 전도 매체(203)의 국지적 특성에 기초하여 유도 표면파와의 결합을 증가 또는 최대화하도록 조정될 수 있다. 이를 달성하기 위해, 수신 구조체의 위상 지연(Φ)은 수신 구조체에서 표면 진행파의 파 경사의 각도(Ψ)와 매칭되도록 조정될 수 있다. 적절히 구성되는 경우, 수신 구조체는 그 후 복소 깊이 $z=-d/2$ 의 완전 전도성 이미지 그라운드 평면에 관하여 공진하도록 튜닝될 수 있다.

[0328] 코일(L_R) 및 코일(L_R)과 충전 단자(T_R) 사이에 연결된 수직 공급 라인을 포함하는 도 18b의 튜닝형 공진기(306a)를 포함하는 수신 구조체를 고려한다. 손실성 전도 매체(203) 위의 규정된 높이에 충전 단자(T_R)가 위치한 상태에서, 코일(L_R)의 전체 위상 이동(Φ) 및 수직 급전 라인은 튜닝형 공진기(306a)의 위치에서 파 경사의 각도(Ψ)와 매칭될 수 있다. 방정식 (22)로부터, 파 경사는 점근식으로 진행하는 것을 알 수 있고,

$$W = |W|e^{j\Psi} = \frac{E_\rho}{E_z} \rho \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r - j\frac{\sigma_1}{\omega\epsilon_0}}} \quad (97)$$

[0330] 여기서, ϵ_r 은 상대 유전율을 포함하고, σ_1 은 수신 구조체의 위치에서의 손실성 전도 매체(203)의 전도율이고, ϵ_0 는 자유 공간의 유전율이며, $\omega=2\pi f$ 이고, 여기서 f 는 여기 주파수이다. 따라서, 파 경사각(Ψ)은 방정식 (97)로부터 결정될 수 있다.

[0331] 튜닝형 공진기(306a)의 전체 위상 이동($\Phi = \Theta_c + \Theta_y$)은 코일(L_R)을 통한 위상 지연(Θ_c)과 수직 공급 라인의 위상 지연(Θ_y)을 포함한다. 수직 공급 라인의 전도체 경로(l_w)를 따른 공간적 위상 지연은 $\Theta_y = \beta_w l_w$ 에 의해 주어질 수 있고, 여기서, β_w 는 수직 공급 라인 전도체를 위한 전파 위상 상수이다. 코일(또는 나선형 지연 라인)에 기인한 위상 지연은 l_c 의 물리적 길이와 다음과 같은 전파 인자에서 $\Theta_c = \beta_p l_c$ 이다.

$$\beta_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0} \quad (98)$$

[0333] 여기서 V_f 는 구조 상의 속도 인자이고, λ_0 는 공급된 주파수에서의 파장이며, λ_p 는 속도 인자(V_f)로부터 초래되는 전파 파장이다. 위상 지연($\Theta_c + \Theta_y$) 중 하나 또는 양자 모두는 파 경사의 각도(Ψ)에 위상 이동(Φ)을 매칭시키기 위해 조정될 수 있다. 예로서, 전체 위상 이동을 파 경사각에 매칭시키도록($\Phi = \Psi$) 코일 위상 지연(Θ_c)을 조정하기 위해 탭 위치가 도 18b의 코일(L_R)에 대해 조정될 수 있다. 예로서, 코일의 일부가 도 18b에 예시된 바와 같이 탭 연결에 의해 우회될 수 있다. 또한, 수직 공급 라인 전도체가 탭을 통해 코일(L_R)에 연결될 수 있고, 코일 상이 탭의 위치는 파 경사의 각도에 전체 위상 이동을 매칭시키도록 조정될 수 있다.

[0334] 튜닝형 공진기(306a)의 위상 지연(Φ)이 조정되고 나면, 충전 단자(T_R)의 임피던스가 그후 조정되어 복소 깊이($z=-d/2$)에 있는 완전 전도성 이미지 그라운드 평면에 관한 공진상태로의 튜닝을 위해 조정될 수 있다. 이는 수직 급전 라인과 코일(L_R)의 진행파 위상 지연을 변경하지 않고 충전 단자(T_I)의 용량을 조정함으로써 달성될 수 있다. 조정은 도 9a 및 도 9b에 관하여 설명된 것들과 유사하다.

[0335] 복소 이미지 평면에 대해 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 관찰된 임피던스는 다음에 의해 주어지며:

$$[0336] \quad Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = Z_o \tanh(j\beta_o(d/2)) \quad (99)$$

[0337] 여기서 $\beta_o = \omega\sqrt{\mu_o\epsilon_o}$ 이다. 지구 위의 수직 편광된 소스에 대하여, 복소 이미지 평면의 위치는 다음에 의해 주어질 수 있다:

$$[0338] \quad d/2 \approx 1/\sqrt{j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\epsilon_1} \quad (100)$$

[0339] 여기서, μ_1 은 손실성 전도 매체(203)의 유전율이고, $\epsilon_1 = \epsilon_r \epsilon_o$ 이다.

[0340] 튜닝형 공진기(306a)의 베이스에서, 수신 구조체 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 도 9a에 예시된 바와 같이 $Z_{\uparrow} = Z_{base}$ 이다. 다음과 같은 단자 임피던스에서:

$$[0341] \quad Z_R = \frac{1}{j\omega C_R} \quad (101)$$

[0342] -여기서 C_R 은 충전 단자(T_R)의 자기 용량임-, 튜닝형 공진기(306a)의 수직 급전 라인 전도체 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 다음에 의해 주어지며:

$$[0343] \quad Z_2 = Z_W \frac{Z_R + Z_W \tanh(j\beta_W h_W)}{Z_W + Z_R \tanh(j\beta_W h_W)} = Z_W \frac{Z_R + Z_W \tanh(j\theta_y)}{Z_W + Z_R \tanh(j\theta_y)} \quad (102)$$

[0344] 그리고, 튜닝형 공진기(306a)의 코일(L_R) 내로 "올려다본" 관찰된 임피던스는 다음에 의해 주어진다:

$$[0345] \quad Z_{base} = R_{base} + jX_{base} = Z_R \frac{Z_2 + Z_R \tanh(j\beta_p H)}{Z_R + Z_2 \tanh(j\beta_p H)} = Z_c \frac{Z_2 + Z_R \tanh(j\theta_c)}{Z_R + Z_2 \tanh(j\theta_c)} \quad (103)$$

[0346] 튜닝형 공진기(306a) 내로 "올려다본" 관찰된 반작용 성분(X_{base})과 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 관찰된 반작용 성분(X_{in})을 매칭시킴으로써 유도 표면 도파 모드로의 결합은 최대화될 수 있다.

[0347] 다음에, 도 18c를 참조하면, 수신 구조체의 상단에서 충전 단자(T_R)를 포함하지 않는 튜닝형 공진기(306b)의 일 예가 도시되어 있다. 본 실시예에서, 튜닝형 공진기(306b)는 코일(L_R)과 충전 단자(T_R) 사이에 결합된 수직 공급 라인을 포함하지 않는다. 따라서, 튜닝형 공진기(306b)의 전체 위상 이동(Φ)은 코일(L_R)을 통한 위상 지연(θ_c)만을 포함한다. 도 18b의 튜닝형 공진기(306a)에서와 같이, 코일 위상 지연(θ_c , can)은 방정식 (97)으로부터 결정된 파 경사의 각도(ψ)와 매칭하도록 조정되며, 이는 $\Phi = \psi$ 이 되게 한다. 표면 도파 모드로 결합된 수신 구조체에 의해 전력 추출이 가능하지만, 충전 단자(T_R)에 의해 제공되는 다양한 반작용 부하 없이 유도 표면파와의 결합을 최대화하도록 수신 구조체를 조정하는 것은 어렵다.

[0348] 도 18d를 참조하면, 손실성 전도 매체(203)의 표면 상의 유도 표면 도파 모드에 실질적으로 모드 매칭되도록 수신 구조체를 조정하는 예를 예시하는 흐름도(180)가 도시되어 있다. 181에서 시작하여, 수신 구조체가 충전 단자(T_R)(예를 들어, 도 18b의 튜닝형 공진기(306a)의)를 포함하는 경우, 그후 충전 단자(T_R)는 184에서 손실성 전도 매체(203) 위의 규정된 높이에 위치된다. 표면 유도파가 유도 표면 도파 프로브(200)에 의해 정렬되어 있기 때문에, 충전 단자(T_R)의 물리적 높이(h_p)는 유효 높이의 것 미만일 수 있다. 이 물리적 높이는 충전 단자(T_R) 상의 속박 전하를 감소시키거나 최대화하도록 선택될 수 있다(예를 들어, 충전 단자의 구체 직경의 4배). 수신 구조체가 충전 단자(T_R)를 포함하지 않는 경우(예를 들어, 도 18c의 튜닝형 공진기(306b)의), 그후 흐름은 187로 진행된다.

[0349] 187에서, 수신 구조체의 전기적 위상 지연(Φ)이 손실성 전도 매체(203)의 국지적 특성에 의해 규정되는 복소 파 경사각(ψ)에 매칭된다. 나선형 코일의 위상 지연(θ_c) 및/또는 수직 공급 라인의 위상 지연(θ_y)은 파 경사(W)의 각도(ψ)와 Φ 가 같아지게 하도록 조정될 수 있다. 파 경사의 각도(ψ)는 방정식 (86)으로부터 결정될 수 있다. 전기적 위상(Φ)은 그후 파 경사 각도에 매칭될 수 있다. 예로서, 전기적 위상 지연($\Phi = \theta_c + \theta_y$)

은 수직 공급 라인 전도체의 길이(또는 높이) 및/또는 코일(L_R)의 기하학적 파라미터를 변경함으로써 조정될 수 있다.

[0350] 다음에, 190에서, 충전 단자(T_R)의 부하 임피던스가 튜닝형 공진기(306a)의 등가 이미지 평면 모델을 공진시키도록 튜닝될 수 있다. 수신 구조체 아래의 전도성 이미지 그라운드 평면(139)(도 9a)의 깊이($d/2$)는 방정식 (100)과 국지적으로 측정될 수 있는 수신 구조체에서의 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구)의 값을 사용하여 결정될 수 있다. 복소 깊이를 사용하여, 손실성 전도 매체(203)의 물리적 경계(136)(도 9a)와 이미지 그라운드 평면(139) 사이의 위상 이동(Θ_d)은 $\Theta_d = \beta_o d/2$ 를 사용하여 결정될 수 있다. 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 관찰된 바와 같은 임피던스(Z_{in})는 방정식 (99)를 사용하여 결정될 수 있다. 이러한 공진 관계는 유도 표면과와의 결합을 최대화하는 것으로 고려될 수 있다.

[0351] 코일(L_R)의 조정된 파라미터와 수직 급전 라인 전도체의 길이에 기초하여, 속도 인자, 위상 지연 및 코일(L_R)과 수직 급전 라인의 임피던스가 결정될 수 있다. 추가적으로, 충전 단자(T_R)의 자기 용량(C_R)은 예를 들어 방정식 (24)를 사용하여 결정될 수 있다. 코일(L_R)의 전파 인자(β_p)는 방정식 (98)을 사용하여 결정될 수 있고, 수직 공급 라인 전도체를 위한 전파 위상 상수(β_w)는 방정식 (49)를 사용하여 결정될 수 있다. 수직 공급 라인과 코일(L_R)의 자기 용량 및 결정된 값들을 사용하여, 코일(L_R) 내로 "올려다본" 관찰된 바와 같은 튜닝형 공진기(306a)의 임피던스(Z_{base})가 방정식 (101), (102) 및 (103)을 사용하여 결정될 수 있다.

[0352] 도 9a의 등가 이미지 평면 모델도 도 18b의 튜닝형 공진기(306a)에 적용된다. 튜닝형 공진기(306a)는 Z_{base} 의 리액턴스 성분(X_{base})이 Z_{in} 의 X_{in} 의 리액턴스 성분을 소거하도록 또는 $X_{base} + X_{in} = 0$ 이도록 충전 단자(T_R)의 부하 임피던스(Z_R)를 조정함으로써 복소 이미지 평면에 관하여 공진하도록 튜닝될 수 있다. 따라서, 튜닝형 공진기(306a)의 코일 내로 "올려다본" 물리적 경계(136)(도 9a)에서의 임피던스는 손실성 전도 매체(203) 내로 "내려다본" 물리적 경계(136)에서의 임피던스의 켈레이다. 부하 임피던스(Z_R)는 충전 단자(T_R)에 의해 관찰되는 전기적 위상 지연($\Phi = \Theta_c + \Theta_y$)을 변경하지 않고 충전 단자(T_R)의 용량(C_R)을 변경함으로써 조정될 수 있다. 전도성 이미지 그라운드 평면(139)에 관한 등가 이미지 평면 모델의 공진을 위한 부하 임피던스(Z_R)를 튜닝하기 위해 반복 접근법이 수행될 수 있다. 이러한 방식으로 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 지구)의 표면을 따른 유도 표면 도파 모드에 대한 전기적 필드의 결합이 개선 및/또는 최대화될 수 있다.

[0353] 도 19를 참조하면, 자기 코일(309)은 임피던스 매칭 네트워크(333)를 통해 전기 부하(336)에 결합되는 수신 회로를 포함한다. 유도 표면과로부터의 전력의 수신 및/또는 추출을 용이하게 하기 위해, 자기 코일(309)이 유도 표면과의 자속(H_ϕ)이 자기 코일(309)을 통과하도록 위치될 수 있으며, 그에 의해, 자기 코일(309)에 전류를 유도하고 그 출력 단자(330)에서 단자 지점 전압을 생성할 수 있다. 단일 권선 코일에 결합된 유도 표면과의 자속은 다음에 의해 표현된다.

$$F = \iint_{A_{CS}} \mu_r \mu_o \vec{H} \cdot \hat{n} dA \quad (104)$$

[0354] 여기서, F 는 결합된 자속이고, μ_r 은 자기 코일(309)의 코어의 유효 상대 유전율이며, μ_o 는 자유 공간의 유전율이고, $\vec{H}$ 는 입사 자기 필드 강도 벡터이며, $\hat{n}$ 은 권선의 단면적에 수직인 단위 벡터이고, A_{CS} 는 각 루프에 의해 둘러싸여진 영역이다. 자기 코일(309)의 단면적에 걸쳐 균일한 입사 자기 필드에 대한 최대 결합을 위해 배향된 N -권선 자기 코일(309)에 대하여, 자기 코일(309)의 출력 단자(330)에서 나타나는 개회로 유도 전압은 다음과 같고,

$$V = -N \frac{dF}{dt} \approx -j\omega \mu_r \mu_o N H A_{CS} \quad (105)$$

[0355] 여기서 변수는 앞서 규정되어 있다. 자기 코일(309)은 경우에 따라 분산형 공진기로서 또는 그 출력 단자(330)에 걸친 외부 커패시터에 의해 유도 표면과 주파수로 튜닝될 수 있고, 그후, 켈레 임피던스 매칭 네트워크(333)를 통해 외부적 전기 부하(336)에 임피던스 매칭될 수 있다.

[0356] 자기 코일(309) 및 전기 부하(336)가 적절히 조정되고 임피던스 매칭 네트워크(333)를 통해 켈레 임피던스 매칭

되는 것을 가정하면, 이때, 자기 코일(309)에 유도된 전류는 전기 부하(336)에 대한 최적의 전력 공급을 위해 사용될 수 있다. 자기 코일(309)에 의해 표현되는 수신 회로는 그라운드에 물리적으로 연결될 필요가 없다는 장점을 제공한다.

[0359] 도 18a, 도 18b, 도 18c 및 도 19를 참조하면, 선형 프로브(303)에 의해 표현되는 수신 회로, 모드 매칭된 구조(306) 및 자기 코일(309)은 각각 전술된 유도 표면 도파 프로브(200)의 실시예 중 임의의 것으로부터 전송된 전기적 전력의 수신을 용이하게 한다. 이 때문에, 수신 에너지는 알 수 있듯이 컵레 매칭 네트워크를 통해 전기 부하(315/327/336)에 전력을 공급하는 데 사용될 수 있다. 이것은 방사 전자기 필드의 형태로 전송된, 수신기에서 수신될 수 있는 신호들과 대조적이다. 그러한 신호들은 매우 낮은 이용 가능 전력을 가지며, 그러한 신호들의 수신기들은 송신기들에 부하를 주지 않는다.

[0360] 선형 프로브(303), 모드 매칭된 구조(306) 및 자기 코일(309)에 의해 제공되는 수신 회로들이 유도 표면 도파 프로브(200)에 인가되는 여기 소스(212)(예를 들어, 도 3, 도 12 및 도 16)에 부하를 주어서, 그러한 수신 회로들에 가해지는 유도 표면파를 생성하는 것은 또한 전술한 유도 표면 도파 프로브들(200)을 이용하여 생성되는 본 유도 표면파들의 특징이다. 이것은 전술한 주어진 유도 표면 도파 프로브(200)에 의해 생성되는 유도 표면파가 송신 라인 모드를 포함한다는 사실을 반영한다. 이와 달리, 방사 전자기파를 생성하는 방사 안테나를 구동하는 전력 소스는 사용되는 수신기들의 수에 관계없이 수신기들에 의해 부하를 받지 않는다.

[0361] 따라서, 하나 이상의 유도 표면 도파 프로브(200) 및 선형 프로브(303) 형태의 하나 이상의 수신 회로와 함께, 튜닝형 모드 매칭된 구조(306) 및/또는 자기 코일(309)은 무선 분배 시스템을 구성할 수 있다. 전술한 바와 같은 유도 표면 도파 프로브(200)를 이용하는 유도 표면파의 전송의 거리가 주파수에 의존하는 경우, 무선 전력 분배는 넓은 영역들에 걸쳐, 심지어는 전 세계에 걸쳐 달성될 수 있는 것이 가능하다.

[0362] 오늘날 광범위하게 연구되는 전통적인 무선 전력 송신/분배 시스템들은 방사 필드들로부터의 "에너지 수확" 및 또한 유도 또는 반응 근거리 필드들에 대한 센서 결합을 포함한다. 이와 달리, 본 무선 전력 시스템은 인터셉트되지 않는 한은 영원히 손실되는 방사선 형태의 전력을 낭비하지 않는다. 현재 개시되는 무선 전력 시스템은 전통적인 상호 리액턴스 결합 근거리필드 시스템들에서와 같은 극히 짧은 범위들로 한정되지도 않는다. 본 명세서에서 개시되는 무선 전력 시스템은 파 유도에 의해 부하에 또는 원거리 발전기에 직접 결선된 부하에 전력을 전달하는 것과 등가인 새로운 표면 유도 전송 라인 모드에 프로브 결합된다. 전송 필드 강도를 유지하는 데 필요한 전력 및 60 Hz에서의 전통적인 고압 전력 라인들에서의 전송 손실들에 비해 매우 낮은 주파수들에서 사소한, 표면 도파로에서 방산되는 전력과 전송 필드 강도를 유지하기 위해 요구되는 전력을 제외하고는, 모든 발전기 전력이 원하는 전기 부하로만 간다. 전기 부하 요구가 종료될 때, 소스 전력 생성은 비교적 유휴상태가 된다.

[0363] 다음에, 도 20a 내지 도 20e를 참조하면, 다음의 설명에 대한 참조로 사용되는 다양한 도식 기호의 예들이 도시되어 있다. 특히 도 20a를 참조하면, 유도 표면 도파 프로브(200a, 200b, 200c, 200e, 200d 또는 200f) 중 임의의 하나 또는 그 임의의 변형을 나타내는 기호가 도시되어 있다. 이하의 도면과 설명에서, 이 기호의 서술은 유도 표면 도파 프로브(P)로서 언급될 것이다. 이하의 설명에서 간결성을 위해, 유도 표면 도파 프로브(P)에 대한 임의의 언급은 유도 표면 도파 프로브(200a, 200b, 200c, 200e, 200d 또는 200f) 중 임의의 것 또는 그 변형에 대한 언급이다.

[0364] 유사하게, 도 20b를 참조하면, 선형 프로브(303)(도 18a), 튜닝형 공진기(306)(도 18b 및 도 18c) 또는 자기 코일(309)(도 19) 중 임의의 것을 포함할 수 있는 유도 표면과 수신 구조체를 나타내는 기호가 도시되어 있다. 이하의 도면과 설명에서, 이 기호의 서술은 유도 표면과 수신 구조체(R)로서 언급될 것이다. 이하의 설명의 간결성을 위해, 유도 표면과 수신 구조체(R)에 대한 임의의 언급은 선형 프로브(303), 튜닝형 공진기(306) 또는 자기 코일(309) 중 임의의 하나나 그 변형들에 대한 언급이다.

[0365] 또한, 도 20c를 참조하면, 선형 프로브(303)(도 18a)를 특정하게 나타내는 기호가 도시되어 있다. 이하의 도면과 설명에서, 이 기호의 서술은 유도 표면과 수신 구조체(R_P)로서 언급될 것이다. 이하의 설명의 간결성을 위해, 유도 표면과 수신 구조체(R_P)에 대한 임의의 언급은 선형 프로브(303) 또는 그 변형들에 대한 언급이다.

[0366] 또한, 도 20d를 참조하면, 튜닝형 공진기(306)(도 18b 및 도 18c)를 특정하게 나타내는 기호가 도시되어 있다. 이하의 도면과 설명에서, 이 기호의 서술은 유도 표면과 수신 구조체(R_R)로서 언급될 것이다. 이하의 설명의 간

결성을 위해, 유도 표면과 수신 구조체(R_R)에 대한 임의의 언급은 튜닝형 공진기(306) 또는 그 변형들에 대한 언급이다.

- [0367] 또한, 도 20e를 참조하면, 자기 코일(309)(도 19)을 구체적으로 나타내는 기호가 도시되어 있다. 다음 도면들 및 설명에서, 이 기호의 묘사는 유도 표면과 수신 구조(R_R)로서 지칭될 것이다. 다음의 설명에서 단순화를 위해, 유도 표면과 수신 구조(R_R)에 대한 임의의 언급은 자기 코일(309) 또는 그의 변형에 대한 언급이다.
- [0368] 도 21은 다양한 실시예에 따라 유도 표면 도파 프로브(P1, P2 및 P3)를 작동시키는 복수의 무선 전력 공급자에 의해 서비스되는 지리적 영역(2100)의 일례를 도시한다. 각각의 무선 전력 공급자는 전술한 바와 같이 유도 표면 도파 프로브 전력 전송 시스템을 사용하여 각각의 서비스 영역(2106)에 전력을 전송한다. 예를 들어, 유도 표면 도파 프로브(P1)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 서비스 영역(2106a)으로 전송하고, 유도 표면 도파 프로브(P2)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 서비스 영역(2106b)으로 전송하며, 유도 표면 도파 프로브(P3)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 서비스 영역(2106c)으로 전송한다.
- [0369] 서비스 영역(2106) 내의 수신기들은 전술한 바와 같은 전송 라인 모드를 포함하는 유도 표면파를 전송하는 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 전력을 수신할 수 있다. 서비스 영역(2106)의 크기는 예를 들어, 전력이 무선 전력 공급자에 의해 대응하는 유도 표면 도파 프로브(P)에 의해 전송되는 주파수의 함수일 수 있다. 더 낮은 주파수는 더 큰 서비스 영역(2106)과 연관된다. 서비스 영역들(2106)이 도 21에 원형으로 도시되어 있지만, 서비스 영역(2106)의 실제 형상은 예를 들어, 그라운드 전도성, 지형, 수신기에 의해 부과된 부하, 및 다른 인자들에 의해 영향을 받을 수 있다는 점을 이해한다.
- [0370] 도 21에 도시된 무선 전력 공급자는 중첩되지 않는 주파수로 송신하기 위해 주파수 분할 다중화를 채택할 수 있다. 많은 상이한 주파수들이 필요한 거리에 따라 다양한 예에서 채택될 수 있다. 비제한적 예로서, 유도 표면 도파 프로브(P1)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 900kHz를 사용할 수 있고, 유도 표면 도파 프로브(P2)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 925kHz를 사용할 수 있으며, 유도 표면 도파 프로브(P3)를 작동시키는 무선 전력 공급자는 930kHz 또는 다른 주파수를 사용할 수 있다. 유도 표면 도파 프로브(P)에 의해 구동되는 신호가 간섭하지 않도록 주파수가 선택될 수 있다. 일 실시예에서, 무선 전력 공급자의 송신 시스템은 종래의 셀룰러 전화 시스템과 유사한 별집 배열로 배치될 수 있다. 이러한 배열은 주파수의 재사용을 극대화할 수 있다. 일부 실시예에서, 단일 무선 전력 공급자는 동일하거나 동일 위치에 있는 송신 장치를 사용하여 다수의 주파수로 송신할 수 있다.
- [0371] 그러나, 도 21에 도시된 배열은 지리적 영역(2100) 내의 주민에게 가장 잘 제공하고자 하는 욕망으로부터 발생할 수 있다. 더 작은 서비스 영역(예를 들어, 서비스 영역(2106c))은 보다 인구 밀도가 높은 지리를 제공하는 데 사용될 수 있는 반면, 더 큰 서비스 영역(2106) (예를 들어, 서비스 영역(2106b))은 농촌 지리를 제공하는 데 사용될 수 있다. 서비스 영역(2106)은 다수의 주파수로 송신된 전력을 이용할 수 있는 수신기에 증가된 부하를 공급하기 위해 중첩될 수 있다. 일 실시예에서, 수신기는 수신기에서 전기 부하의 크기에 적어도 부분적으로 기초하여 다수의 무선 전력 공급자로부터 전력을 끌어 오도록 구성될 수 있다. 또한, 무선 전력 공급자는 다양한 비용으로 전력을 제공하는 경쟁 공급자에 대응할 수 있다. 주파수 가변(frequency-agile) 수신기는 다수의 무선 전원 공급자가 이용할 수 있는 최저 비용의 무선 전력 공급자로부터의 전력을 사용하도록 구성될 수 있다.
- [0372] 예를 들어, 위치(2109a)에 있는 수신기는 유도 표면 도파 프로브(P1, P2 또는 P3)의 임의의 조합으로부터 전력을 이끌어낼 수 있다. 그러나, 위치(2109b)에 있는 수신기는 유도 표면 도파 프로브(P1 또는 P2)의 임의의 조합으로부터 전력을 이끌어낼 수 있다. 위치(2109b)는 유도 표면 도파 프로브(P3)의 서비스 영역(2106c) 내에 있지 않다.
- [0373] 무선 전력 공급자가 전력을 공급할 수 있는 능력은 총 부하에 따라 달라질 수 있다. 오후 2시와 오후 7시 사이가 무선 전력 공급자의 최대 전력 주기에 대응한다고 가정하면, 오후의 에어컨 및 기타 가전 제품은 피크 수요를 발생시킬 수 있다. 무선 전력 공급자는 수요를 충족시키기 위해 추가적인 피크 생성 용량을 온라인으로 가져올 수 있다. 그러한 피크 생성 용량은 수력보다 오히려 오일 연소 발전기 또는 천연 가스 터빈과 같은 더 높은 비용일 수 있다. 따라서, 무선 전력 공급자에 의해 소비자에게 전달되는 전력 비용은 피크 기간 동안 증가할 수 있다. 경우에 따라, 총 부하로 인해 무선 전력 공급자가 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 능력이 포화 상태가 될 수 있으며, 무선 전력 공급자는 전력 액세스를 제한하거나 거부할 수 있다.
- [0374] 잠재적인 서비스 거부 및/또는 비용 상승을 고려하여, 다수의 무선 전력 공급자의 서비스 영역(2106) 내의 수신기들은 보다 낮은 비용 및/또는 더 나은 가용성일 수 있는 대안적인 전력 소스를 찾을 수 있다. 위치들(2109a

및 2109b)에서, 대안적인 무선 전력 공급자로의 스위칭은 수신기가 튜닝되는 주파수를 스위칭하는 것만큼 간단할 수 있다.

[0375] 또한, 도 21의 유도 표면 도파 프로브(P)는 정적 유도 표면 도파관 프로브(P)뿐만 아니라 이동 유도 표면 도파관 프로브(P)를 포함할 수 있다는 점에 유의한다. 이동 유도 표면 도파 프로브(P)는 필요한 경우 증가된 수요를 충족시키기 위해 주어진 영역으로 이동되어 온라인으로 가져올 수 있다. 예를 들어, 이동 유도 표면 도파 프로브(P)는 스포츠 이벤트, 대규모 수집 등에 대해 예상되는 증가된 수요로 인해 주어진 영역에서 온라인으로 가져올 수 있다.

[0376] 설명될 바와 같이, 본 개시내용의 다양한 양태는 무선 전력 공급자로부터의 상이한 신호의 가용성을 한 위치에서 발견하는 것; 주어진 무선 전력 공급자로부터 비용 및/또는 가용성 데이터를 수신하는 것; 주파수 가변 수신기에서 하나 이상의 무선 전력 공급자를 선택하는 것; 각 무선 전력 공급자에 대한 전력 사용량을 계량하는 것; 전력 사용량을 무선 전력 공급자에게 다시 전력 사용량을 보고하는 것; 보고된 사용량에 적어도 부분적으로 기초하여 무선 전력 공급자에서의 전력 생성을 조정하는 것을 포함한다.

[0377] 다수의 주파수 전력 수신기의 다양한 실시예가 도 32 내지 도 37을 참조하여 논의된다.

[0378] 주파수 가변 전력 수신기의 다양한 실시예가 도 38 내지 도 40을 참조하여 논의된다.

[0379] 도 22를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템(2400a)의 일예가 도시되어 있다. 수신기 시스템(2400a)은 유도 표면과 수신 구조(R), 임피던스 매칭 네트워크(2404), 전기 부하(2406), 전력계(2409) 및/또는 다른 컴포넌트들을 포함할 수 있다. 유도 표면과 수신 구조(R)는 유도 표면파를 통해 전력을 수신할 수 있는 다중 주파수 및/또는 주파수 가변 구조를 포함한다. 수신기 시스템(2400a)은 다수의 주파수를 통해 동시에 전력을 수신할 수 있다. 수신기 시스템(2400a)은 임피던스 매칭 회로(2404)를 통해 하나의 주파수에서 다른 주파수로 스위칭할 수 있다.

[0380] 유도 표면과 수신 구조(R)는 임피던스 매칭 회로(2404)를 통해, 임의의 유형의 부하에 대응할 수 있는 전력을 전기 부하(2406)에 제공한다. 다양한 실시예에서, 전력은 직류(DC) 또는 교류(AC)를 통해 제공된다. 다시 말하면, 부하는 송신된 주파수로부터의 전력을 DC 전력으로 변환하는 능력을 포함할 수 있다. 또한, AC-AC 변환을 채택하여 송신된 주파수로부터의 전력을 부하의 원하는 주파수로 변환할 수 있다. 교류가 요구되는 경우, 전력은 60Hz, 50Hz 또는 또 다른 주파수에서 제공될 수 있으며, 전력을 전달하는 유도 표면파의 주파수와 동일할 필요는 없다. 전력계(2409)에 결합된 센서(2412)는 유도 표면과 수신 구조(R)와 전기 부하(2406) 사이의 전력 공급 라인 상에 위치될 수 있다. 센서(2412)는 전기 부하(2406)에 의한 전력 사용량을 검출한다. 이와 관련하여, 센서(2412)는 전력 공급 라인을 통해 사용되는 전력, 전류 및/또는 전압을 검출할 수 있다.

[0381] 전력계(2409)는 공급자 제어 회로(2415), 사용량 보고 회로(2418) 및/또는 다른 컴포넌트를 포함할 수 있다. 공급자 제어 회로(2415)는 하나 이상의 무선 전력 공급자를 선택하기 위해 주파수 제어 라인(2419)을 통해 임피던스 매칭 회로를 제어할 수 있다. 이와 관련하여, 공급자 제어 회로(2415)는 전력을 수신하기 위해 유도 표면과 수신 구조(R)에 의해 수신될 하나 이상의 전력 주파수를 특정할 수 있다. 주파수 제어 라인(2419)은 임피던스 매칭 회로(2040)가 특정 주파수에 튜닝되도록 가변 커패시터의 조정, 가변 인덕터의 조정 및/또는 다른 유사한 동작을 야기할 수 있다.

[0382] 공급자 제어 회로(2415)는 임의의 다양한 인자들에 적어도 부분적으로 기초하여 전력 공급자를 선택할 수 있다. 수신기 시스템(2400a)의 현재 위치는 어느 무선 전력 공급자가 이용 가능한지를 결정할 수 있다. 이를 위해, (예를 들어, GPS 또는 수동으로 입력된 어드레스를 통해 획득된) 위치 정보는 공급자 제어 회로(2415)에 의해 사용되어 주어진 위치에서 이용 가능한 무선 전력 공급자를 검색할 수 있다. 위치를 제공하는 무선 전력 공급자의 능력은 시간의 경과에 따라 변할 수 있다. 예를 들어, 전력 공급자 A와 전력 공급자 B는 주어진 시간 T에 위치 Q를 제공할 수 있다.

[0383] 하나 이상의 무선 전력 공급자와 연관된 현재 비용 정보는 비용 최소화에도 적어도 부분적으로 기초하여 선택을 알릴 수 있다. 예를 들어, 피크가 아닌 기간 동안, 전력 공급자 A는 kWh 당 0.10달러를 청구할 수 있는 한편, 전력 공급자 B는 kWh 당 0.04달러를 청구할 수 있다. 피크 기간 동안, 전력 공급자 A는 (피크가 아닌 기간과 변동없이) kWh 당 0.10달러를 청구할 수 있는 한편, 전력 공급자 B는 (피크가 아닌 기간에 비해 크게 증가된) kWh 당 0.20달러를 청구할 수 있다. 일부 실시예에서, 비용은 수신기 위치에 적어도 부분적으로 기초하여 평가될 수 있다. 예를 들어, 송신 프로브에 더 가까운 수신기들은 더 낮은 가격이 주어질 수 있는 한편, 송신 프로브로부터 멀리 떨어진 수신기들은 더 높은 가격이 주어질 수 있다.

- [0384] 전기 부하(2406)에 의한 현재 전력 사용량은 또한 공급자 선택을 알릴 수 있다. 전기 부하(2406)가 비교적 적은 전력을 사용하는 경우, 전력 비용은 전력 품질보다 작은 인자일 수 있다. 대조적으로, 전기 부하(2406)가 많은 양의 전력을 사용하는 경우, 전력 비용이 중요한 인자일 수 있다.
- [0385] 전기 부하(2406)의 서비스 레벨 요구 사항도 공급자 선택의 인자일 수 있다. 상이한 전력 공급자들은 상이한 레벨의 전력 품질 및/또는 가용성과 연관될 수 있다. 수신기의 위치, 전력 공급자에 대한 부하 및/또는 다른 인자들로 인해 품질 문제가 발생할 수 있다. 가용성에 관해서는, 태양열 집열기(solar array)를 이용하는 전력 공급자는 예를 들어, 야간에 전력을 전송할 수 없다. 어떤 경우에는, 무선 전력 공급자가 시스템 품질 및/또는 가용성을 유지하기 위해 시스템으로부터 덜 중요한 수신기를 버릴 수도 있다. 또한, 어떤 경우에는, 무선 전력 공급자가 승인된 특정 고객만이 수신기들을 사용할 권한이 있는 폐쇄 시스템을 운영할 수도 있다.
- [0386] 전기 부하(2406)에 대한 전력 손실이 생명 또는 상해의 잠재적인 손실을 초래하는 경우, 비용보다는 전력 품질이 지배적인 인자일 수 있다. 그러나, 일부 전력 사용은 전력 비용이 낮은 다른 시간으로 재스케줄될 수 있다. 어떤 경우에는, 수신기 시스템(2400a)이 무선으로 송신된 전력과 종래의 유선 기반 그리드에 의해 송신된 전력 사이에서 스위칭될 수 있다.
- [0387] 사용량 보고 회로(2418)는 전력 사용을 무선 전력 공급자에게 다시 전송하는데 사용된다. 일부 실시예에서, 사용량 보고 회로(2418)는 전력 사용량 히스토리를 전력계(2409)의 로컬 메모리에 저장할 수 있다. 사용량 보고 회로(2418)는 전력 사용량을 실시간으로, 주기적으로, 미리 정의된 이벤트에 응답하여, 및/또는 다른 시간에 다시 전송할 수 있다. 사용량 보고 회로(2418)는 후술하는 바와 같이 다양한 접근법에 따라 사용량 데이터를 보고하도록 구성될 수 있다. 또한, 수신기 시스템(2400a)에 의해 보고된 사용량 데이터는 전력 생성 및/또는 전송 파라미터를 조정하기 위해 무선 전력 공급자에 의해 채택될 수 있다.
- [0388] 일부 실시예에서, 전기 부하(2406)는 잠재적으로 많은 사용의 총 부하를 포함할 수 있다. 예를 들어, 전기 부하(2406)는 종래의 유선 전력 그리드를 통해 전력 회사의 고객에 의해 부과되는 부하에 대응할 수 있다. 이러한 경우에, 수신기 시스템(2400)은 최저 비용 공급자로부터 다량의 전력을 획득하기 위해 전력 공급자에 의해 작동될 수 있다.
- [0389] 도 23을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 네트워크 환경(2500)이 도시되어 있다. 네트워크 환경(100)은 네트워크(2506)를 통해 서로 데이터 통신하는 복수의 전력 공급자 시스템(2503a ... 2503N) 및 복수의 전력계(2409a ... 2409N)를 포함한다. 네트워크(2506)는 예를 들어, 인터넷, 인트라넷, 엑스트라넷, 광역 네트워크(WAN), 근거리 네트워크(LAN), 유선 네트워크, 무선 네트워크, 케이블 네트워크, 위성 네트워크, 셀룰러 네트워크, 또는 다른 적절한 네트워크 등, 또는 이들 네트워크의 2이상의 조합을 포함할 수 있다.
- [0390] 각각의 전력 공급자 시스템(2503)은 예를 들어, 컴퓨팅 능력을 제공하는 서버 컴퓨터 또는 임의의 다른 시스템을 포함할 수 있다. 대안적으로, 전력 공급자 시스템(2503)은 예를 들어, 하나 이상의 서버 뱅크 또는 컴퓨터 뱅크 또는 다른 배열로 배치될 수 있는 복수의 컴퓨팅 디바이스를 채택할 수 있다. 이러한 컴퓨팅 디바이스는 단일 설비에 배치되거나 많은 상이한 지리적 위치들 간에 분산될 수 있다. 예를 들어, 전력 공급자 시스템(2503)은 호스트된 컴퓨팅 자원, 그리드 컴퓨팅 자원 및/또는 임의의 다른 분산된 컴퓨팅 배열을 함께 포함할 수 있는 복수의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 어떤 경우에는, 전력 공급자 시스템(2503)이 프로세싱, 네트워크, 스토리지, 또는 다른 컴퓨팅 관련 자원의 할당 용량이 시간의 경과에 따라 변할 수 있는 탄력적인 컴퓨팅 자원에 대응할 수 있다.
- [0391] 다음으로, 네트워크 환경(2500)의 다양한 컴포넌트의 동작에 대한 일반적인 설명이 제공된다. 전력 공급자 시스템(2503)은 네트워크(2506)를 통해 비용 데이터(2509) 및 가용성 데이터(2512)를 전력계(2409)로 전송하도록 구성된다. 비용 데이터(2509)는 특정 무선 전력 공급자에 적용 가능한 요금 스케줄을 표시할 수 있다. 비용 데이터(2509)는 현재 레이트, 이전 레이트 및 미래 레이트를 포함할 수 있다. 레이트는 제1 레벨의 사용량이 하나의 레이트로 평가되고 제2 레벨의 사용량이 다른 요금으로 평가되도록 계층화될 수 있다. 비용 데이터(2509)는 주어진 고객 또는 사용량 유형에 특정될 수 있거나 일반적으로 적용 가능한 레이트를 포함할 수 있다. 비용 데이터(2509)는 위치 특정 요금을 포함할 수 있다. 예를 들어, 프랜차이즈 요금, 세금 및/또는 다른 요금으로 인해 도시 또는 기타 관할 구역의 레이트가 더 높아질 수 있다.
- [0392] 가용성 데이터(2512)는 하나 이상의 무선 전력 공급자가 이용 가능한 전력 용량을 가지고 있는지를 표시할 수 있고, 그렇다면 어떤 주파수에서 이용 가능한지를 표시할 수 있다. 가용성 데이터(2512)는 송신 프로브에 대한 참조 위치, 및 잠재적으로, 다양한 거리에서의 신호 품질 및/또는 전력 전달 용량을 표시하는 하나 이상의 메트

력을 표시할 수 있다. 예를 들어, 가용성 데이터(2512)는 무선 전력 공급자가 주어진 참조 위치에서 100kHz에서 이용 가능한 2.5MW의 전력 용량을 갖는다는 것을 표시할 수 있다. 가용성 데이터(2512)는 주어진 무선 전력 공급자로부터의 전력을 소비하도록 허용된 특정 고객 및/또는 고객 클래스를 표시할 수 있다.

[0393] 전력계(2409)는 각각의 전력 공급자 시스템(2503)에 전력 사용량 데이터(2515)를 송신하도록 구성된다. 다양한 실시예에서, 사용량 데이터(2515)는 현재 소비된 전력, 일정 기간에 걸쳐서 소비된 전력, 고유 고객 식별, 대응하는 수신기 시스템(2400a)(도 22)의 식별, 대응하는 수신기 시스템(2400a)의 위치의 식별, 전력이 소비된 주파수 또는 주파수들의 식별, 전력이 소비된 특정 송신국의 식별, 전기 부하(2406)의 유형 및/또는 다른 정보를 포함할 수 있다.

[0394] 어떤 경우에는, 전력계(2409)가 전력 용량을 예약하고 및/또는 전력을 수신하기 위한 허가를 얻기 위해 전력 공급자 시스템(2503)과 통신할 수 있다. 일부 실시예는 수신기 시스템(2400a)이 인가되지 않으면 특별히 전력을 획득하지 못하도록 구성되는 것에 의존할 수 있다. 다른 실시예들에서, 스캐램블링 및/또는 암호화의 형태가 사용될 수 있다. 예를 들어, 무선 전력 공급자는 주파수를 무작위로 스위칭하고 및/또는 전력 전송을 인에이블 또는 디스에이블하도록 구성될 수 있다. 전력을 성공적으로 또는 적어도 중단없이 수신하기 위해서는 주파수 시프트를 유도하는 패턴을 이해하는 것이 필요할 수 있다. 따라서, 패턴을 인코딩하는 키는 인가된 수신기 시스템(2400a)에 제공될 수 있다. 키는 암호화된 통신을 통해 제공될 수 있다.

[0395] 이제 도 24를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템(2400b)의 일례가 도시되어 있다. 수신기 시스템(2400a)(도 22)과 대조적으로, 수신기 시스템(2400b)은 전기 부하(2406)의 일부로서 부하 변조기(2530)를 포함한다. 부하 변조기(2530)는 전기 부하(2406)와 병렬 또는 직렬일 수 있다. 부하 변조기(2530)는 전력을 끌어오는 무선 전력 공급자에게 정보를 전달하기 위해 전기 부하(2406)의 진폭을 변조하도록 구성된다.

[0396] 일 실시예에서, 무선 전력 공급자는 유도 표면 도파 프로브(P)에 의해 보여지는 총 전기 부하를 검출할 수 있다. 이 특징을 사용하여, 총 전기 부하는 전력계(2409)에 의해 보고되는 전력 사용량 데이터(2515)와 같은 정보를 전달하도록 변조될 수 있다. 부하의 변조는 전기 부하(2406)에 공급되는 전력을 간섭하거나 중단하지 않도록 구성될 수 있다. 또한, 변조의 특성은 전기 부하(2406)에 의해 소비되는 전력의 자연적인 변동과 구별되도록 선택될 수 있다. 또한, 부하 변조기(2530)는 다른 수신기 시스템(2400b)의 부하 변조기(2530)와의 충돌을 피하도록 구성될 수 있다. 캐리어 감지, 충돌 검출, 충돌 회피 등과 유사한 접근법이 이용될 수 있다. 주파수 분할 및/또는 시간 분할 다중화 기술은 또한 주어진 무선 전력 공급자에 대해 다수의 부하 변조기(2530)의 공존을 가능하게 하도록 적용될 수 있다.

[0397] 계속해서 도 25를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템(2400c)의 일례가 도시되어 있다. 수신기 시스템(2400b)(도 24)과 대조적으로, 수신기 시스템(2400c)은 무선 전력 공급자로부터 대역 내 데이터를 수신하도록 구성될 수 있다. 즉, 전력을 전달하는 유도 표면파에 내장된 데이터 전송을 수신할 수 있는 데이터 복조기(2533)는 임피던스 매칭 회로(2404) 또는 유도 표면파 수신 구조(R) 자체로부터 수신된 신호를 인터셉트할 수 있다. 예를 들어, 유도 표면파는 데이터 신호를 전달하기 위해 주파수, 위상 및/또는 진폭이 변할 수 있다. 데이터 복조기(2533)는 이들 데이터 전송을 복조하여 공급자 데이터(2536)를 전력계(2409), 구체적으로는 공급자 제어 회로(2415)에 공급할 수 있다. 공급자 데이터(2536)는 비용 데이터(2509)(도 23), 가용성 또는 용량 데이터(2512)(도 23) 및/또는 다른 데이터를 포함할 수 있다.

[0398] 부하 변조기(2530) 및 데이터 복조기(2533)의 추가로, 순방향 및 복귀 경로 통신은 무선 전력 전송 시스템을 위한 대역 내에서 용이하게 될 수 있다. 따라서, 네트워크 환경(2500)(도 23)과 관련하여 설명된 동작들은 개별 네트워크(2506)(도 23)없이 대역 내에서 수행될 수 있다. 그러나, 다양한 실시예는 비용 데이터(2509), 가용성 데이터(2512) 및/또는 전력 사용량 데이터(2515)에 대해 대역 내 및 대역 외 통신의 혼잡을 이용할 수 있다는 점이 이해된다.

[0399] 부하 변조기(2530)를 사용하는 실시예에 관한 추가적인 세부사항은 도 41 내지 도 45를 참조하여 논의된다.

[0400] 도 26을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 무선 전력 공급자(2700)가 도시되어 있다. 무선 전력 공급자(2700)는 예를 들어, 전력 공급자 시스템(2503), 발전기 제어(2703), 및 유도 표면 도파 프로브(P)를 포함할 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 전력계(2409)(도 23)로부터 전력 사용량 데이터(2515)를 수신하도록 동작할 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 전력 사용량 데이터(2515)를 처리하여 유도 표면 도파 프로브(P)에 대한 총 부하를 결정할 수 있다.

[0401] 총 부하 정보를 사용하여, 전력 공급자 시스템(2503)은 유도 표면 도파 프로브(P)와 연관된 발전기를 통해 전력

생성과 연관된 다양한 파라미터를 조정하도록 발전기 제어(2703)에 명령할 수 있다. 예를 들어, 발전기 제어(2703)는 수요를 충족시키기 위해 부가적인 전력 발전 용량을 보드 상에 가져 오거나 및/또는 증가된 부하를 충족시키도록 발전기를 작동시킬 수 있다. 반대로, 총 부하가 감소되면, 발전기 제어(2703)는 생성 용량을 제거 또는 디스에이블할 수 있고 및/또는 감소된 부하를 충족시키도록 발전기를 작동시킬 수 있다. 다양한 실시예에서, 유도 표면 도파 프로브(P)의 다양한 파라미터는 효율적인 방식으로 현재 부하를 충족시키기 위해 전력 사용량 데이터(2515)에 응답하여 조정될 수 있다. 최종적으로, 임의의 특정 시간에서 부하의 특성이 주어지면 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)의 충전 단자에 일정한 전압 또는 전하를 유지하도록 발전기 또는 다른 전력 소스가 구동된다.

[0402] 다음으로, 도 27을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 전력 공급자 시스템(2503)의 일부의 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 도 27의 흐름도는 본 명세서에서 설명된 전력 공급자 시스템(2503)의 일부의 동작을 구현하기 위해 채택될 수 있는 많은 상이한 유형의 기능적 배열의 일례만을 제공한다는 점을 이해한다. 대안으로서, 도 27의 흐름도는 하나 이상의 실시예에 따른 전력 공급자 시스템(2503)에서 구현되는 방법의 요소의 예를 도시하는 것으로 간주될 수 있다.

[0403] 박스(3003)에서 시작하여, 전력 공급자 시스템(2503)은 전력 용량에 대한 수신기 시스템(2400)(도 22)으로부터의 요청을 수신할 수 있다. 박스(3006)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 수신기 시스템(2400)의 위치를 결정할 수 있다. 어떤 경우에는, 요청 및/또는 후속 통신이 예를 들어, GPS 좌표에서 수신기 시스템(2400)의 위치를 특정할 수 있다. 대안적으로, 수신기 시스템(2400)은 고정된 위치와 연관될 수 있고, 전력 공급자 시스템(2503)은 데이터 저장소 내의 고정된 위치를 검색할 수 있다.

[0404] 박스(3009)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 수신기 시스템(2400)과 연관된 전기 부하(2406)(도 22)를 결정할 수 있다. 전기 부하(2406)는 고정된 특성을 가질 수 있고 수신기 시스템(2400)의 식별과 연계하여 저장된 데이터에 저장될 수 있다. 대안적으로, 전기 부하(2406)는 수신기 시스템(2400)으로부터의 요청 및/또는 후속 통신에 의해 특정될 수 있다.

[0405] 박스(3012)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 하나 이상의 전력 주파수들에 대한 수신기 시스템(2400)의 할당을 결정할 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 고객 위치, 고객 유형 등에 기초하여 고객에게 서비스할 수 있는 유도 표면 도파 프로브 시스템을 결정할 수 있다. 또한, 전력 공급자 시스템(2503)은 그러한 시스템에 대한 현재 이용 가능한 용량을 결정할 수 있다. 박스(3015)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 비용, 가용성 및/또는 다른 파라미터들을 포함하는 제안된 할당을 수신기 시스템(2400)에 알릴 수 있다.

[0406] 박스(3018)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 전력 접속을 계속하고자 하는 수신기 시스템(2400)으로부터 확인을 획득할 수 있다. 박스(3021)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 수신기 시스템(2400)을 수용하기 위해 발전 용량이 조정될 필요가 있는지를 결정할 수 있다. 그렇다면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3024)로 이동하여 수신기 시스템(2400)과 연관된 예측된 전기 부하(2406)를 수용하도록 발전 용량을 조정할 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3027)로 진행한다. 발전 용량이 조정될 필요가 없다면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3021)에서 박스(3027)로 이동한다.

[0407] 박스(3027)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 전력 용량이 이용 가능하고 준비되었음을 수신기 시스템(2400)에 통지할 수 있다. 이러한 통지에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 주파수 변경 패턴(예를 들어, 주파수 호핑) 및/또는 전력 절도 억제 조치를 극복하기 위한 다른 데이터를 포함하는, 전력을 수신하는데 필요한 정보를 송신할 수 있다. 박스(3030)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 수신기 시스템(2400)이 부하를 생성할 때 수신기 시스템(2400)으로의 무선 전력 송신을 개시한다. 그 후, 전력 공급자 시스템(2503)의 일부의 동작이 종료된다.

[0408] 도 27의 흐름도는 무선 전력 송신을 개시하기 위한 핸드셰이크 통신 절차의 일례를 기술하고 있지만, 이러한 절차의 다양한 태스크가 선택적일 수 있다는 점이 이해된다. 예를 들어, 수신기 시스템(2400)은 전력 주파수를 자동으로 발견할 수 있고, 수신기 시스템(2400)은 "명예(honor)" 시스템에서 전력 사용량을 보고하도록 구성될 수 있다. 즉, 일부 실시예에서는 전력 공급자 시스템(2503)에 의한 사전 승인이 채택되지 않을 수 있다. 수신기 시스템(2400)은 그들이 각각의 전력 공급자 시스템(2503)에 전력 사용량을 적절하게 보고할 수 있도록 다양한 기술을 사용하여 변조되지 않도록 강화될 수 있다.

[0409] 이제 도 28을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 전력 공급자 시스템(2503)의 또 다른 부분의 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 도 28의 흐름도는 본 명세서에서 설명된 전력 공급자 시스템(2503)의 일부의 동작을 구현하기 위해 채택될 수 있는 많은 상이한 유형의 기능적 배열의 일례만을 제공한다는 점을 이해한다.

대안으로서, 도 28의 흐름도는 하나 이상의 실시예에 따른 전력 공급자 시스템(2503)에서 구현되는 방법의 요소의 예를 도시하는 것으로 간주될 수 있다.

- [0410] 박스(3103)에서 시작하여, 전력 공급자 시스템(2503)은 복수의 수신기 시스템(2400)(도 22)으로부터 전력 사용량 데이터(2515)(도 23)의 복수의 보고를 수신할 수 있다. 이들 보고들로부터, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3106)에서 유도 표면 도파 프로브에 대한 총 부하를 결정할 수 있다. 일부 실시예에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 유도 표면 도파 프로브(P)의 그라운드 말뚝에서의 전류를 측정함으로써, 발전기 또는 태양 농장 등과 같은 전력 소스로부터 유도 표면 도파 프로브(P)에 공급되는 전류 및 전압을 결정함으로써, 또는 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)의 컴포넌트에 대한 다른 관독을 획득함으로써 총 부하를 결정할 수 있다.
- [0411] 박스(3109)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 주어진 유도 표면 도파 프로브(P)의 상부 단자 상의 전압 또는 전하와 같은 시스템의 총 부하 및/또는 다른 동작 파라미터에 적어도 부분적으로 기초하여 전력 용량을 증가시킬지를 결정할 수 있다. 용량이 증가되어야 한다면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3112)로 이동하여 발전기 또는 다른 전력 소스의 동작 파라미터를 조정하여 전력 용량을 증가시킬 수 있다. 다시 말하면, 전력 공급자 시스템(2503)은 발전기 제어(2703)(도 26)와 통신하여 더 많은 전력 발전 용량을 온라인으로 제공할 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3115)로 진행한다.
- [0412] 대신에, 전력 공급자 시스템(2503)이 박스(3109)에서 전력 용량을 증가시키지 않는다고 결정하면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3109)에서 박스(3118)로 전이한다. 박스(3118)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 총 부하에 적어도 부분적으로 기초하여 전력 용량을 감소시킬지를 결정할 수 있다. 용량이 감소되어야 한다면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3121)로 이동하여 발전기 또는 다른 전력 소스의 동작 파라미터를 조정하여 전력 용량을 감소시킬 수 있다. 이는 전력 발전 용량을 오프라인화하기 위해 발전기 제어(2703)와 통신함으로써 행해질 수 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3115)로 진행한다.
- [0413] 박스(3115)에서, 전력 공급자 시스템(2503)은 하나 이상의 수신기 시스템(2400)을 다른 유도 표면 도파 프로브로 전송할지를 결정한다. 예를 들어, 유도 표면 도파 프로브에 부과된 부하는 최대화될 수 있고, 하나 이상의 수신기 시스템(2400)은 과부하를 방지하기 위해 다른 주파수에서 작동하는 시스템으로 전달될 필요가 있을 수 있다. 일부 실시예에서, 전송되는 수신기 시스템(2400)은 기존 주파수상에서 계속해서 동작할 수 있지만, 전송된 주파수상에서 또한 동작하여 적어도 일부 전력을 획득할 수 있다. 하나의 시나리오에서, 총 부하는 현재 주파수에서의 유도 표면 도파 프로브가 턴 오프되고, 기존의 수신기 시스템(2400)이 또 다른 주파수로 전이되는 정도까지 떨어질 수 있다.
- [0414] 하나 이상의 수신기 시스템(2400)이 전송되어야 한다면, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3124)에서 새로운 수신기 할당을 생성할 수 있다. 그 후, 전력 공급자 시스템(2503)은 박스(3127)에서 영향받는 수신기 시스템(2400)에 통지를 전송할 수 있다. 그 후, 전력 공급자 시스템(2503)의 일부의 동작이 종료된다.
- [0415] 다음으로, 도 29를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신기 시스템(2400)(도 22)의 일부의 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 도 29의 흐름도는 본 명세서에서 설명된 수신기 시스템(2400)의 일부의 동작을 구현하기 위해 채택될 수 있는 많은 상이한 유형의 기능적 배열의 일례만을 제공한다는 점을 이해한다. 대안으로서, 도 29의 흐름도는 하나 이상의 실시예에 따른 수신기 시스템(2400)에서 구현되는 방법의 요소의 예를 도시하는 것으로 간주될 수 있다.
- [0416] 박스(3203)에서 시작하여, 수신기 시스템(2400)은 이용 가능한 무선 전력 공급자를 발견할 수 있다. 이 발견은 주파수 전송 스펙트럼의 스캔, 인터넷을 통한 하나 이상의 전력 공급자 시스템(2503)(도 23)과의 통신, 또는 다른 접근법을 포함할 수 있다. 이 발견에는 비용, 가용성 및/또는 다른 인자에 대한 정보를 획득하는 것이 포함될 수 있다. 박스(3206)에서, 수신기 시스템(2400)은 예측된 전기 부하(2406)(도 22)를 결정할 수 있다. 박스(3209)에서, 수신기 시스템(2400)은 전력을 획득할 하나 이상의 무선 전력 공급자를 선택할 수 있다. 선택을 추진하는 인자에는 예를 들어, 비용, 가용성, 신뢰성 등이 포함될 수 있다.
- [0417] 박스(3212)에서, 수신기 시스템(2400)은 선택된 무선 전력 공급자(들)로부터 전력을 요청할 수 있다. 박스(3215)에서, 수신기 시스템(2400)은 선택된 무선 전력 공급자(들)로부터 전력을 수신하기 시작할 수 있다. 박스(3218)에서, 수신기 시스템(2400)은 전기 부하(2406)에 의한 현재의 전력 사용량을 결정할 수 있다. 박스(3221)에서, 수신기 시스템(2400)은 전력 사용량을 대응하는 무선 전력 공급자들에게 보고할 수 있다.
- [0418] 박스(3224)에서, 수신기 시스템(2400)은 하나 이상의 무선 전력 공급자로부터 전력 공급자 데이터를 수신할 수 있다. 이 전력 공급자 데이터에는 업데이트된 가용성, 비용, 주파수 및/또는 다른 정보가 포함될 수 있다. 박

스(3227)에서, 수신기 시스템(2400)은 자신의 동작을 조정할지를 결정한다. 그렇지 않다면, 수신기 시스템(2400)은 박스(3215)로 되돌아가서 무선 전력 공급자(들)로부터 전력을 계속해서 수신한다.

[0419] 동작이 조정되어야 한다면, 수신기 시스템(2400)은 박스(3230)로 전이하여 선택된 무선 전력 공급자 및/또는 다른 동작 파라미터를 조정한다. 예를 들어, 수신기 시스템(2400)은 저비용 공급자로 스위칭할 수 있거나, 수신기 시스템(2400)은 증가된 전기 부하(2406)를 다루기 위해 다른 공급자를 추가할 수 있다. 그 후, 수신기 시스템(2400)은 박스(3215)로 되돌아가서 조정된 파라미터를 사용하여 전력을 계속해서 수신한다.

[0420] 도 30을 참조하면, 본 개시내용의 일 실시예에 따른 전력 공급자 시스템(2503)의 개략적인 블록도가 도시되어 있다. 전력 공급자 시스템(2503)은 하나 이상의 컴퓨팅 디바이스(4000)를 포함할 수 있다. 각각의 컴퓨팅 디바이스(4000)는 예를 들어, 프로세서(4003) 및 메모리(4006)를 갖는 적어도 하나의 프로세서 회로를 포함하며, 이들 모두는 로컬 인터페이스(4009)에 결합된다. 이를 위해, 각각의 컴퓨팅 디바이스(4000)는 예를 들어, 적어도 하나의 서버 컴퓨터 또는 유사한 디바이스를 포함할 수 있다. 로컬 인터페이스(4009)는 이해될 수 있는 바와 같이, 예를 들면, 첨부된 주소/제어 버스 또는 다른 버스 구조를 갖는 데이터 버스를 포함할 수 있다.

[0421] 메모리(4006)에 저장되는 것은 데이터 및 프로세서(4003)에 의해 실행 가능한 몇몇 컴포넌트이다. 특히, 메모리(4006)에 저장되고 프로세서(4003)에 의해 실행 가능한 것은 전력 공급자 로직(4012) 및 잠재적으로 다른 애플리케이션들이다. 또한, 메모리(4006)에는 데이터 저장소(4015) 및 다른 데이터가 저장될 수 있다. 또한, 운영 체제는 메모리(4006)에 저장되어 프로세서(4003)에 의해 실행 가능할 수 있다.

[0422] 도 31을 참조하면, 본 개시내용의 일 실시예에 따른 전력계(2409)의 개략적인 블록도가 도시되어 있다. 전력계(2409)는 예를 들어, 프로세서(4103) 및 메모리(4106)를 갖는 적어도 하나의 프로세서 회로를 포함할 수 있으며, 이들 모두는 로컬 인터페이스(4109)에 결합된다. 이를 위해, 전력계(2409)는 예를 들어, 적어도 하나의 컴퓨터 또는 유사한 디바이스를 포함할 수 있다. 로컬 인터페이스(4109)는 이해될 수 있는 바와 같이, 예를 들면, 첨부된 주소/제어 버스 또는 다른 버스 구조를 갖는 데이터 버스를 포함할 수 있다.

[0423] 메모리(4106)에 저장되는 것은 데이터 및 프로세서(4103)에 의해 실행 가능한 몇몇 컴포넌트이다. 특히, 메모리(4106)에 저장되고 프로세서(4103)에 의해 실행 가능한 것은, 프로세서(4103)를 공급자 제어 회로(2415)(도 22)로 변환하는 공급자 제어 로직(4118), 프로세서(4103)를 사용량 보고 회로(2418)(도 22)로 변환하는 사용량 보고 로직(4121), 및 잠재적으로 다른 애플리케이션들이다. 또한, 메모리(4106)에는 데이터 저장소(4115) 및 다른 데이터가 저장될 수 있다. 또한, 운영 체제는 메모리(4106)에 저장되어 프로세서(4103)에 의해 실행 가능할 수 있다.

[0424] 도 30 및 도 31을 참조하면, 이해될 수 있는 바와 같이, 메모리(4006, 4106)에 저장되고 프로세서(4003, 4103)에 의해 실행 가능한 다른 애플리케이션이 있을 수 있다는 점이 이해된다. 본 명세서에서 논의된 임의의 컴포넌트가 소프트웨어의 형태로 구현되는 경우, C, C++, C#, 오브젝티브 C(Objective C), Java®, JavaScript®, 펄(Perl), PHP, Visual Basic®, Python®, 루비(Ruby), Flash®, 또는 다른 프로그래밍 언어와 같은 다수의 프로그래밍 언어 중 하나를 채택할 수 있다.

[0425] 다수의 소프트웨어 컴포넌트가 메모리(4006, 4106)에 저장되어 프로세서(4003, 4103)에 의해 실행 가능하다. 이와 관련하여, "실행 가능"이라는 용어는 궁극적으로 프로세서(4003, 4103)에 의해 실행될 수 있는 형태의 프로그램 파일을 의미한다. 실행 가능 프로그램의 예는 예를 들어, 메모리(4006, 4106)의 랜덤 액세스 부분에 로딩될 수 있고 프로세서(4003, 4103)에 의해 구동될 수 있는 포맷의 머신 코드로 변환될 수 있는 컴파일된 프로그램, 메모리(4006, 4106)의 랜덤 액세스 부분에 로딩될 수 있고 프로세서(4003, 4103)에 의해 실행될 수 있는 객체 코드와 같은 적절한 포맷으로 표현될 수 있는 소스 코드, 또는 또 다른 실행 가능한 프로그램에 의해 해석되어 프로세서(4003, 4103) 등에 의해 실행될 메모리(4006, 4106)의 랜덤 액세스 부분에 명령어들을 생성할 수 있는 소스 코드일 수 있다. 실행 가능 프로그램은 예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 하드 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브, 메모리 카드를 포함하는 메모리(4006, 4106), CD(compact disc) 또는 DVD(digital versatile disc)와 같은 광 디스크, 플로피 디스크, 자기 테이프, 또는 다른 메모리 컴포넌트의 임의의 부분 또는 컴포넌트에 저장될 수 있다.

[0426] 메모리(4006, 4106)는 본 명세서에서 휘발성 및 비휘발성 메모리와 데이터 저장 컴포넌트 모두를 포함하는 것으로 정의된다. 휘발성 컴포넌트는 전력 손실시 데이터 값을 보유하지 않는 구성요소이다. 비휘발성 컴포넌트는 전력 손실시 데이터를 보유하는 구성요소이다. 따라서, 메모리(4006, 4106)는 예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 하드 디스크 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브, 메모

리 카드 판독기를 통해 액세스되는 메모리 카드, 관련 플로피 디스크 드라이브를 통해 액세스되는 플로피 디스크, 광학 디스크 드라이브를 통해 액세스되는 광학 디스크, 적절한 테이프 드라이브를 통해 액세스되는 자기 테이프 및/또는 다른 메모리 컴포넌트, 또는 이들 메모리 컴포넌트들 중 2이상의 조합을 포함할 수 있다. 또한, RAM은 예를 들어, SRAM(static random access memory), DRAM(dynamic random access memory) 또는 MRAM(magnetic random access memory) 및 다른 이러한 디바이스들을 포함할 수 있다. ROM은 예를 들어, 프로그램 가능 판독 전용 메모리(PROM), 소거 가능 프로그램 가능 판독 전용 메모리(EPROM), 전기적 소거 가능 프로그램 가능 판독 전용 메모리(EEPROM), 또는 다른 유사한 메모리 디바이스를 포함할 수 있다.

[0427] 또한, 프로세서(4003, 4103)는 다수의 프로세서(4003, 4103) 및/또는 다수의 프로세서 코어를 나타낼 수 있고, 메모리(4006, 4106)는 병렬 프로세싱 회로에서 각각 동작하는 다수의 메모리(4006, 4106)를 나타낼 수 있다. 그러한 경우에, 로컬 인터페이스(4009, 4109)는 다수의 프로세서(4003, 4103) 중 임의의 2개 사이, 임의의 프로세서(4003, 4103)와 메모리(4006, 4106) 중 임의의 메모리 사이, 또는 메모리(4006, 4106) 중 임의의 2개 사이 등의 통신을 용이하게 하는 적절한 네트워크일 수 있다. 로컬 인터페이스(4009, 4109)는 예를 들어, 부하 밸런싱을 수행하는 것을 포함하여, 이러한 통신을 조정하도록 설계된 추가 시스템을 포함할 수 있다. 프로세서(4003, 4103)는 전기적 또는 일부 다른 이용 가능한 구성일 수 있다.

[0428] 본 명세서에 설명된 전력 공급자 로직(4012), 공급자 제어 로직(4118), 사용량 보고 로직(4121), 및 다른 다양한 시스템들은 전술한 범용 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 또는 코드로 구현될 수 있지만, 대안으로서, 전용 하드웨어 또는 소프트웨어/범용 하드웨어와 전용 하드웨어의 조합으로도 동일한 것이 구현될 수 있다. 전용 하드웨어로 구현되는 경우, 각각은 다수의 기술 중 임의의 하나 또는 그 조합을 채택하는 회로 또는 상태 머신으로서 구현될 수 있다. 이들 기술은 하나 이상의 데이터 신호의 인가시 다양한 논리 기능을 구현하기 위한 논리 게이트를 갖는 이산 논리 회로, 적절한 논리 게이트를 갖는 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA), 또는 다른 컴포넌트들 등을 포함할 수 있지만, 이들에 한정되지 않는다. 이러한 기술들은 일반적으로 본 기술분야의 통상의 기술자에게 잘 알려져 있으며, 따라서, 본 명세서에서 상세히 기술되지 않는다.

[0429] 도 27, 도 28 및 도 29의 흐름도는 전력 공급자 시스템(2503) 및 수신기 시스템(2400)의 일부의 구현의 기능 및 동작을 도시한다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 각 블록은 특정 논리 기능(들)을 구현하기 위한 프로그램 명령어를 포함하는 모듈, 세그먼트, 또는 코드 부분을 나타낼 수 있다. 프로그램 명령어는 컴퓨터 시스템 또는 다른 시스템의 프로세서(4003, 4103)와 같은 적절한 실행 시스템에 의해 인식 가능한 수치 명령어를 포함하는 프로그래밍 언어 또는 머신 코드로 기록된 사람이 판독할 수 있는 문장을 포함하는 소스 코드의 형태로 구현될 수 있다. 머신 코드는 소스 코드 등으로부터 변환될 수 있다. 하드웨어로 구현되는 경우, 각각의 블록은 특정 논리 기능(들)을 구현하기 위해 회로 또는 다수의 상호 연결된 회로를 나타낼 수 있다.

[0430] 도 27, 도 28 및 도 29의 흐름도가 특정 실행 순서를 나타내고 있지만, 실행 순서는 묘사된 순서와 다를 수 있다는 점이 이해된다. 예를 들어, 2개 이상의 블록의 실행 순서는 도시된 순서에 비례하여 스캐블링될 수 있다. 또한, 도 27, 도 28 및 도 29에 연속해서 도시된 2개 이상의 블록은 동시에 또는 부분적인 동시 발생으로 실행될 수 있다. 또한, 일부 실시예들에서, 도 27, 도 28 및 도 29에 도시된 하나 이상의 블록들은 건너뛰거나 생략될 수 있다. 또한, 향상된 유틸리티, 회계, 성능 측정, 또는 문제 해결 도구 제공 등을 위해, 임의의 개수의 카운터, 상태 변수, 경고 세마포어(semaphore) 또는 메시지를 본 명세서에 설명된 논리 흐름에 추가할 수 있다. 변형은 본 개시내용의 범위 내에 있다는 점이 이해한다.

[0431] 또한, 소프트웨어 또는 코드를 포함하는, 전력 공급자 로직(4012), 공급자 제어 로직(4118), 및 사용량 보고 로직(4121)을 포함하여, 본 명세서에 기술된 임의의 로직 또는 애플리케이션은 예를 들어, 컴퓨터 시스템 또는 다른 시스템의 프로세서(4003, 4103)와 같은 명령어 실행 시스템과 관련하여 또는 이 시스템에 의한 사용을 위해, 임의의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 내장될 수 있다. 이러한 의미에서, 로직은 예를 들어, 컴퓨터 판독 가능 매체로부터 폐지될 수 있고 명령어 실행 시스템에 의해 실행될 수 있는 명령어 및 선언을 포함하는 문장을 포함할 수 있다. 본 개시내용의 맥락에서, "컴퓨터 판독 가능 매체"는 명령어 실행 시스템에 의해 또는 이와 관련하여 사용하기 위해 본 명세서에 설명된 로직 또는 애플리케이션을 포함, 저장 또는 유지할 수 있는 임의의 매체일 수 있다.

[0432] 컴퓨터 판독 가능 매체는 예를 들어, 자기, 광학 또는 반도체 매체와 같은 많은 물리적 매체 중 임의의 매체를 포함할 수 있다. 적절한 컴퓨터 판독 가능 매체의 보다 구체적인 예는 자기 테이프, 자기 플로피 디스켓, 자기 하드 드라이브, 메모리 카드, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브 또는 광학 디스크를 포함하지만,

이에 한정되지는 않는다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 예를 들어, SRAM(static random access memory) 및 DRAM(dynamic random access memory) 또는 MRAM(magnetic random access memory)을 포함하는 RAM(random access memory)일 수 있다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 판독 전용 메모리(ROM), 프로그램 가능 판독 전용 메모리(PROM), 소거 가능 프로그래머블 판독 전용 메모리(EPROM), 전기적 소거 가능 프로그래머블 판독 전용 메모리(EEPROM), 또는 다른 유형의 메모리 디바이스일 수 있다.

[0433] 또한, 전력 공급자 로직(4012), 공급자 제어 로직(4118), 및 사용량 보고 로직(4121)을 포함하여 본 명세서에 기술된 임의의 로직 또는 애플리케이션은 다양한 방식으로 구현되고 구성될 수 있다. 예를 들어, 기술된 하나 이상의 애플리케이션은 단일 애플리케이션의 모듈 또는 컴포넌트로서 구현될 수 있다. 또한, 본 명세서에 기술된 하나 이상의 애플리케이션은 공유된 또는 분리된 컴퓨팅 디바이스 또는 이들의 조합으로 실행될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 기술된 복수의 애플리케이션은 동일한 컴퓨팅 디바이스 또는 복수의 컴퓨팅 디바이스에서 실행될 수 있다. 또한, "애플리케이션", "서비스", "시스템", "엔진", "모듈" 등과 같은 용어는 상호 교환 가능할 수 있고 제한하려는 의도가 없다는 점이 이해된다.

[0434] "X, Y 또는 Z 중 적어도 하나"라는 관용구와 같은 분리어는 구체적으로 달리 언급하지 않는 한 일반적으로 항목, 용어 등이 X, Y 또는 Z 또는 이들의 임의의 조합(예를 들어, X, Y 및/또는 Z)일 수 있다는 것을 제공하기 위해 사용되는 것이 문맥을 통해 이해된다. 따라서, 이러한 분리어는 소정 실시예들이 각기 제공될 X 중 적어도 하나, Y 중 적어도 하나, 및 Z 중 적어도 하나를 필요로 한다는 것을 일반적으로 의도하지 않으며, 암시하지도 않는다.

[0435] 도 32를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신 회로(5100)의 예가 도시되어 있다. 도 32는 유도 표면 도파 수신 구조(R)(도 20c)를 포함한다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 개별 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 지상 매체와 같은 손실성 전도 매체(203)(도 3)의 표면 상에 전송되는 유도 표면파의 형태로 전기적 에너지를 수신하는데 사용될 수 있다. 임의의 N개의 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 유도 표면파의 형태로 전송되는 에너지를 수신하기 위해 사용될 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신한다. 각각의 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 고유한 미리 정해진 주파수에서 작동하고 적어도 하나의 부하(5127)를 공급하는 적어도 하나의 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 유도 표면파의 형태로 전송된 에너지를 수신하는 것을 용이하게 한다. 따라서, 유도 표면 도파 수신 구조(R) 각각은 다른 모든 주파수들에 대하여 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신할 수 있다. 유도 표면 도파 수신 구조(R) 각각은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)에 결합될 수 있다. 유도 표면파 수신 구조(R) 각각은 전술한 유도 표면파 수신 구조들(R_p (도 20c), R_k (도 20d) 또는 R_M (도 20e)) 중 임의의 하나를 포함할 수 있다는 점에 주목한다.

[0436] 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 부하(5127)로의 최대 전력 전송을 위한 켈레 매칭 조건을 실행하기 위해 유도 표면 도파 수신 구조(R) 각각에 결합될 수 있다. 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 변압기, 저항기, 인덕터, 커패시터 또는 전송 라인의 조합을 포함할 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 이해될 수 있는 바와 같이, 각각의 동작 주파수에 대해 조정 가능한 단일 커패시터 및/또는 단일 인덕터를 포함할 수 있다.

[0437] 각각의 각각의 변압기(5124a ... N)는 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)에 결합되어 필요에 따라 전압을 보다 높게 또는 낮게 효율적으로 조정할 수 있다. 각각의 변압기(5124a ... N)는 조정된 전압 출력을 유지하기 위한 조정을 허용하는 가변 변압기를 포함할 수 있다.

[0438] 각각의 개별 파 정류기(5118a ... N)는 교류(AC) 전압을 임의의 수신된 유도 표면파로부터 직류(DC) 전압으로 변환하기 위해 각각의 개별 변압기(5124a ... N)에 결합될 수 있다. 이러한 DC 전압은 이해될 수 있는 바와 같이 리플 DC 전압을 포함할 수 있다. 각각의 파 정류기(5118a ... N)는 단상 정류기 및/또는 다상 정류기를 포함할 수 있으며, 전파 정류기 또는 반파 정류기일 수 있다. 파 정류기(5118a ... N)는 전압의 리플을 감소시키기 위해 평활 회로 및/또는 필터를 포함할 수 있다. 각각의 파 정류기(5118a ... N)는 공통 버스(5112)에 결합되어 각각의 정류된 파형 모두가 전압 조정기(5115)로 전송되도록 할 수 있다. 전압 조정기(5115)는 일정한 전압 레벨을 유지하여 부하(5127)로 전달하기 위해 각각의 파 정류기(5118a ... N)에 결합될 수 있다. 다양한 회로 요소들을 파 정류기(5118a ... N)의 출력에 배치하여, 각각의 파 정류기(5118a ... N)의 출력이 공통 버스(5112)에 결합된 다른 파 정류기(5118a ... N)로 피드백되거나 그렇지 않으면 부정적인 영향을 미치지 않도록 보장할 수 있다.

[0439] 유도 표면 도파 수신 구조(R) 각각은 미리 정해진 동작 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 손실성 전

도 매체(203)의 표면 상에 전송된 유도 표면파 형태로 에너지를 수신한다. 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)는 다른 유도 표면 도파 프로브(P)가 에너지를 전송하는 주파수에 대해 고유한 상이한 주파수에서 동작한다. 따라서, 각각의 개별 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 모든 다른 전송 주파수에 비하여 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신한다. 따라서, 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 각각의 개별 유도 표면 도파 수신 구조(R)에 따라 튜닝되어 각각의 개별 동작 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 유도 표면파 형태로 에너지를 동시에 수신한다. 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 컵레 임피던스 매칭을 달성하도록 튜닝되어 각각의 파 정류기(5118a ... N) 및 전압 조정기(5115)를 통해 부하(5127)로의 전력의 흐름을 용이하게 한다.

[0440] 일부 실시예에서, 각각의 유도 표면 도파 수신 구조(R)는 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N) 또는 각각의 변압기(5124a ... N)에 결합되지 않고 각각의 파 정류기(5118a ... N)에 직접 결합된다. 그러나, 이들 실시예에는 전력이 부하(5127)에 공급되는 효율에 영향을 줄 수 있다. 다시 말해서, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N) 또는 개별 변압기(5124a ... N)가 없는 수신 회로(5100)의 실시예에는 부하(5127)에 최적의 전력 공급을 제공하지 못할 수 있다.

[0441] 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5121a ... N)는 유도 표면 도파 수신 구조(R) 각각에 대해 구체적으로 구성되어 복수의 동작 주파수 각각에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 부하(5127)로 전달하는 것이 용이하게 된다. 각각의 유도 표면파의 전압 출력은 각각의 변압기(5124a ... N)에 의해 스텝 업 또는 스텝 다운될 수 있다. 다음으로, 각각의 유도 표면파는 각각의 파 정류기(5118a ... N)에 의해 정류된다. 각각의 파 정류기(5118a ... N)는 각각의 정류된 유도 표면파를 공통 버스(5112) 또는 노드로 출력한다. 대안적인 실시예에서, 각각의 파 정류기(5118a ... N)는 전압을 효과적으로 변경하기 위해 DC-DC 변환기와 같은 각각의 전력 변환기에 결합된다. 다음으로, 전압 조정기(5115)는 정류된 유도 표면파를 수신하고 정상 DC 신호를 부하(5127)로 송신한다.

[0442] 다양한 실시예에 따르면, 단일 전압 조정기(5115)의 입력 단자는 도시된 바와 같이 각각의 파 정류기(5118a ... N)에 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 2이상의 전압 조정기(5115)가 사용될 수 있다. 다수의 전압 조정기(5115)의 출력 단자는 병렬로 결합되어 DC 출력 전류를 부하(5127)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5115)의 출력 단자는 직렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전압을 부하(5127)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5115)의 출력 단자는 병렬로 결합될 수 있고 결과적인 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5115)는 병렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5115)는 병렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5115)의 출력 단자는 직렬로 결합될 수 있고 결과적인 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5115)는 직렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5115)는 직렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 이해할 수 있는 바와 같이, 선택된 병렬/직렬 구성은 부하(5127)의 전압 및 전류 요구 사항에 의존할 수 있다.

[0443] 도 33을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신 회로(5100)의 예가 도시되어 있다. 도 33은 유도 표면파 수신 구조(R_R)(도 20d)를 포함하는 튜닝형 공진기(5206)를 포함한다. 튜닝형 공진기가 도시되어 있지만, 선행 프로브(R_P) 및 자기 코일(R_M)이 또한 사용될 수 있다는 점이 이해된다. 다양한 실시예에 따르면, 튜닝형 공진기(5206)는 손실성 전도 매체(203)(도 3)의 표면 상에 전송된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하기 위해 채택될 수 있다. 튜닝형 공진기(5206)는 부하(5227)에 공급될 고유한 미리 정의된 주파수에서 동작하는 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 전송된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하는 것을 용이하게 한다. 튜닝형 공진기(5206)는 코일(5203)을 포함한다.

[0444] 코일(5203)은 절연 회로(5212a ... N)에 직접 탭 결합을 통해 결합될 수 있다. 절연 회로(5212a ... N)는 튜닝형 공진기(5206)가 다수의 전송 주파수에서 동시에 수신할 수 있게 하기 위해 탭 아래의 코일(5203)의 일부를 단락시키도록 코일(5203)에 탭핑될 수 있다. 절연 회로(5212a ... N)는 트랩 쌍극자(trap dipole), 저역 통과 필터, 고역 통과 필터, 대역 통과 필터 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 코일(5203)은 또한 코일(5209a ... N)에 유도적으로 결합될 수 있다. 각각의 코일(5209a ... N)은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)에 결합될 수 있다.

[0445] 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 부하(5227)로의 최대 전력 전달을 위한 컵레 매칭 조건을 실행하기 위해 각각의 코일(5209a ... N)에 결합될 수 있다. 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 변압기, 저항기, 인덕터, 커패시터 또는 전송 라인의 조합을 포함할 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 이해될 수 있는 바와 같이, 각각의 동작 주파수에 대해 조정 가

능한 단일 커패시터 및/또는 단일 인덕터를 포함할 수 있다.

[0446] 각각의 개별 파 정류기(5218a ... N)는 교류(AC) 전압을 임의의 수신된 유도 표면파로부터 직류(DC) 전압으로 변환하기 위해 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)에 결합될 수 있다. 각각의 파 정류기(5218a ... N)는 단상 정류기 및/또는 다상 정류기를 포함할 수 있으며, 전파 정류기 또는 반파 정류기일 수 있다. 파 정류기(5218a ... N)는 AC 리플 전압을 감소시키기 위해 평활 회로 및/또는 필터를 포함할 수 있다. 파 정류기(5218a ... N)는 일정한 전압 레벨을 유지하여 부하(5227)로 전달하기 위해 각각의 전압 조정기(5215a ... N)에 결합될 수 있다.

[0447] 튜닝형 공진기(5206)는 미리 정해진 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)에 의해 손실성 전도 매체(203)의 표면 상에 전송되는 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신한다. 탭을 통해 튜닝형 공진기(5206)의 코일(5203)에 결합된 각각의 절연 회로(5212a ... N)는 탭 아래의 코일(5203)의 일부를 단락시킨다. 따라서, 튜닝형 공진기(5206)는 다수의 전송 주파수에서 동시에 수신할 수 있다. 구체적으로, 각각의 절연 회로(5212a ... N)는 코일(5203)의 미리 정의된 부분을 단락시킴으로써, 나머지 부분은 튜닝형 공진기(5206)가 각각의 주파수에서 공진하게 하는 인덕턴스를 제공한다. 대안적으로, 각각의 절연 회로(5212a ... N)는 코일(5203)의 미리 정의된 부분을 단락시켜서, 코일(5203)의 일부를 포함하는 대응하는 수신기 네트워크의 각각의 위상 지연(Φ)이 각각의 유도 표면파와 연관되는 파 경사각(Ψ)과 매칭되게 하고, 여기서 각각의 파 경사각(Ψ)은 수신 구조 근방의 손실성 전도 매체 또는 지상 매체의 특성에 적어도 부분적으로 기초한다.

[0448] 이를 위해, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 각각의 주파수에 대해 코일(5203)의 활성 부분에 결합되어야 한다. 코일(5203)은 복수의 코일(5209a ... N)에 유도적으로 결합될 수 있으며, 여기서 코일(5209a ... N)은 변압기 1차측으로서 작용하는 코일(5203)에 대해 2차측으로서 배치된다. 따라서, 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 각각의 개별 유도 결합 및 직접 탭 결합에 따라 튜닝되어 각각의 개별 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터의 유도 표면파를 동시에 수신한다. 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 컵레 임피던스 매칭을 달성하도록 튜닝되어 각각의 파 정류기(5218a ... N) 및 전압 조정기(5215a...N)를 통해 부하(5227)로의 전력의 흐름을 용이하게 한다. 대안적인 실시예들에서, 각각이 단일 코일(5209) 또는 다수의 코일(5209a ... N)에 결합되는 코일(5203)을 갖는 다수의 튜닝형 공진기(5206)가 사용될 수 있다.

[0449] 일부 실시예에서, 각각의 튜닝형 공진기(5206)는 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N) 또는 각각의 변압기(5224a ... N)에 결합되지 않고 각각의 파 정류기(5218a ... N)에 직접적으로 결합된다. 그러나, 이들 실시예는 전력이 부하(5227)에 공급되는 효율에 영향을 줄 수 있다. 다시 말해서, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N) 또는 각각의 변압기(5224a ... N)가 없는 수신 회로(5100)의 실시예는 부하(5227)에 최적의 전력 공급을 제공하지 못할 수 있다.

[0450] 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)는 다수의 전송 주파수에서 각각의 유도 표면파가 부하(5227)로 동시에 전달되는 것을 용이하게 하기 위해 각각의 개별 유도 및 직접 탭 결합에 대해 구체적으로 구성된다. 다음으로, 각각의 신호는 각각의 파 정류기(5218a ... N)에 의해 정류된다. 각각의 파 정류기(5218a ... N)는 각각의 정류된 신호를 각각의 전압 조정기(5215a ... N)로 출력한다. 대안적인 실시예들에서, 각각의 파 정류기(5218a ... N)는 각각의 신호를 공통 버스 또는 노드로 출력하여 단일 전압 조정기(5215)로 전송되게 할 수 있다. 다른 실시예들에서, 각각의 파 정류기(5218a ... N)는 전압을 효과적으로 변경하기 위해 각각의 정류된 신호를 DC-DC 변환기와 같은 전력 변환기에 출력할 수 있다. 대안적으로, 각각의 파 정류기(5218a ... N)는 부하(5227)가 AC 신호를 취하는 경우 DC-AC 인버터와 같은 전력 인버터로 각각의 정류된 신호를 출력할 수 있다.

[0451] 전압 조정기(5215a ... N)의 출력 단자는 병렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전류를 부하(5227)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 전압 조정기(5215a...N)의 출력 단자는 직렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전압을 부하(5227)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 전압 조정기(5215a...N)의 출력 단자는 병렬로 결합될 수 있고 결과적인 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5215)는 병렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5215)는 병렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 전압 조정기(5215)의 출력 단자는 직렬로 결합될 수 있고 결과적인 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5215)는 직렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5215)는 직렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 이해할 수 있는 바와 같이, 선택된 병렬/직렬 구성은 부하(5227)의 전압 및 전류 요구 사항에 의존할 수 있다.

- [0452] 도 34를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신 회로(5100)의 예가 도시되어 있다. 도 34는 도 20e에 도시된 자기 코일(5306a, 5306b)을 유도 표면 수신 구조(R_R)로서 포함한다. 자기 코일(5306a, 5306b)이 도시되어 있지만, 다른 수신 구조들(R_P (도 20c) 및 R_R (도 20d))이 사용될 수 있다는 점이 이해된다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 개별 자기 코일(5306a, 5306b)이 손실성 전도 매체(203)(도 3)의 표면 상에 전송된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하기 위해 채택될 수 있다. 임의의 N개의 자기 코일(5306a, 5306b)은 유도 표면파의 형태로 송신되는 에너지를 수신하기 위해 채택될 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 자기 코일(5306a, 5306b)은 유도 표면파의 형태로 송신되는 에너지를 동시에 수신한다. 각각의 자기 코일(5306a, 5306b)은 부하(5327)에 공급될 고유한 미리 정해진 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 송신된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하는 것을 용이하게 한다. 따라서, 각각의 자기 코일(5306a, 5306b)은 다른 모든 주파수에 대해 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신할 수 있다. 각각의 자기 코일(5306a, 5306b)은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5321a 또는 5321b)에 결합된다.
- [0453] 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5321a 또는 5321b)는 부하(5327)로의 최대 전력 전달을 위한 켈레 매칭 조건을 실행하기 위해 각각의 자기 코일(5306a 또는 5306b)에 결합될 수 있다. 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5321a 및 5321b)는 변압기, 저항기, 인덕터, 커패시터 또는 전송 라인의 조합을 포함할 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5321a 및 5321b)는 이해될 수 있는 바와 같이, 각각의 동작 주파수에 대해 조정 가능한 단일 커패시터 및/또는 단일 인덕터를 포함할 수 있다.
- [0454] 각각의 개별 파 정류기(5318a 또는 5318b)는 임의의 수신된 유도 표면파로부터의 교류(AC)를 직류(DC)로 변환하기 위해 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5321a 또는 5321b)에 결합될 수 있다. 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b)는 단상 정류기 및/또는 다상 정류기를 포함할 수 있으며, 전파 정류기 또는 반파 정류기일 수 있다. 파 정류기(5318a 및 5318b)는 AC 리플 전압을 감소시키기 위해 평활 회로 및/또는 필터를 포함할 수 있다. 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b)는 일정한 전압 레벨을 유지하여 부하(5327)로 전달하기 위해 각각의 전압 조정기(5315a 또는 5315b)에 결합될 수 있다.
- [0455] 각각의 자기 코일(5306a, 5306b)은 미리 정해진 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 손실성 전도 매체(203)의 표면 상에 전송되는 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신한다. 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)는 다른 유도 표면 도파 프로브(P)에 대해 상이한 주파수에서 전송한다. 따라서, 각각의 개별 자기 코일(5306a 및 5306b)은 다른 모든 주파수에 대해 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신한다. 따라서, 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5321a 및 5321b)는 각각의 개별 자기 코일(5306a 또는 5306b)에 따라 튜닝되어 각각의 개별 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 유도 표면파를 동시에 수신한다. 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5321a 및 5321b)는 켈레 임피던스 매칭을 달성하도록 튜닝되어 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b) 및 각각의 전압 조정기(5315a 및 5315b)를 통해 부하(5327)로의 전력의 흐름을 용이하게 한다.
- [0456] 일부 실시예에서, 각각의 자기 코일(5306a 및 5306b)은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5221a ... N)에 결합되지 않고 각각의 파 정류기(5318a ... N)에 직접적으로 결합된다. 그러나, 이들 실시예는 전력이 부하(5327)에 공급되는 효율에 영향을 줄 수 있다. 즉, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5321a ... N)가 없는 수신 회로(5100)의 실시예는 부하(5327)에 대한 최적의 전력 공급을 제공하지 못할 수 있다.
- [0457] 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5321a 및 5321b)는 복수의 동작 주파수 각각에서 부하(5327)로의 각각의 개별 유도 표면파의 전달을 용이하게 하기 위해 각각의 자기 코일(5306a 또는 5306b)에 대해 구체적으로 구성된다. 다음으로, 각각의 유도 표면파는 각각의 파 정류기(5318a 또는 5318b)에 의해 정류된다. 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b)는 각각의 정류된 유도 표면파를 각각의 전압 조정기(5315a 또는 5315b)로 출력한다. 다음으로, 전압 조정기(5315a 및 5315b)는 정류된 유도 표면파를 수신하고 정상 DC 신호를 부하(5327)로 송신한다. 대안적인 실시예에서, 전압 조정기(5315a 및 5315b)는 부하(5327)가 AC 신호를 취하는 경우 DC-AC 전력 인버터와 같은 전력 인버터에 결합될 수 있다.
- [0458] 다양한 실시예에 따르면, 전압 조정기(5315a 및 5315b)의 입력 단자는 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b)에 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 단일 전압 조정기(5315)의 입력 단자는 각각의 파 정류기(5318a 및 5318b)에 결합될 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 전압 조정기(5315a 및 5315b)의 출력 단자는 병렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전류를 부하(5327)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 전압 조정기(5315a 및 5315b)의 출력 단자는 직렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전압을 부하(5327)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5315)의 출력 단자는 병렬로 결합될 수 있고 결과적인 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 예를 들

어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5315)는 병렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5315)는 병렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5315)의 출력 단자는 직렬로 결합될 수 있고 결과적인 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5315)는 직렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5315)는 직렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다.

[0459] 도 35를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신 회로(5100)의 예가 도시되어 있다. 도 35는 도 20e에 도시된 자기 코일(5406a, 5406b)을 유도 표면 수신 구조(R_M)로서 포함한다. 자기 코일(5306a 및 5306b)이 도시되어 있지만, 다른 수신 구조들(R_P (도 20c) 및 R_R (도 20d))이 사용될 수 있다는 점이 이해된다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 개별 자기 코일(5406a 및 5406b)이 손실성 전도 매체(203)(도 3)의 표면 상에 전송된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하기 위해 채택될 수 있다. 임의의 N개의 자기 코일(5406a, 5406b)은 유도 표면파의 형태로 송신되는 에너지를 수신하기 위해 채택될 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 자기 코일(5406a 및 5406b)은 유도 표면파로부터 에너지를 동시에 수신한다. 각각의 자기 코일(5406a, 5406b)은 부하(5427)에 고유한 미리 정해진 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 송신된 유도 표면파의 형태로 에너지를 수신하는 것을 용이하게 한다. 따라서, 각각의 자기 코일(5406a, 5406b)은 다른 모든 주파수에 대해 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신할 수 있다. 각각의 개별 자기 코일(5406a, 5406b)은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a 또는 5421b)에 결합된다.

[0460] 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5421a 또는 5421b)는 부하(5427)로의 최대 전력 전달을 위한 켈레 매칭 조건을 실행하기 위해 각각의 자기 코일(5406a 또는 5406b)에 결합될 수 있다. 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5421a 및 5421b)는 변압기, 저항기, 인덕터, 커패시터 또는 전송 라인의 조합을 포함할 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a 및 5421b)는 이해될 수 있는 바와 같이, 각각의 동작 주파수에 대해 조정 가능한 단일 커패시터 및/또는 단일 인덕터를 포함할 수 있다.

[0461] 각각의 개별 파 정류기(5418a 또는 5418b)는 임의의 수신된 유도 표면파로부터의 교류(AC)를 직류(DC)로 변환하기 위해 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5421a 또는 5421b)에 결합될 수 있다. 각각의 파 정류기(5418a 및 5418b)는 단상 정류기 및/또는 다상 정류기를 포함할 수 있으며, 전파 정류기 또는 반파 정류기일 수 있다. 파 정류기(5418a 및 5418b)는 AC 리플 전압을 감소시키기 위해 평활 회로 및/또는 필터를 포함할 수 있다. 각각의 파 정류기(5418a, 5418b)는 역전류를 차단하면서 전압 조정기(5415)로 전류가 통과할 수 있게 하기 위해 각각의 다이오드(5409a 또는 5409b)에 결합될 수 있다.

[0462] 각각의 자기 코일(5406a, 5406b)은 미리 정해진 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 손실성 전도 매체(203)의 표면 상에 유도 표면파의 형태로 송신되는 에너지를 수신한다. 각각의 유도 표면 도파 프로브(P)는 다른 유도 표면 도파 프로브(P)에 대해 상이한 주파수에서 동작한다. 따라서, 각각의 개별 자기 코일(5406a 및 5406b)은 다른 모든 주파수에 대해 고유한 주파수에서 유도 표면파의 형태로 에너지를 동시에 수신한다. 따라서, 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크(5421a 및 5421b)는 각각의 개별 자기 코일(5406a 또는 5406b)에 따라 튜닝되어 각각의 개별 전송 주파수에서 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 유도 표면파를 동시에 수신한다. 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a 및 5421b)는 켈레 임피던스 매칭을 달성하도록 튜닝되어 각각의 파 정류기(5418a 및 5418b) 및 전압 조정기(5415a)를 통해 부하(5427)로의 전력의 흐름을 용이하게 한다.

[0463] 일부 실시예에서, 각각의 자기 코일(5406a 및 5406b)은 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a ... N)에 결합되지 않고 각각의 파 정류기(5418a ... N)에 직접적으로 결합된다. 그러나, 이들 실시예는 전력이 부하(5427)에 공급되는 효율에 영향을 줄 수 있다. 즉, 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a ... N)가 없는 수신 회로(5100)의 실시예는 부하(5427)에 대한 최적의 전력 공급을 제공하지 못할 수 있다.

[0464] 각각의 임피던스 매칭 네트워크(5421a 및 5421b)는 복수의 동작 주파수 각각에서 부하(5427)로의 각각의 개별 유도 표면파의 전달을 용이하게 하기 위해 각각의 자기 코일(5406a 또는 5406b)에 대해 구체적으로 구성된다. 다음으로, 각각의 유도 표면파는 각각의 파 정류기(5418a 또는 5418b)에 의해 정류된다. 각각의 파 정류기(5418a 및 5418b)는 각각의 정류된 유도 표면파를 각각의 다이오드(5409a 또는 5409b)로 출력한다. 다음으로, 전압 조정기(5415)는 정류된 유도 표면파를 수신하고 정상 DC 신호를 부하(5427)로 송신한다. 대안적인 실시예에서, 전압 조정기(5415)는 부하(5427)가 AC 신호를 취하는 경우 DC-AC 전력 인버터와 같은 전력 인버터에 결합될 수 있다.

[0465] 다양한 실시예에 따르면, 단일 전압 조정기(5415)는 파 정류기(5418a 및 5418b)에 결합될 수 있다. 다른 실시

예들에서, 파 정류기(5418a 및 5418b)는 각각 각각의 전압 조정기(5415)에 결합될 수 있다. 다양한 실시예에 따르면, 전압 조정기(5415)의 출력 단자는 병렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전류를 부하(5427)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5415)의 출력 단자는 직렬로 결합되어 결합된 DC 출력 전압을 부하(5427)에 제공할 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5415)의 출력 단자는 병렬로 결합될 수 있고 결과적인 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5415)는 병렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5415)는 병렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 병렬 결합은 직렬로 결합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 전압 조정기(5415)의 출력 단자는 직렬로 결합될 수 있고 결과적인 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍의 2개의 전압 조정기(5415)는 직렬로 결합될 수 있고 또 다른 쌍의 2개의 전압 조정기(5415)는 직렬로 결합될 수 있다. 다음으로, 2개의 직렬 결합은 병렬로 결합될 수 있다. 이해할 수 있는 바와 같이, 선택된 병렬/직렬 구성은 부하(5427)의 전압 및 전류 요구 사항에 의존할 수 있다.

[0466] 도 36을 참조하면, 다양한 실시예에 따라 다수의 주파수에서 신호를 동시에 수신하기 위한 시스템의 예가 도시되어 있다. 도 36은 2개의 유도 표면 도파 프로브(P_1 및 P_2), 수신 회로(5100), 필드 측정기(5512)를 포함한다. 유도 표면 도파 프로브(P_1)는 제1 동작 영역(5503a)에서 제1 전송 주파수(f_1)에서 유도 표면파를 전송할 수 있는 한편, 유도 표면 도파 프로브(P_2)는 제2 동작 영역(5503b)에서 제2 전송 주파수(f_2)에서 유도 표면파를 전송할 수 있다. 수신 회로(5100)는 제1 동작 영역(5503a)과 제2 동작 영역(5503b)이 중첩되는 지점에 위치될 수 있다. 필드 측정기(5512)는 또한 유도 표면파와 연관된 전계 강도를 검출하기 위해 제1 동작 영역(5503a)과 제2 동작 영역(5503b)이 중첩되는 지점에 위치될 수 있다.

[0467] 도 37을 참조하면, 다양한 실시예에 따른 수신 회로(5100)의 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 도 37의 흐름도는 수신 회로(5100)의 동작을 구현하는데 채택될 수 있는 기능적 배열의 일례만을 제공한다는 점을 이해한다.

[0468] 박스(5603)에서 시작하여, 수신 회로(5100)는 유도 표면파의 형태로 전기적 에너지를 수신하기 위해 어떤 주파수를 이용할 수 있는지를 결정할 수 있다. 수신 회로(5100)는 예를 들어, 이용 가능한 주파수를 결정하기 위해 하나 이상의 네트워크를 통해 유도 표면 도파 프로브(P)와 통신하는 수신 제어기를 포함할 수 있다. 전술한 바와 같이, 수신 회로(5100)는 서로 다른 주파수에서 동작하는 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 전송된 유도 표면파로부터 에너지를 동시에 수신할 수 있다. 다음으로, 박스(5606)에서, 수신 회로(5100)는 유도 표면파 형태의 전기적 에너지가 수신되게 될 주파수를 선택한다. 다음으로, 박스(5609)에서, 수신 회로(5100)는 선택된 주파수에서 동작하도록 튜닝된다. 전술한 바와 같이, 각각의 개별 임피던스 매칭 네트워크는 각각의 개별 유도 표면파 수신 구조(R)에 따라 튜닝된다. 다음으로, 박스(5612)에서, 수신 회로(5100)는 에너지를 전기 부하에 전달한다.

[0469] 다음에 도 38을 참조하면, 무선 전력 전달 시스템에서 유도 표면파로부터 전기적 에너지에 액세스하기 위해 디바이스에 채택될 수 있는 일반화된 회로의 예가 도시되어 있다. 다양한 실시예에서, 디바이스는 전술한 바와 같이, 선형 프로브, 튜닝형 공진기 및/또는 자기 코일 중 적어도 하나를 포함할 수 있는 유도 표면파 수신 구조(R)를 포함한다. 주목하는 바와 같이, 유도 표면파 수신 구조(R)는 손실성 전도 매체의 표면을 따라 진행되는 유도 표면파의 형태로 전기적 에너지를 획득하기 위해 채택될 수 있다. 하나 이상의 실시예에서, 손실성 전도 매체는 지상 매체(예를 들어, 지구)를 포함한다.

[0470] 유도 표면파 수신 구조(R)가 본 개시내용에서 전술한 바와 같이 유도 표면파에 적용될 때, 켈레 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 통해 전기 부하(6018)에 인가될 수 있는 출력 단자(6015) 양단에 전압이 발생한다. 전기 부하(6018)로의 전력의 흐름을 용이하게 하기 위해, 전기 부하(6018)는 도 18a 내지 도 18c 및 도 19와 관련하여 전술한 바와 같이 유도 표면파 수신 구조(R)에 실질적으로 임피던스 매칭될 수 있다. 임피던스 매칭 네트워크(6021)가 사용되지 않거나 소정 주파수에서 에너지를 수신하도록 적절하게 튜닝되지 않을 수도 있다. 그러나, 임피던스 매칭 네트워크(6021)가 주어진 주파수에서 에너지를 수신하도록 적절하게 조정되지 않으면, 반사 및 최대 전력 전송 등의 부족으로 인해 전기 부하(6018)에 전압을 인가하는 능력면에서 효율이 절충될 수 있다.

[0471] 이해될 수 있는 바와 같이, 다양한 상황에서, 유도 표면파 수신 구조(R)는 복수의 유도 표면 도파 프로브(P)로부터 전송되는 복수의 유도 표면파의 교차점에 있을 수 있다. 이 때문에, 각각의 유도 표면파는 상이한 유도 표면 도파 프로브(P)에 의해 상이한 주파수에서 전송될 수 있다. 따라서, 유도 표면파 수신 구조(R)는 위에서 상세히 논의된 바와 같이, 본 개시내용에 따라 전송되는 유도 표면 도파와 연관된 하나 이상의 주파수를 식별하

는 필드 센서(6024), 스펙트럼 분석기, 또는 임의의 유사한 전기 컴포넌트를 포함할 수 있거나 통신 가능하게 결합될 수 있다.

[0472] 스펙트럼에서 하나 이상의 주파수의 식별시, 주파수 식별 회로(6027)는 유도 표면과 수신 구조(R)가 유도 표면과로부터 전기적 에너지를 수신하는 주파수를 조정하도록 구성될 수 있다. 이를 위해, 주파수 식별 회로(6027)는 필드 센서(6024)를 제어하고, 복수의 주파수로부터 특정 주파수를 식별하며, 이 식별된 주파수에서 전력을 수신하도록 유도 표면과 수신 구조(6000) 및/또는 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 구성 또는 조정하도록 구성되는 회로를 포함할 수 있다.

[0473] 다양한 실시예에 따르면, 주파수 식별 회로(6027)는 유도 표면과 수신 구조(R)가 식별된 주파수에서 유도 표면과 중 하나로부터 전기적 에너지를 수신할 뿐만 아니라 전기 부하(6018)에 전달되는 전력을 최대화하도록 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 구성할 수 있다. 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 구성하는 것은, 예를 들어, 가변 커패시터를 조정하는 것, 가변 인덕터를 조정하는 것, 다른 가변 컴포넌트를 조정하는 것, 스위치 또는 다른 컴포넌트를 통해 회로에 또는 회로로부터 커패시터 및/또는 인덕터를 추가 또는 제거하는 것, 및/또는 다른 유사한 접근법을 포함하여, 유도 표면과 수신 구조(R)가 필드 센서(6024)를 사용하여 식별된 주파수와 같은 미리 정의된 주파수로 튜닝되게 할 수 있다.

[0474] 일부 실시예에서, 주파수 식별 회로(6027)는 프로세싱 회로(6033)를 포함할 수 있거나 프로세싱 회로(6033)에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 프로세싱 회로는 예를 들어, 마이크로 컨트롤러, 컴퓨팅 디바이스, 또는 필드 센서(6024), 스펙트럼 분석기, 또는 다른 유사한 센서 또는 디바이스를 사용하여 이용 가능한 주파수를 프로그래밍 방식으로 식별할 수 있는 다른 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0475] 일부 실시예에서, 프로세싱 회로(6033)는 프로세서, 메모리, 데이터 버스 및/또는 식별된 주파수에 액세스하고 유도 표면과 수신 구조(R)를 프로그래밍 방식으로 구성하여 손실성 전도 매체를 따라 진행하는 유도 표면과의 주파수를 매칭하는 다른 컴포넌트들을 포함할 수 있다. 프로세싱 회로(6033)에 의해 수행되는 프로그램적 구성은 예를 들어, 가변 커패시터, 가변 인덕터 또는 다른 가변 전기 컴포넌트를 동적으로 조정하는 프로세서 또는 회로에 의해 실행되는 로직을 포함할 수 있고, 그렇지 않으면 커패시터, 인덕터 또는 다른 컴포넌트들을 추가하거나 제거하여 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 조정하기 위해 그러한 컴포넌트에서 대응하는 변화를 야기하는 하나 이상의 제어 신호를 생성한다. 이를 위해, 가변 커패시터 또는 가변 인덕터는 프로세싱 회로(6033)의 프로세서에 의해 실행되는 애플리케이션에 의해 제어되는 트리머 커패시터 또는 인덕터를 포함할 수 있다. 대안적으로, 임피던스 매칭 네트워크(6021)는 필요에 따라 임피던스 매칭 네트워크(6021) 내에서 또는 외부에서 스위칭되는 복수의 커패시터, 인덕터 또는 다른 전기 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0476] 다음으로, 도 39를 참조하면, 다양한 실시예에 따라 유도 표면과 프로브(P)로부터 전기적 에너지를 수신하기 위한 시스템의 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 도 39의 흐름도는 본 명세서에서 설명된 유도 표면과 수신 구조(6000)의 일부의 동작을 구현하기 위해 채택될 수 있는 다수의 상이한 유형의 기능적 배열의 일례만을 제공한다는 점을 이해한다. 일부 실시예에서, 도 39의 흐름도는 유도 표면과 수신 구조(R)에 결합된 프로세싱 회로(6033)에 의해 구현될 수 있다.

[0477] 주목된 바와 같이, 유도 표면과 수신 구조(R)는 유도 표면과 프로브(P)에 의해 전송된 유도 표면과의 주파수와 매칭되도록 튜닝되거나 조정될 수 있다. 다양한 시나리오에서, 유도 표면과 수신 구조(R)는 예를 들어, 제1 영역에서 제2 영역으로 진행할 때, 상이한 프로브(P)로부터 방출된 유도 표면과와 마주칠 수 있다. 또는, 다른 시나리오들에서, 유도 표면과 프로브(P)는 유도 표면과가 생성되는 주파수를 변화시킬 수 있다. 이러한 시나리오를 억제하거나, 전송 범위를 조정하거나, 또는 기타 유익한 기능을 수행하기 위해 수행될 수 있다. 제1 영역에서 이용 가능한 유도 표면과의 주파수가 제2 영역에서 이용 가능한 유도 표면과와 다르다고 가정하면, 유도 표면과 수신 구조(R)는 주파수와 일치하도록 조정되어야 한다. 마찬가지로, 유도 표면과 프로브(P)가 유도 표면과를 생성하는 주파수를 변경하면, 유도 표면과 수신 구조(R)는 이에 따라 조정되어야 한다. 이를 위해, 디바이스, 장치 또는 다른 시스템은 유도 표면과 수신 구조(R) 및 관련 회로를 이용하여 주파수의 변화에 관계없이 끊임없이 전기적 에너지에 액세스할 수 있다. 디바이스, 장치 또는 다른 시스템은 "주파수 독립형(frequency-independent)"이라고 할 수 있다.

[0478] 6103에서 시작하여, 예를 들어, 유도 표면과의 전송과 연관된 하나 이상의 주파수로부터 주파수가 식별된다. 이를 위해, 필드 센서(6024), 스펙트럼 분석기 또는 유사한 컴포넌트를 사용하여 주파수가 식별될 수 있다. 따라서, 유도 표면과 수신 구조(R)는 필드 센서(6024) 또는 스펙트럼 분석기를 포함할 수 있거나 통신 가능하게 결합될 수 있다.

- [0479] 다음으로, 6106에서, 하나 초과와 주파수가 식별되었는지가 결정된다. 하나 초과와 주파수가 식별되었다면, 프로세스는 6109로 진행하여 주파수들 중 하나가 예를 들어, 신호 강도, 사용자 선호도, 전력 비용, 네트워크 유형 등에 기초하여 선택될 수 있다. 주파수를 선택하는데 사용되는 기준은 프로세싱 회로(6033)의 메모리 또는 다른 메모리에 저장될 수 있다. 다양한 실시예에서, 사용자는 예를 들어, 고객 디바이스 상에서 실행 가능한 고객 애플리케이션에서 기준을 지정함으로써 주파수를 선택하는데 사용되는 기준을 정의할 수 있다. 이를 위해, 사용자는 하나의 전력 공급자가 또 다른 전력 공급자보다 선호되어야 하고, 더 낮은 가격과 연관된 전기적 에너지가 선택되어야 하며, 신뢰할 수 있는 것으로 표시된 네트워크가 선호되어야 한다고 하는 것 등을 명시할 수 있다.
- [0480] 6106을 다시 참조하면, 단 하나의 주파수만이 식별되었다고 가정하면, 프로세스는 6112로 진행하여 유도 표면과 수신 구조(6000)가 유도 표면과의 전송을 수신하는 주파수는 식별된 주파수에 기초한 공진 주파수로 조정된다. 유사하게, 6109에서 주파수가 선택된 후에, 프로세스는 6112로 진행하여, 유도 표면과 수신 구조(6000)가 유도 표면과의 송신을 수신하는 주파수는 식별된 주파수에 기초한 공진 주파수로 조정된다.
- [0481] 다양한 실시예에 따르면, 유도 표면과 수신 구조(R)가 전기적 에너지에 액세스하는 주파수를 조정하는 것은 프로세싱 회로(6033)에 의해 프로그램 방식으로 수행된다. 이를 위해, 프로세싱 회로(6033)는 유도 표면과 수신 구조(R)가 식별된 주파수에서 유도 표면과 중 하나로부터 전기적 에너지를 수신하도록 임피던스 매칭 네트워크(6021)를 구성할 수 있다. 이것은 예를 들어, 가변 커패시터를 조정하는 것, 가변 인덕터를 조정하는 것, 다른 전기 컴포넌트를 조정하는 것, 회로에 또는 회로로부터 커패시터, 인덕터 또는 다른 전기 컴포넌트를 추가 또는 제거하는 것, 및/또는 다른 유사한 접근법을 포함하여, 유도 표면과 수신 구조(R)가 필드 센서(6024)를 사용하여 식별된 주파수와 같은 미리 정의된 주파수로 튜닝되거나 조정되도록 할 수 있다.
- [0482] 다음으로, 프로세스는 6115로 진행하여, 수신기는 유도 표면과 수신 구조(R)에 의해 획득되고 및/또는 전기 부하(6018)에 의해 소비된 전기적 에너지의 사용량을 모니터링할 수 있다. 이해될 수 있는 바와 같이, 전기적 에너지는 예를 들어, 소비된 전기적 에너지가 허용된 소비를 초과하는지를 결정하기 위해 모니터링될 수 있다. 추가적인 실시예들에서, 도 39의 흐름도는 복수의 유도 표면과 수신 구조(R)가 구현되는 디바이스에 채택될 수 있다. 이를 위해, 프로세싱 회로(6033)는 디바이스에서 제1 주파수에서 전기적 에너지를 수신하도록 제1 유도 표면과 수신 구조(R₁)를 구성하고, 디바이스에서 제2 주파수에서 전기적 에너지를 수신하도록 제2 유도 표면과 수신 구조(R₂)를 구성하여, 디바이스에 의해 액세스되는 전기적 에너지를 증가시킨다.
- [0483] 전기 부하(6018)는 유도 표면과 수신 구조(R)를 통해 수신된 전력의 주파수의 변화가 전기 부하(6018)의 동작을 방해하지 않도록 상이한 주파수의 전압을 수용하도록 구성될 수 있거나 "주파수 독립형"이다. 일 실시예에서, 전기 부하(6018)는 정류기 및 입력 AC 전압의 주파수에 관계없이 DC 전압을 생성하기 위한 다른 회로를 포함할 수 있으며, 여기서 DC 전압은 전기 부하(6018)의 추가 컴포넌트에 추가로 인가된다.
- [0484] 도 40을 참조하면, 본 개시내용의 일 실시예에 따른 프로세싱 회로(6033)의 개략적인 블록도가 도시되어 있다. 프로세싱 회로(6033)는 서버 컴퓨터, 데스크탑 컴퓨터, 또는 모바일 컴퓨팅 디바이스와 같은 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 프로세싱 회로(6033)는 마이크로 컨트롤러를 포함할 수 있다. 프로세싱 회로(6033)는 예를 들어, 프로세서(6303) 및 메모리 (6306)를 갖는 적어도 하나의 프로세서 회로를 포함할 수 있으며, 이들 모두는 로컬 인터페이스(6309)에 결합된다. 로컬 인터페이스(6309)는 이해될 수 있는 바와 같이, 예를 들면, 첨부된 주소/제어 버스 또는 다른 버스 구조를 갖는 데이터 버스를 포함할 수 있다.
- [0485] 메모리(6306)에 저장되는 것은 데이터 및 프로세서(6303)에 의해 실행 가능한 몇몇 컴포넌트이다. 특히, 메모리(6306)에 저장되고 프로세서(6303)에 의해 실행 가능한 것은 주파수 모니터링 애플리케이션(6312), 임피던스 제어 애플리케이션(6315) 및 잠재적으로 다른 애플리케이션이다. 주파수 모니터링 애플리케이션(6312)은 필드 센서(6023), 스펙트럼 분석기 또는 유사한 디바이스로부터 획득된 측정에 액세스하고, 표면 도파 수신 구조(R)가 유도 표면과로부터 전기적 에너지를 수신하는 주파수를 식별하도록 구성될 수 있다. 임피던스 제어 애플리케이션(6315)은 가변 커패시터, 가변 인덕터 또는 다른 유사한 컴포넌트를 프로그램 방식으로 조정하도록 구성될 수 있다. 또한, 메모리(6306)에는 데이터 저장소(6318) 및 다른 데이터가 저장될 수 있다. 또한, 운영 체제는 메모리(6306)에 저장되어 프로세서(6303)에 의해 실행 가능할 수 있다.
- [0486] 이해될 수 있는 바와 같이, 메모리(6306)에 저장되고 프로세서(6303)에 의해 실행 가능한 다른 애플리케이션이 있을 수 있다는 점이 이해된다. 본 명세서에서 논의된 임의의 컴포넌트가 소프트웨어의 형태로 구현되는 경우, C, C++, C#, 오브젝티브 C(Objective C), Java®, JavaScript®, 펄(Perl), PHP, Visual Basic®, Python®, 루비

(Ruby), Flash[®], 또는 다른 프로그래밍 언어와 같은 다수의 프로그래밍 언어 중 하나를 채택할 수 있다.

[0487] 다수의 소프트웨어 컴포넌트가 메모리(6306)에 저장되어 프로세서(6303)에 의해 실행 가능하다. 이와 관련하여, "실행 가능"이라는 용어는 궁극적으로 프로세서(6303)에 의해 실행될 수 있는 형태의 프로그램 파일을 의미한다. 실행 가능 프로그램의 예는 예를 들어, 메모리(6306)의 랜덤 액세스 부분에 로딩될 수 있고 프로세서(6303)에 의해 구동될 수 있는 포맷의 머신 코드로 변환될 수 있는 컴파일된 프로그램, 메모리(6306)의 랜덤 액세스 부분에 로딩될 수 있고 프로세서(6303)에 의해 실행될 수 있는 객체 코드와 같은 적절한 포맷으로 표현될 수 있는 소스 코드, 또는 또 다른 실행 가능한 프로그램에 의해 해석되어 프로세서(6303) 등에 의해 실행될 메모리(6306)의 랜덤 액세스 부분에 명령어들을 생성할 수 있는 소스 코드일 수 있다. 실행 가능 프로그램은 예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 하드 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브, 메모리 카드를 포함하는 메모리(6306), CD(compact disc) 또는 DVD(digital versatile disc)와 같은 광 디스크, 플로피 디스크, 자기 테이프, 또는 다른 메모리 컴포넌트의 임의의 부분 또는 컴포넌트에 저장될 수 있다.

[0488] 메모리(6306)는 본 명세서에서 휘발성 및 비휘발성 메모리와 데이터 저장 컴포넌트 모두를 포함하는 것으로 정의된다. 휘발성 컴포넌트는 전력 손실시 데이터값을 보유하지 않는 구성요소이다. 비휘발성 컴포넌트는 전력 손실시 데이터를 보유하는 구성요소이다. 따라서, 메모리(6306)는 예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 하드 디스크 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브, 메모리 카드 판독기를 통해 액세스되는 메모리 카드, 관련 플로피 디스크 드라이브를 통해 액세스되는 플로피 디스크, 광학 디스크 드라이브를 통해 액세스되는 광학 디스크, 적절한 테이프 드라이브를 통해 액세스되는 자기 테이프 및/또는 다른 메모리 컴포넌트, 또는 이들 메모리 컴포넌트들 중 2이상의 조합을 포함할 수 있다. 또한, RAM은 예를 들어, SRAM(static random access memory), DRAM(dynamic random access memory) 또는 MRAM(magnetic random access memory) 및 다른 그러한 디바이스를 포함할 수 있다. ROM은 예를 들어, 프로그램 가능 판독 전용 메모리(PROM), 소거 가능 프로그램 가능 판독 전용 메모리(EPROM), 전기적 소거 가능 프로그램 가능 판독 전용 메모리(EEPROM) 또는 다른 유사한 메모리 디바이스를 포함할 수 있다.

[0489] 또한, 프로세서(6303)는 다수의 프로세서(6303) 및/또는 다수의 프로세서 코어를 나타낼 수 있고, 메모리(6306)는 병렬 프로세싱 회로에서 각각 동작하는 다수의 메모리(6306)를 나타낼 수 있다. 그러한 경우에, 로컬 인터페이스(6309)는 다수의 프로세서(6303) 중 임의의 2개 사이, 임의의 프로세서(6303)와 메모리(6306) 중 임의의 메모리 사이, 또는 메모리(6306) 중 임의의 2개 사이 등의 통신을 용이하게 하는 적절한 네트워크일 수 있다. 로컬 인터페이스(6309)는 예를 들어, 부하 밸런싱을 수행하는 것을 포함하여, 이러한 통신을 조정하도록 설계된 추가 시스템을 포함할 수 있다. 프로세서(6303)는 전기적 또는 일부 다른 이용 가능한 구성일 수 있다.

[0490] 본 명세서에 설명된 주파수 모니터링 애플리케이션(6312), 임피던스 제어 애플리케이션(6315) 및 다른 다양한 시스템은 전술한 범용 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 또는 코드로 구현될 수 있지만, 대안으로서, 전용 하드웨어 또는 소프트웨어/범용 하드웨어와 전용 하드웨어의 조합으로도 동일한 것이 구현될 수 있다. 전용 하드웨어로 구현되는 경우, 각각은 다수의 기술 중 임의의 하나 또는 그 조합을 채택하는 회로 또는 상태 머신으로서 구현될 수 있다. 이들 기술은 하나 이상의 데이터 신호의 인가시 다양한 논리 기능을 구현하기 위한 논리 게이트를 갖는 이산 논리 회로, 적절한 논리 게이트를 갖는 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA), 또는 다른 컴포넌트들 등을 포함할 수 있지만, 이들에 한정되지 않는다. 이러한 기술들은 일반적으로 본 기술분야의 통상의 기술자에게 잘 알려져 있으며, 따라서, 본 명세서에서 상세히 기술되지 않는다.

[0491] 일부 실시예에서, 도 39의 흐름도는 주파수 모니터링 애플리케이션(6312), 임피던스 제어 애플리케이션(6315) 또는 다른 유사한 애플리케이션의 일부의 구현의 기능 및 동작을 도시한다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 각 블록은 특정 논리 기능(들)을 구현하기 위한 프로그램 명령어들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드 부분을 나타낼 수 있다. 프로그램 명령어는 컴퓨터 시스템 또는 다른 시스템의 프로세서(6303)와 같은 적절한 실행 시스템에 의해 인식 가능한 수치 명령어를 포함하는 프로그래밍 언어 또는 머신 코드로 기록된 사람이 판독할 수 있는 문장을 포함하는 소스 코드의 형태로 구현될 수 있다. 머신 코드는 소스 코드 등으로부터 변환될 수 있다. 하드웨어로 구현되는 경우, 각 블록은 특정 논리 기능(들)을 구현하기 위해 회로 또는 다수의 상호 연결된 회로를 나타낼 수 있다.

[0492] 또한, 소프트웨어 또는 코드를 포함하는 주파수 모니터링 애플리케이션(6312) 및 임피던스 제어 애플리케이션(6315)을 포함하여 본 명세서에 기술된 임의의 로직 또는 애플리케이션은 예를 들어, 컴퓨터 시스템 또는 다른 시스템의 프로세서(6303)와 같은 컴퓨터 시스템 명령 실행 시스템에 의해 또는 이와 관련하여 사용하기 위한 임

의의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로 구현될 수 있다. 이러한 의미에서, 로직은 예를 들어, 컴퓨터 판독 가능 매체로부터 폐지될 수 있고 명령어 실행 시스템에 의해 실행될 수 있는 명령어 및 선언을 포함하는 문장을 포함할 수 있다. 본 개시내용의 맥락에서, "컴퓨터 판독 가능 매체"는 명령어 실행 시스템에 의해 또는 이와 관련하여 사용하기 위해 본 명세서에 설명된 로직 또는 애플리케이션을 포함, 저장 또는 유지할 수 있는 임의의 매체일 수 있다.

[0493] 컴퓨터 판독 가능 매체는 예를 들어, 자기, 광학 또는 반도체 매체와 같은 많은 물리적 매체 중 임의의 매체를 포함할 수 있다. 적절한 컴퓨터 판독 가능 매체의 보다 구체적인 예는 자기 테이프, 자기 플로피 디스켓, 자기 하드 드라이브, 메모리 카드, 솔리드 스테이트 드라이브, USB 플래시 드라이브 또는 광학 디스크를 포함하지만, 이에 한정되지는 않는다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 예를 들어, SRAM(static random access memory) 및 DRAM(dynamic random access memory) 또는 MRAM(magnetic random access memory)을 포함하는 RAM(random access memory)일 수 있다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 판독 전용 메모리(ROM), 프로그램 가능 판독 전용 메모리(PROM), 소거 가능 프로그래머블 판독 전용 메모리(EPROM), 전기적 소거 가능 프로그래머블 판독 전용 메모리(EEPROM), 또는 다른 유형의 메모리 디바이스일 수 있다.

[0494] 또한, 주파수 모니터링 애플리케이션(6312) 및 임피던스 제어 애플리케이션(6315)을 포함하여 본 명세서에 기술된 임의의 로직 또는 애플리케이션은 다양한 방식으로 구현되고 구성될 수 있다. 예를 들어, 기술된 하나 이상의 애플리케이션은 단일 애플리케이션의 모듈 또는 컴포넌트로 구현될 수 있다. 또한, 본 명세서에 기술된 하나 이상의 애플리케이션은 공유된 또는 별개의 컴퓨팅 디바이스 또는 이들의 조합으로 실행될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 기술된 복수의 애플리케이션은 동일한 컴퓨팅 디바이스 또는 동일한 프로세싱 회로(6033) 내의 다수의 컴퓨팅 디바이스에서 실행될 수 있다. 또한, "애플리케이션", "서비스", "시스템", "엔진", "모듈" 등과 같은 용어는 상호 교환 가능할 수 있고 제한하려는 의도가 없다는 점이 이해된다.

[0495] 도 41을 참조하면, 손실성 전도 매체(203)에 의해 제공된 평면에 실질적으로 수직인 수직 축(z)을 따라 위치설 정되는 하부 보상 단자(T_2)(예를 들어, 높이(hd)의 디스크) 및 상부 충전 단자(T_1)(예를 들어, 높이(h_T)의 구 체)를 포함하는 유도 표면 도파 프로브(P)(7100)의 일 예의 도식적 표현이 도시되어 있다. 유도 표면 도파 프 로브(7100)의 이러한 실시예는 도 14의 도파 프로브에 복조기(7110) 및 필터(7120) 컴포넌트의 추가적인 요소를 구비한 것과 유사하다. 유도 표면 도파 프로브(7100)는 본 개시내용의 다양한 실시예를 예시하기 위한 예로서 도시되어 있으며, 본 명세서에 기술된 유도 표면 도파 프로브의 다른 실시예들이 채택될 수 있다는 점이 이해된 다.

[0496] 동작 동안, 임의의 주어진 순간에 단자들(T_1 , T_2)에 인가되는 전압들에 따라 전하 및 보상 단자(T_1 , T_2) 각각 상 에 전하들(Q_1 , Q_2)이 부여된다.

[0497] AC 소스(212)는 충전 단자(T_1)를 위한 여기 소스로서 작용하고, 이는 예를 들어 나선형 코일 같은 코일(215)을 포함하는 급전 네트워크(209)를 통해 유도 표면 도파 프로브(200d)에 결합된다. AC 소스(212)는 도 14에 도시 된 바와 같이 탭(227)을 통해 코일(215)의 하부 부분을 가로질러 연결될 수 있거나 일차 코일에 의해 코일(21 5)에 유도식으로 결합될 수 있다. 코일(215)은 제1 단부에서 그라운드 말뚝(218)에 결합될 수 있고 제2 단부에 서 충전 단자(T_1)에 결합될 수 있다. 일부 구현예에서, 충전 단자(T_1)에 대한 연결은 코일(215)의 제2 단부의 탭(224)을 사용하여 조정될 수 있다. 보상 단자(T_2)는 손실성 전도 매체(203)(예를 들어, 그라운드 또는 지 구)와 실질적으로 평행하게 그 위에 위치되고, 코일(215)에 결합된 탭(233)을 통해 에너지공급된다. 코일(21 5)과 그라운드 말뚝(218) 사이에 위치한 전류계(236)가 사용되어 유도 표면 도파 프로브의 베이스에서 전류 유 동(I_0)의 크기의 표시를 제공한다.

[0498] 이 측정은 유도 표면 도파 프로브(7100)를 조정하는 인자일 수 있으며, 후술되는 바와 같이 수신 회로에 의해 내장된 데이터를 검출할 수 있다. 필터(7120)는 검출된 전류 유동에 필터를 적용하기 위해 전류계(236)에 결합 될 수 있다. 예를 들어, 수신 회로가 미리 정의된 주파수에서 또는 그 위에서 제어 부하를 변조함으로써 데이 터를 내장하는 경우, 필터(7120)는 그 미리 정의된 주파수 아래에서 검출된 전류 유동을 필터링하는 저역 통과 필터를 포함할 수 있다.

[0499] 복조기(7110)는 전류 유동의 내장된 변조를 데이터로 변환하기 위해 전류계(236)에 결합될 수 있다. 도시된 바 와 같이, 복조기(7110)는 필터(7120)를 통해 전류계(236)에 결합될 수 있다. 복조기(7110)는 또한 전류계(23 6)에 직접적으로 결합되거나 다른 중간 컴포넌트를 통해 전류계(236)에 결합될 수 있다. 복조기(7110)는 원래

의 내장된 데이터 신호를 획득하기 위해 수신 회로에 의해 내장된 데이터에 적용된 변조 방식에 대응하는 복조 방식을 적용하도록 구성된다.

- [0500] 도 42a, 도 42b 및 도 42c를 참조하면, 다양한 실시예들에서 유도 표면 도파 전력 전달 시스템들에서 표면 유도 파를 사용하기 위한 일반화된 수신 회로들의 예들이 도시되어 있다. 이들 도면에 나타난 수신 회로는 도 18a, 도 18b 및 도 19의 수신 회로에 com 스위치의 추가적인 요소가 포함된 것과 유사하다.
- [0501] 도 42a 및 도 42b는 선형 프로브(303) 및 튜닝형 공진기(306)를 포함한다. 도 43은 본 개시 내용의 다양한 실시예들에 따른 자기 코일(309)이다. 다양한 실시예들에 따르면, 선형 프로브(303), 튜닝형 공진기(306) 및 자기 코일(309) 각각은 다양한 실시예들에 따라 손실성 전도 매체(203)(도 41)의 표면 상에서 유도 표면파의 형태로 전송되는 전력을 수신하기 위해 채택될 수 있다. 전술한 바와 같이, 일 실시예에서, 손실성 전도 매체(203)는 지상 매체를 포함한다. 전기 부하(315)는 임피던스 매칭 네트워크(318)(예를 들어, 전압 조정기)를 통해 출력 단자(312)에 결합된다.
- [0502] 선형 프로브(303)에 전술한 바와 같은 유도 표면파가 인가될 때, 출력 단자들(312) 양단에는 전압이 발생하며, 이 전압은 경우에 따라서는 임피던스 매칭 네트워크(318)를 통해 전기 부하(315)에 인가될 수 있다. 전기 부하(315)로의 전력의 유동을 용이하게 하기 위해, 임피던스 매칭 네트워크(318)는 후술되는 바와 같이 전기 부하(315)와 선형 프로브(303) 사이의 임피던스 매칭을 제공한다.
- [0503] 또한, 가변 제어 부하(Z_c)는 전기 부하(315)와 병렬로 결합된다. com 스위치(7210)는 예를 들어, 수동 제어 스위치, 솔리드 스테이트 디바이스, 컴퓨팅 디바이스에 의해 제어되는 스위치, 또는 회로 스위치를 개폐하도록 구성된 다른 장치를 포함할 수 있다. 이 실시예에서, 가변 제어 부하(Z_c)의 합성 임피던스는, com 스위치(7210)가 폐쇄될 때에는 Z_1 및 Z_2 의 조합된 임피던스일 수 있고, com 스위치(7210)가 개방될 때에는 Z_1 의 임피던스뿐이다. com 스위치(7210)의 개폐 상태를 변조함으로써, 가변 제어 부하(Z_c) 및 전기 부하(315)에 의해 제공되는 총 부하는 가변 제어 부하(Z_c)의 가변 임피던스에 따라 변조된다. 대안적인 실시예에서, 임피던스(Z_1)는 생략될 수 있어서, 튜닝형 공진기(306)에 결합된 총 부하는 단독의 전기 부하(315)(com 스위치는 임피던스(Z_1)를 통한 경로가 개방된 채로 남겨진다)와 임피던스(Z_2) 사이에서 전기 부하(315)와 병렬로 변화한다. 전기 부하(315)와 병렬로 임피던스를 변화시킴으로써, com 스위치는 선형 프로브(303)에 결합된 총 전기 부하를 변조시킨다. 또한, 이해할 수 있는 바와 같이, 부하를 변조하는 많은 다른 방식이 있을 수 있다.
- [0504] 또 다른 실시예에서, 전기 부하(315)는 회로의 일부가 아닐 수도 있다. 그러한 경우, 가변 제어 부하(Z_c)는 임피던스 매칭 네트워크(318)에 결합된 유일한 부하일 것이다.
- [0505] 도 42b를 참조하면, 튜닝형 공진기(306)는 손실성 전도 매체(203) 위로 상승된 충전 단자(T_R)를 포함한다. 충전 단자(T_R)는 자기 용량(C_R)을 갖는다. 추가적으로, 손실성 전도 매체(203) 위의 충전 단자(T_R)의 높이에 따라 충전 단자(T_R)와 손실성 전도 매체(203) 사이에 결합 용량(미도시)이 또한 존재할 수 있다. 결합 용량은 바람직하게는 실용적으로 가능한 많이 최소화되어야 하지만, 이것은 다상 도파 프로브의 모든 사례에서 전적으로 필요하지는 않을 수 있다.
- [0506] 튜닝형 공진기(306)는 또한 코일(L_R)을 포함한다. 코일(L_R)의 한 단부는 충전 단자(T_R)에 결합되며, 코일(L_R)의 다른 단부는 손실성 전도 매체(203)에 결합된다. 이 때문에, 튜닝형 공진기(306)(튜닝형 공진기(L_R - C_R))로도 지칭될 수 있음)는 직렬-조정 공진기를 충전 단자(C_R)로서 포함하며, 코일(L_R)은 직렬로 배치된다. 튜닝형 공진기(306)는 구조의 반응성 임피던스가 실질적으로 제거될 수 있도록 충전 단자(T_R)의 크기 및/또는 높이를 조정하고 및/또는 코일(L_R)의 크기를 조정함으로써 조정된다.
- [0507] 예를 들어, 자기 용량(C_R)에 의해 나타나는 리액턴스는 $\frac{1}{j\omega C_R}$ 로서 계산된다. 이해할 수 있는 바와 같이, 튜닝형 공진기(306)의 총 용량은 또한 충전 단자(T_R)와 손실성 전도 매체(203) 사이의 용량을 포함할 수 있으며, 여기서 튜닝형 공진기(306)의 총 용량은 자기 용량(C_R) 및 임의의 결합 용량 양측 모두로부터 계산될 수 있다는 점에 유의한다. 일 실시예에 따라서, 충전 단자(T_R)는 임의의 결합 용량을 실질적으로 감소시키거나 제거하도록

소정 높이로 상승될 수 있다. 결합 용량의 존재는 손실성 전도 매체(203)와 충전 단자(T_R) 사이의 용량 측정으로부터 결정될 수 있다.

[0508] 이산 요소 코일(L_R)에 의해 제공되는 유도 리액턴스는 $j\omega L$ 로서 계산될 수 있고, 여기서 L 은 코일(L_R)의 집중 요소 인덕턴스이다. 코일(L_R)이 분산 요소인 경우, 그 등가 단자 지점 유도 리액턴스는 종래의 접근법에 의해 결정될 수 있다. 튜닝형 공진기(306)를 튜닝하기 위해, 코일 (L_R)에 의해 제공된 유도 리액턴스가 튜닝형 공진기(306)에 의해 제공된 용량 리액턴스와 같도록 조정을 하여 튜닝형 공진기(306)의 결과적인 순 리액턴스가 동작 주파수에서 실질적으로 제로가 되도록 할 것이다. 임피던스 매칭 네트워크(324)(또는 전압 조정기)는 프로브 단자(321)와 전기 부하(327) 사이에 삽입되어 전기 부하(327)로의 최대 전력 전달을 위한 켈레 매칭 조건을 실행할 수 있다. 또한, 코일(L_R)은 충전 단자(T_R)와 손실성 전도 매체(203) 사이에 결합된 최종 수신기 네트워크가 입사된 유도 표면파와 연관된 파 경사각(Ψ)과 매칭되는 위상 지연(Φ)을 갖도록 조정되며, 파 경사각(Ψ)은 전술한 바와 같이 튜닝형 공진기(306) 근방의 손실성 전도 매체(203)의 특성에 적어도 부분적으로 기초한다.

[0509] 전술한 바와 같이 튜닝형 공진기(306)의 주파수에서 생성된 유도 표면파의 존재 하에서 배치될 때, 최대 전력은 표면 유도파로부터 전기 부하(327)로 전달될 것이다. 즉, 켈레 임피던스 매칭이 튜닝형 공진기(306)와 전기 부하(327) 사이에 설정되면, 전력은 구조로부터 전기 부하(327)로 전달될 것이다. 이를 위해, 전기 부하(327)는 자기 결합, 용량 결합, 또는 전도(직접 탭) 결합을 통해 튜닝형 공진기(306)에 결합될 수 있다. 결합 네트워크의 요소들은 인식될 수 있는 바와 같이 집중 컴포넌트들 또는 분산 요소들일 수 있다. 도 42b에 도시된 실시예에서는, 자기 결합이 이용되며, 여기서 코일(L_S)은 변압기 1차측으로서 작용하는 코일(L_R)에 대해 2차측으로서 배치된다. 코일(L_S)은 인식할 수 있듯이 그를 동일 코어 구조 주위에 기하학적으로 감고서, 결합된 자속을 조정함으로써 코일(L_R)에 링크 결합될 수 있다. 또한, 튜닝형 공진기(306)는 직렬 튜닝형 공진기를 포함하지만, 병렬 튜닝형 공진기 또는 심지어는 분산-요소 공진기도 사용될 수 있다.

[0510] com 스위치(7220)는 전기 부하(327) 및 임피던스 매칭 네트워크(324)와 병렬로 결합된다. com 스위치(7220)는 예를 들어, 수동 제어 스위치, 솔리드 스테이트 디바이스, 컴퓨팅 디바이스에 의해 제어되는 스위치, 또는 회로 스위치를 개폐하도록 구성된 다른 장치를 포함할 수 있다. 이와 같이, 임피던스 매칭 네트워크(324)와 전기 부하(327)를 연결하는 회로는 비제한적인 예에서 병렬로 연결된 저항기(R_1 및 R_2)를 포함하는 가변 제어 부하(Z_c)를 포함한다. 이 실시예에서, 회로의 조합된 임피던스는, com 스위치(7220)가 폐쇄될 때에는 R_1 및 R_2 의 합성 저항이고, com 스위치(7220)가 개방될 때에는 R_1 의 저항뿐이다. com 스위치(7220)의 개폐 상태를 변조함으로써, 가변 제어 부하(Z_c) 및 전기 부하(327)에 의해 제공되는 총 부하는 가변 제어 부하(Z_c)의 가변 임피던스에 따라 변조된다. 대안적인 실시예에서, 저항기(R_1)는 생략될 수 있어서, 튜닝형 공진기(306)에 결합된 총 부하는 단독의 전기 부하(327)(com 스위치는 저항기(R_1)를 통한 경로가 개방된 채로 남겨진다)와 저항기(R_2) 사이에서 전기 부하(315)와 병렬로 변화한다. 전기 부하 (315)와 병렬로 저항을 변화시킴으로써, com 스위치는 선형 프로브(303)에 결합된 최종 총 전기 부하를 변조시킨다. 또한, 이해될 수 있는 바와 같이, 부하를 변조하는 많은 다른 방식이 있을 수 있다.

[0511] 또 다른 실시예에서, 전기 부하(327)는 회로의 일부가 아닐 수도 있다. 그러한 경우, 가변 제어 부하(Z_c)는 임피던스 매칭 네트워크(324)에 결합된 유일한 부하일 것이다.

[0512] 도 43을 참조하면, 자기 코일(309)은 임피던스 매칭 네트워크(333)를 통해 전기 부하(336)에 결합되는 수신 회로를 포함한다. 유도 표면파로부터의 전력의 수신 및/또는 추출을 용이하게 하기 위해, 자기 코일(309)이 유도 표면파의 자속(H_ϕ)이 자기 코일(309)을 통과하도록 위치될 수 있으며, 그에 의해, 자기 코일(309)에 전류를 유도하고 그 출력 단자(330)에서 단자 지점 전압을 생성할 수 있다.

[0513] 자기 코일(309) 및 전기 부하(336)가 적절히 조정되고 임피던스 매칭 네트워크(333)를 통해 켈레 임피던스 매칭된다고 가정하면, 이때, 자기 코일(309)에 유도된 전류는 전기 부하(336)에 대한 최적의 전력 공급을 위해 채택될 수 있다. 자기 코일(309)에 의해 표현되는 수신 회로는 그라운드에 물리적으로 연결될 필요가 없다는 장점을 제공한다.

[0514] com 스위치(7310)는 임피던스 매칭 네트워크(333) 및 전기 부하(336)와 병렬로 결합된다. com 스위치(7310)는 예를 들어, 수동 제어 스위치, 솔리드 스테이트 디바이스, 컴퓨팅 디바이스에 의해 제어되는 스위치, 또는 회로

스위치를 개폐하도록 구성된 다른 장치를 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 임피던스 매칭 네트워크(333)와 전기 부하(336)를 연결하는 회로는 병렬로 연결된 저항기(R_1 및 R_2)형태로 임피던스의 가변 제어 부하(Z_c)를 포함할 수 있다. 이 실시예에서, 가변 제어 부하(Z_c)의 합성 임피던스는, com 스위치(7310)가 폐쇄될 때에는 R_1 및 R_2 의 조합된 저항일 수 있고, com 스위치(7310)가 개방될 때에는 R_1 의 저항뿐이다. com 스위치(7310)의 개폐 상태를 변조함으로써, 가변 제어 부하(Z_c) 및 전기 부하(336)를 포함함으로써 제공되는 총 부하는 제어 부하(Z_c)의 가변 임피던스에 따라 변조된다. 대안적인 실시예에서, 저항기(R_1)는 생략될 수 있어서, 자기 코일(309)에 결합된 총 부하는 단독의 전기 부하(336)(com 스위치는 저항기(R_1)를 통한 경로가 개방된 채로 남겨진다)와 저항기(R_2) 사이에서 전기 부하(336)와 병렬로 변화한다. 전기 부하(336)와 병렬로 저항을 변화시킴으로써, com 스위치(7310)는 선형 프로브(303)에 결합된 최종 총 전기 부하를 변조시킨다. 또한, 이해될 수 있는 바와 같이, 부하를 변조하는 많은 다른 방식이 있을 수 있다.

[0515] 또 다른 실시예에서, 전기 부하(336)는 회로의 일부가 아닐 수도 있다. 그러한 경우, 가변 제어 부하(Z_c)는 임피던스 매칭 네트워크(324)에 결합된 유일한 부하일 것이다.

[0516] 도 42a, 도 42b 및 도 43을 참조하면, 선형 프로브(303), 튜닝형 공진기(306) 및 자기 코일(309)에 의해 제공되는 유도 표면과 수신 구조는 각각 전송된 유도 표면 도파 프로브(P)의 실시예들 중 임의의 것으로부터 전송된 전기적 전력의 수신을 용이하게 한다. 이 때문에, 수신된 에너지는 전기 부하(315/327/336)에 전력을 공급하는데 사용될 수 있다. 이는 방사된 전자기 필드의 형태로 전송된, 유도 표면과 수신 구조에서 수신될 수 있는 신호와 대조적이다. 이러한 신호는 매우 낮은 가용 전력을 가지며, 그러한 신호의 유도 표면과 수신 구조는 송신기에 부하를 주지 않는다.

[0517] 선형 프로브(303), 튜닝형 공진기(306) 및 자기 코일(309)에 의해 제공된 유도 표면과 수신 구조에 의해 유도된 부하를 com 스위치(7210/7220/7310)를 사용하여 변조함으로써, 대응하는 전류의 변화는 유도 표면 도파 프로브(7100)(도 41)의 전류계(236)(도 41)에 의해 검출될 수 있다.

[0518] 예를 들어, 데이터는 이진 데이터로서 인코딩될 수 있으며, 그 후 이 데이터는 인코딩 기술에 의해 정의된 심볼로 변환될 수 있다. 심볼들은 각각 진폭 상태, 주파수 상태, 위상 상태 또는 다른 상태와 같은 상이한 현재 상태에 대응할 것이다. com 스위치(7210/7220/7310)는 심볼의 샘플링에 따라 현재 상태를 실행하기 위해 전기 부하(315/327/336)를 변조할 수 있다. 다음으로, 전류계(236)는 검출된 전류를 샘플링하여 내장된 심볼을 획득하고, 심볼을 다시 캡처한다. 이해할 수 있는 바와 같이, 전기 부하(315/327/336)를 변조함으로써 변조된 신호를 내장하기 위해 다른 접근법들이 또한 사용될 수 있다.

[0519] 도 44a 내지 도 44c로 이동하면, 다양한 실시예에 따라 선형 프로브(303)(도 41a)와 같은, 유도 표면과 수신 구조에 통신 가능하게 결합된 유도 표면 도파 프로브(7100)(도 41), 튜닝형 공진기(306)(도 42b), 또는 자기 코일(309)(도 43)의 전류계(236)(도 41)에 의해 관측된 변조된 전류의 예시적인 그래프가 도시되어 있다. 도 44a에서, 예시된 유도 표면과 수신 구조는 상술한 바와 같이, 전기 부하(315/327/336)(도 42a/도 42b/도 43)에 의해 제공된 총 부하와 병렬 저항기(R_1 및 R_2) 사이의 com 스위치(7210/7220/7310)(도 42a/도 42b/도 43)를 갖는 제어 부하(Z_c)를 갖는 회로를 구현할 것이다. 따라서, com 스위치(7210/7220/7310)가 접속 및 비접속 상태 사이에서 움직이기 때문에, 전류계(236)에 의해 관측된 전류는 폐쇄 회로를 표시하는 전류 레벨 C1과 개방 회로를 표시하는 전류 없음(no current) 사이에서 번갈아 나타난다. 도 44a 및 도 24b에서 논의된 실시예들에 따르면, 전류계(236)에 의해 검출된 전류는 샘플링될 수 있으며, 내장된 심볼은 전류의 포락선을 관찰하거나 처리함으로써 검출될 수 있다. 다음으로, 심볼들은 복조기(7110)에 의해 내장된 데이터로 변환될 것이다.

[0520] 도 44b에서, 예시된 유도 표면과 수신 구조는 전기 부하(315/327/336)에 의해 제공된 총 부하와 단일 저항기(R_1)에 직렬로 접속된 com 스위치(7210/7220/7310)를 갖는 제어 부하(Z_c)를 구비하는 회로를 구현할 것이다. 따라서, com 스위치(7210/7220/7310)가 접속 및 비접속 상태 사이에서 움직이기 때문에, 전류계(236)에 의해 관측된 전류는 폐쇄 회로를 표시하는 전류 레벨 C1과 개방 회로를 표시하는 전류 없음(no current) 사이에서 번갈아 나타난다. 도 44a 및 도 24b에서 논의된 실시예들에 따르면, 전류계(236)에 의해 검출된 전류는 샘플링될 수 있으며, 내장된 심볼은 전류의 포락선을 관찰하거나 처리함으로써 검출될 수 있다. 다음으로, 심볼들은 복조기(7110)에 의해 내장된 데이터로 변환될 것이다.

[0521] 도 44c에서, 예시된 유도 표면과 수신 구조는 전기 부하(315/327/336)에 의해 제공된 총 부하와 단일 저항기(R_1)에 직렬로 접속된 com 스위치(7210/7220/7310)를 갖는 제어 부하(Z_c)를 구비하는 회로를 구현할 것이다. 따라서, com 스위치(7210/7220/7310)가 접속 및 비접속 상태 사이에서 움직이기 때문에, 전류계(236)에 의해 관

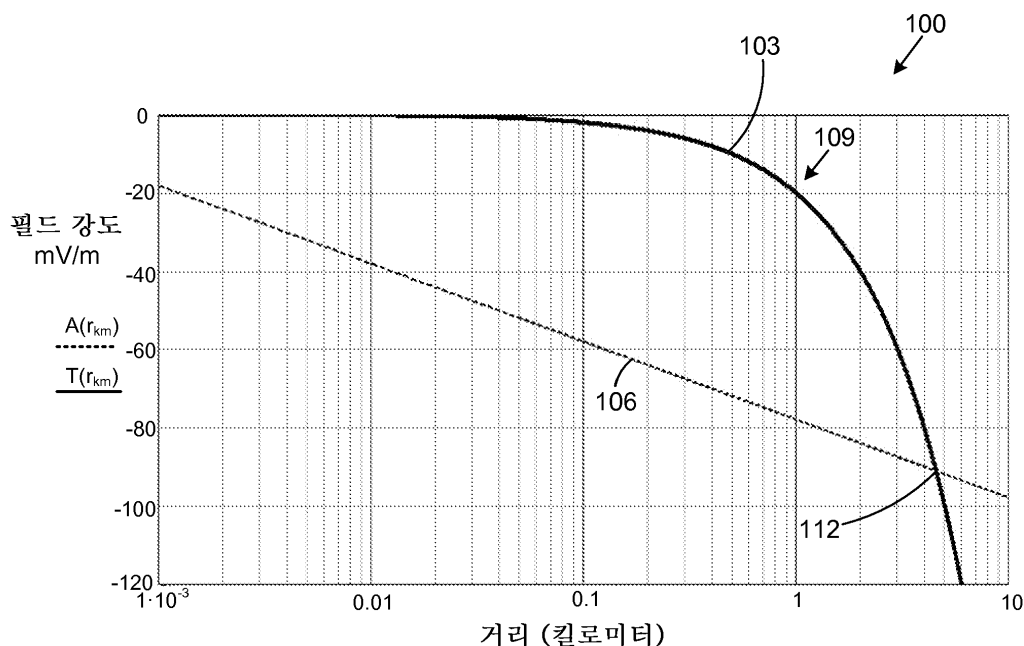
측된 전류는 폐쇄 회로를 표시하는 전류 C1과 개방 회로를 표시하는 전류 없음(no current) 사이에서 번갈아 나타난다. 도 44a 내지 도 44c에서 논의된 실시예들에 따르면, 전류계(236)에 의해 검출된 전류는 샘플링될 수 있으며, 내장된 심볼은 전류의 포락선을 관찰하거나 처리함으로써 검출될 수 있다. 예시적인 예에서, 전류계(236)에 의해 검출된 전류의 위상 레벨(PL1, PL2, PL3)은 도 44c에 나타난 바와 같이, 내장된 신호를 결정하도록 처리될 수 있다. 다음으로, 심볼들은 복조기(7110)에 의해 내장된 데이터로 변환될 것이다.

[0522] 다음으로, 도 45를 참조하면, 다양한 실시예에 따른 유도 표면과 수신 구조의 일부분 및 관련 회로의 일부 동작의 일례를 제공하는 흐름도가 도시되어 있다. 박스(7503)에서 시작하여, 유도 표면과 형태의 전기적 에너지가 유도 표면과 수신 구조(303/306/309)를 사용하여 수신된다. 다음으로, 박스(7505)에서, 전기적 에너지가 유도 표면과 수신 구조(303/306/309)에 결합된 전기 부하에 공급된다. 박스(7507)에서, 유도 표면과 수신 구조(303/306/309)에 결합된 총 부하는 제어 부하 회로(예를 들어, 가변 임피던스 제어 부하(Z_c)에 결합된 com 스위치(7210/7220/7310))를 통해, 변조 또는 변경되며, 여기서 총 부하는 전기 부하(315/327/336) 및 가변 제어 부하(Z_c)에 의해 제공된다. 대안적으로, 전기 부하(315/327/336)가 각각의 회로에 존재하지 않는 경우, 가변 제어 부하(Z_c)는 각각의 유도 표면과 수신 구조(303/306/309)에 결합된 전체 부하를 포함할 것이다. 대응하여, 박스(7509)에서, 유도 표면 도파 프로브(P)에서, 유도 표면파를 생성하는 유도 표면 도파 프로브(P)의 전류의 변조가 검출될 수 있다. 다음으로, 박스(7511)에서, 데이터 신호의 적어도 일부에 대응하는 유도 표면 도파 프로브(P)에서 전류에 내장된 심볼 또는 값이 결정될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 상이한 전류 레벨(C1 또는 C2)은 2진수(0 또는 1)에 대응할 수 있다. 다른 실시예들에서, 변조된 신호의 상이한 위상 레벨 또는 주파수 레벨은 상이한 2진수에 대응할 수 있다. 따라서, 신호로부터 데이터를 획득할 수 있다.

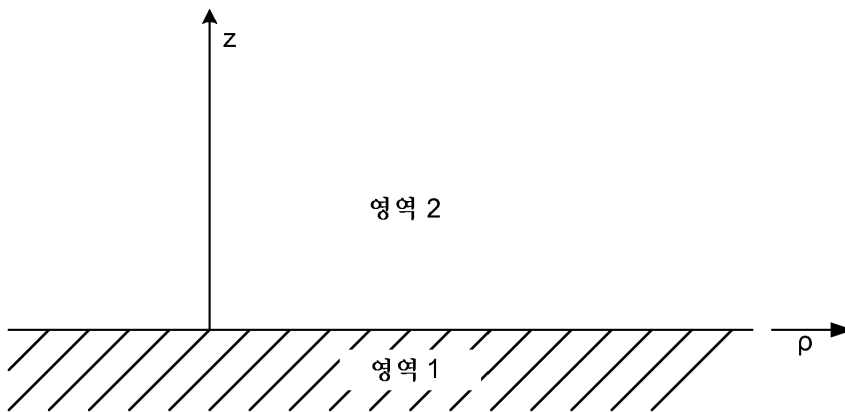
[0523] 본 개시 내용의 전술한 실시예들은 본 개시 내용의 원리들의 명확한 이해를 위해 설명되는 구현들의 가능한 예들일 뿐이라는 것이 강조되어야 한다. 본 개시 내용의 사상 및 원리로부터 실질적으로 벗어나지 않고서 전술한 실시예(들)에 대하여 많은 변형 및 수정이 이루어질 수 있다. 모든 그러한 수정들 및 변경들은 본 개시 내용의 범위 내에 포함되고, 아래의 청구항들에 의해 보호되는 것을 의도한다. 또한, 설명된 실시예들 및 종속항의 모든 선택적 및 바람직한 특징들 및 수정들이 본 명세서에서 교시된 모든 양태들에서 사용될 수 있다. 또한, 종속항의 개별적인 특징뿐만 아니라 설명된 실시예의 모든 선택적이고 바람직한 특징 및 변형은 서로 결합 가능하고 상호 교환 가능하다.

도면

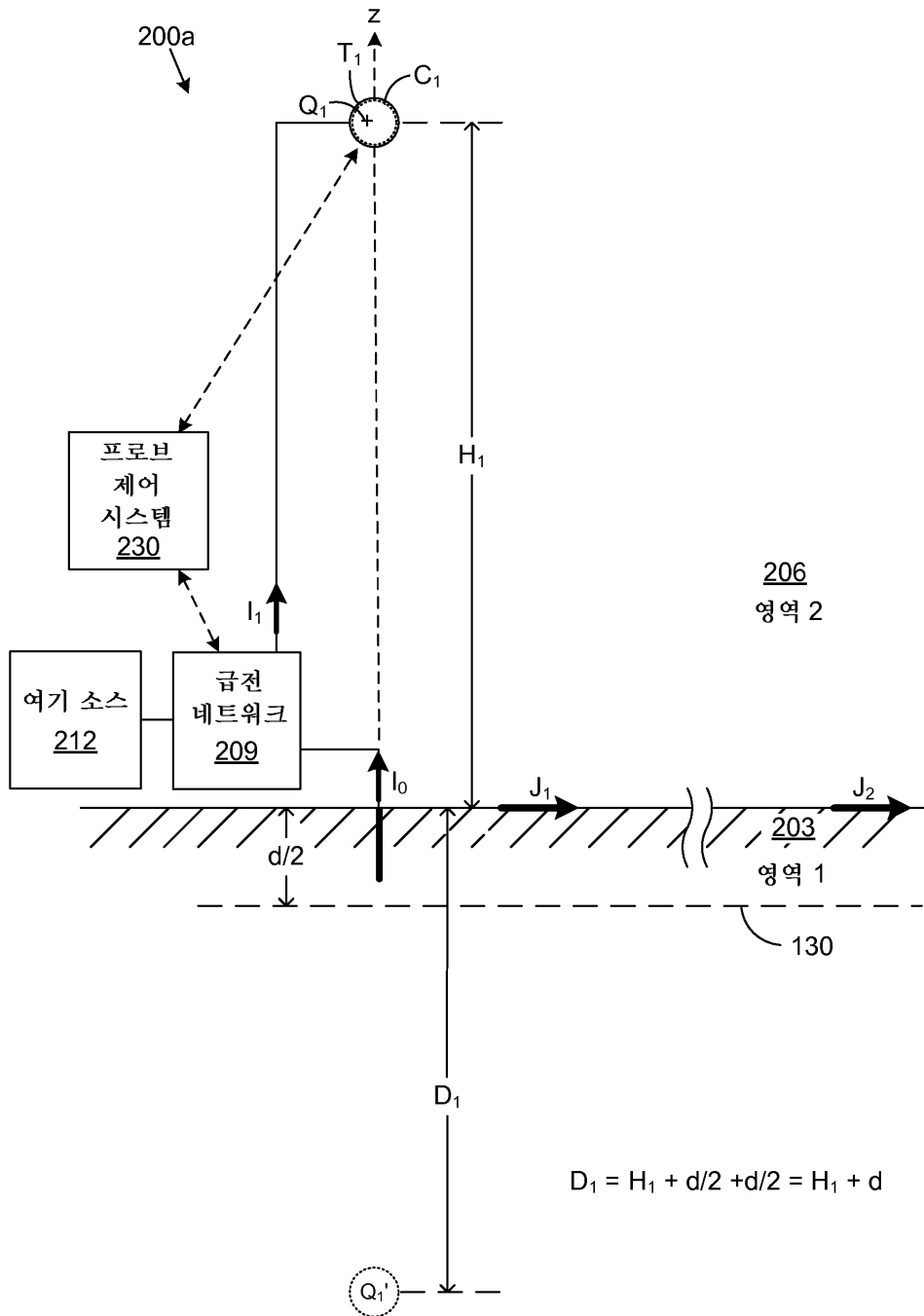
도면1



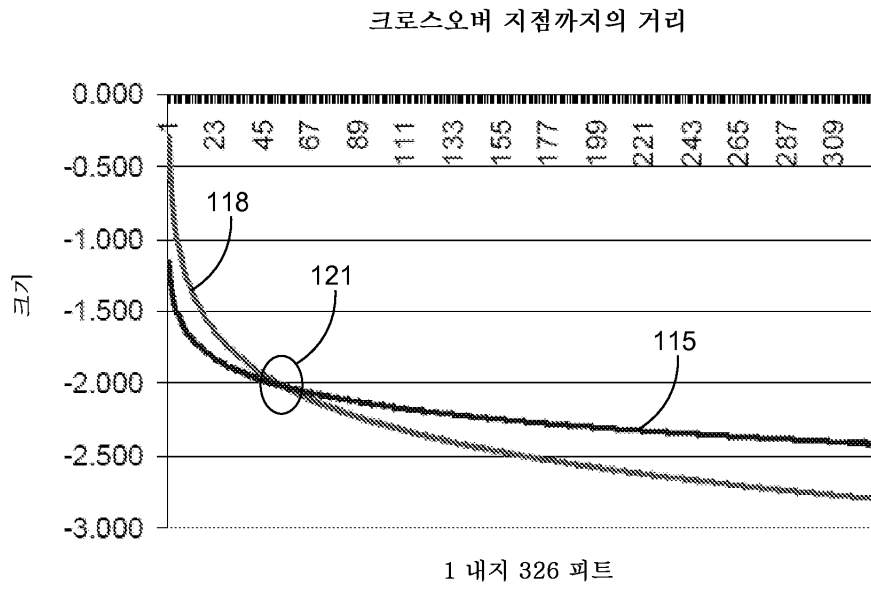
도면2



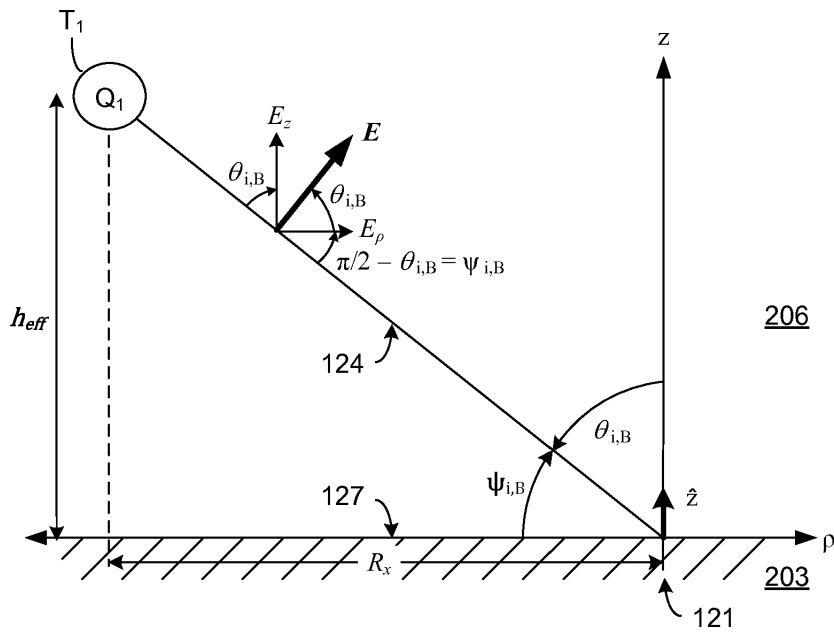
도면3



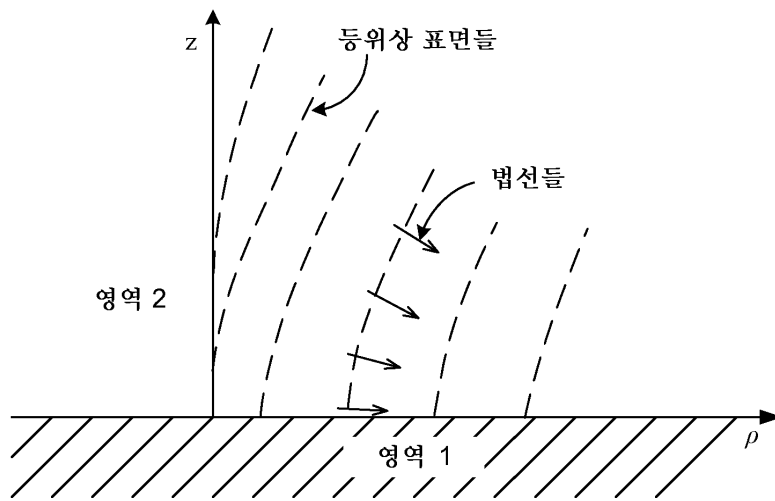
도면4



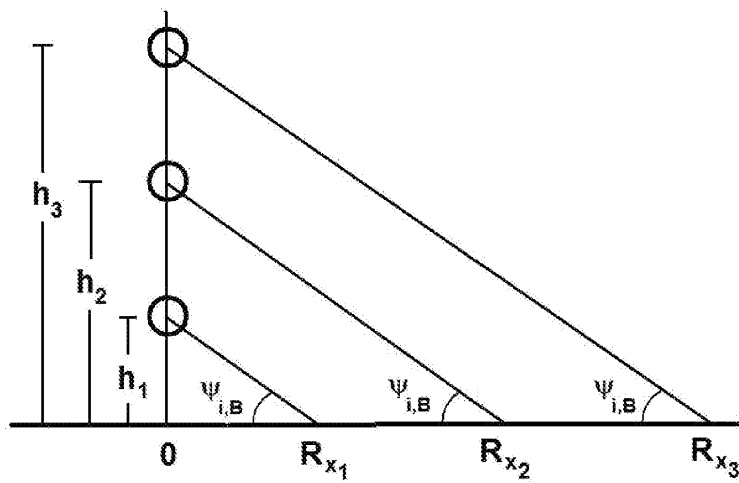
도면5a



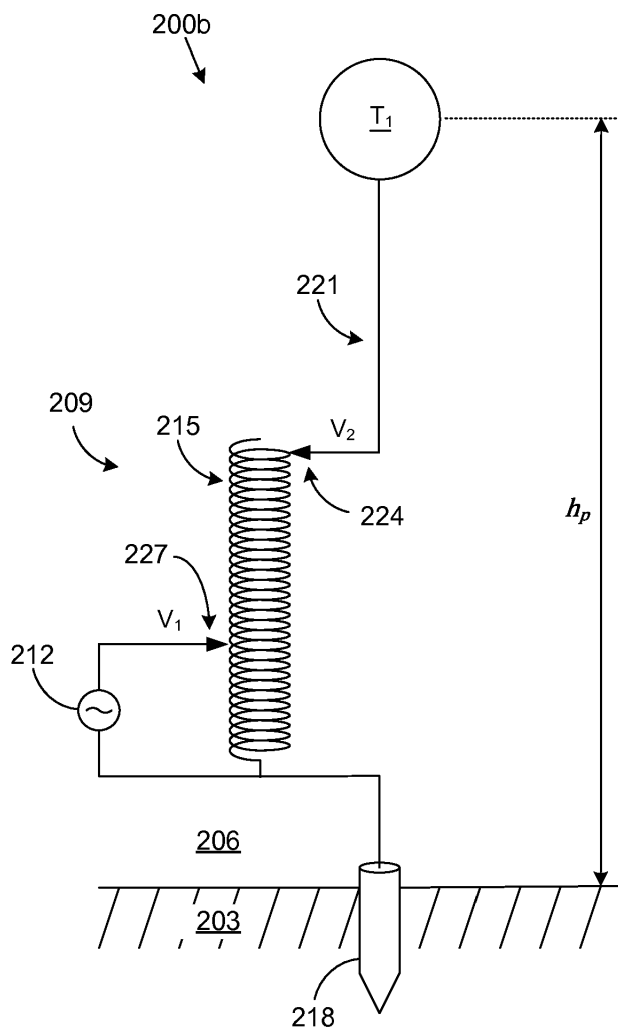
도면5b



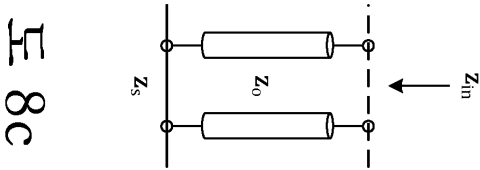
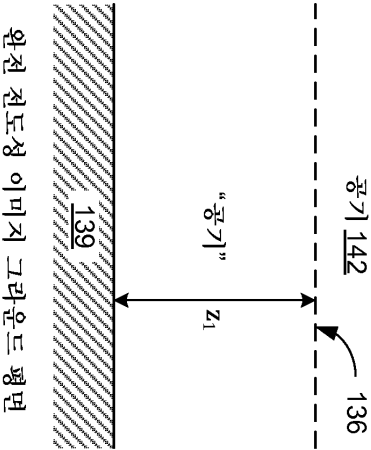
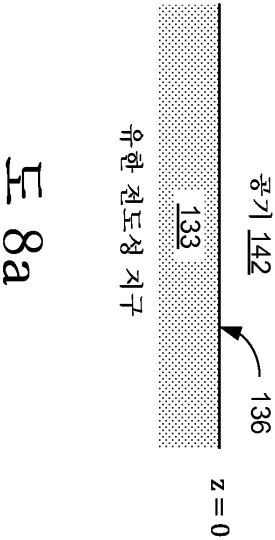
도면6



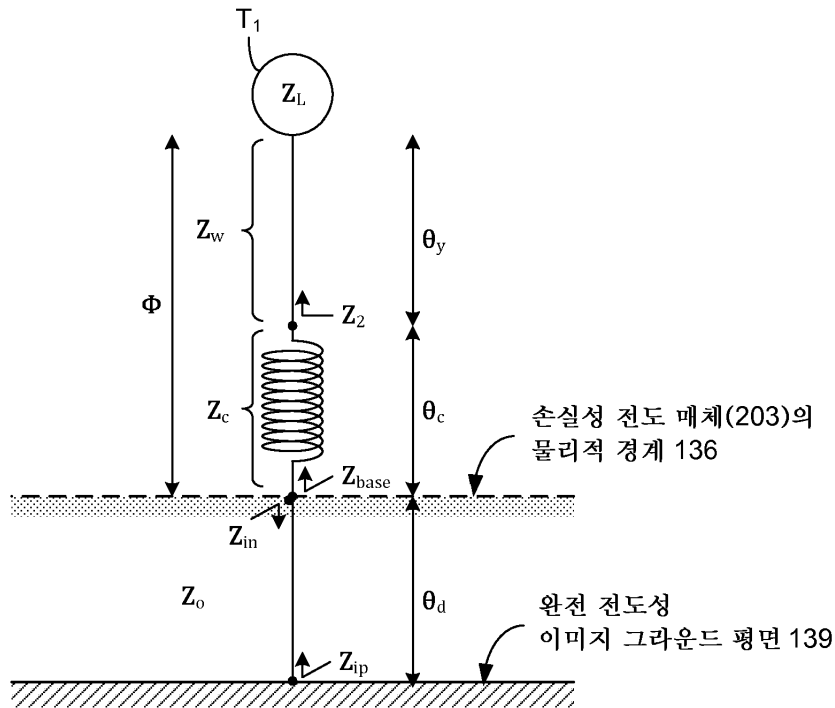
도면7



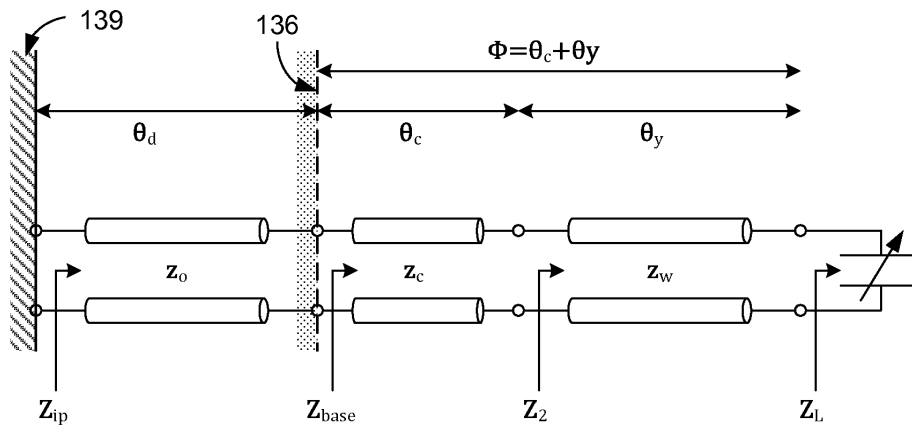
도면8



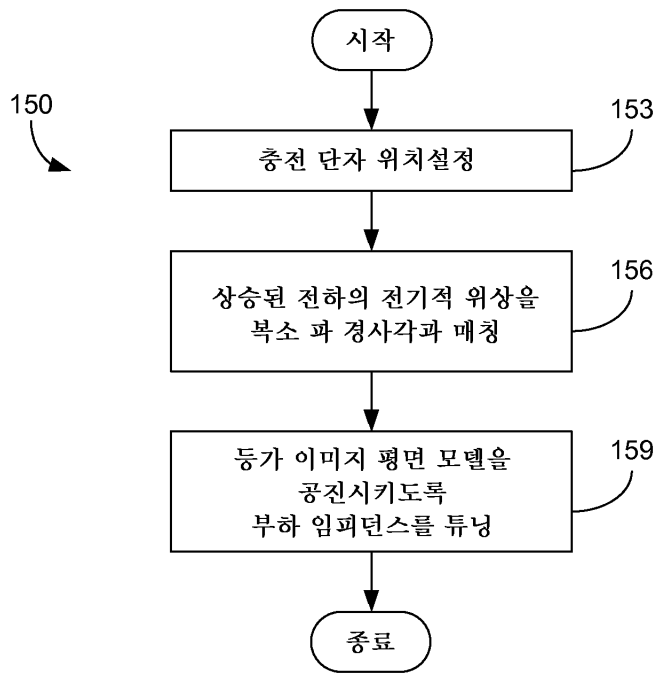
도면9a



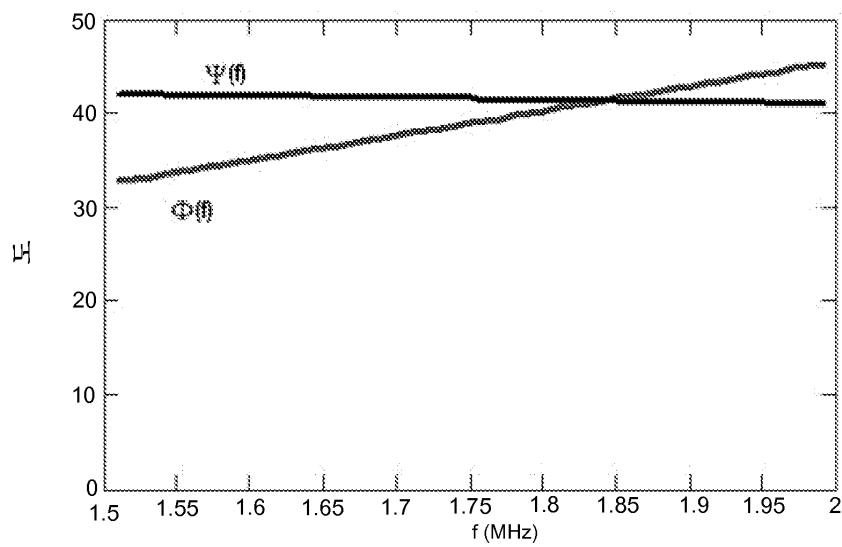
도면9b



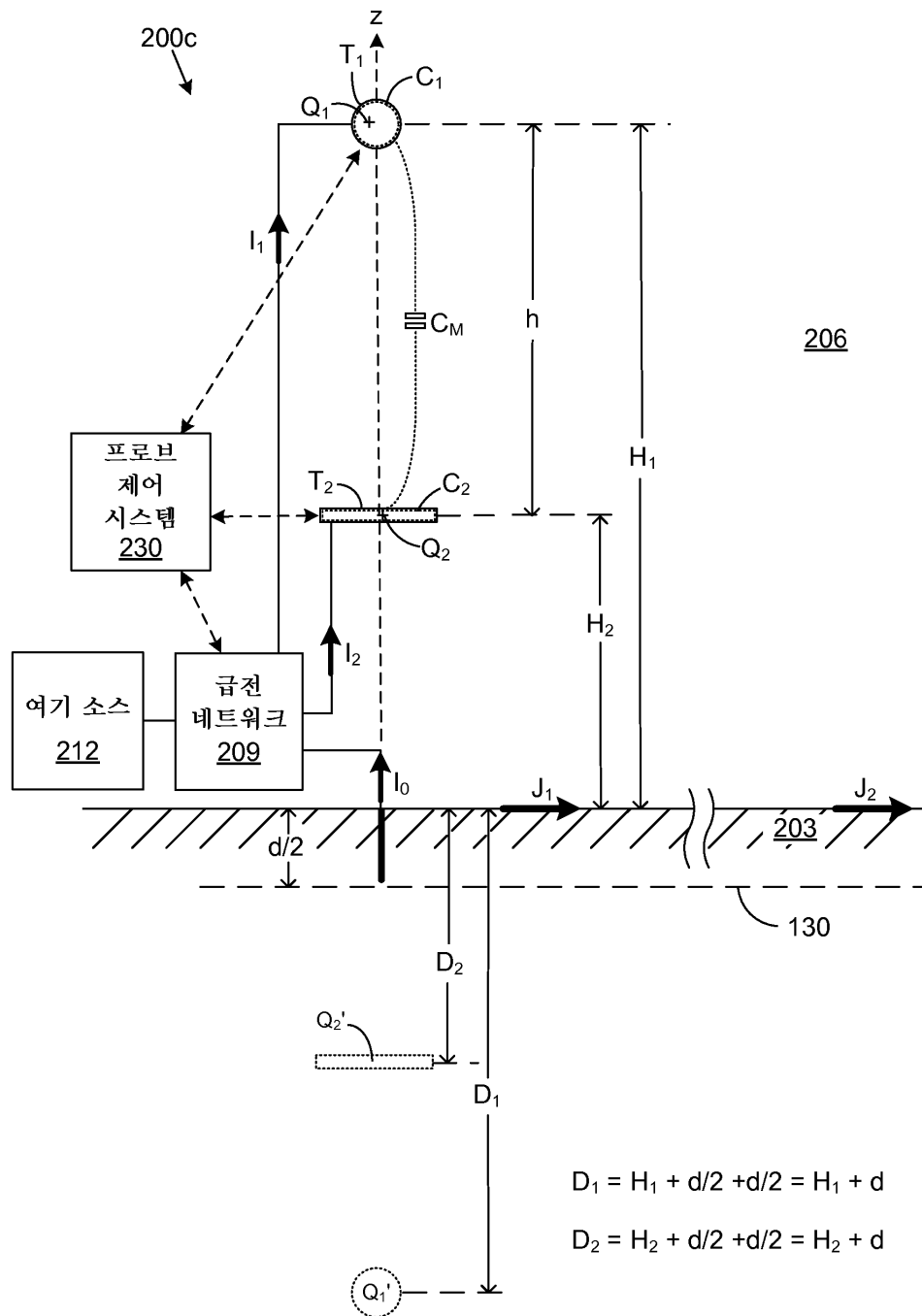
도면10



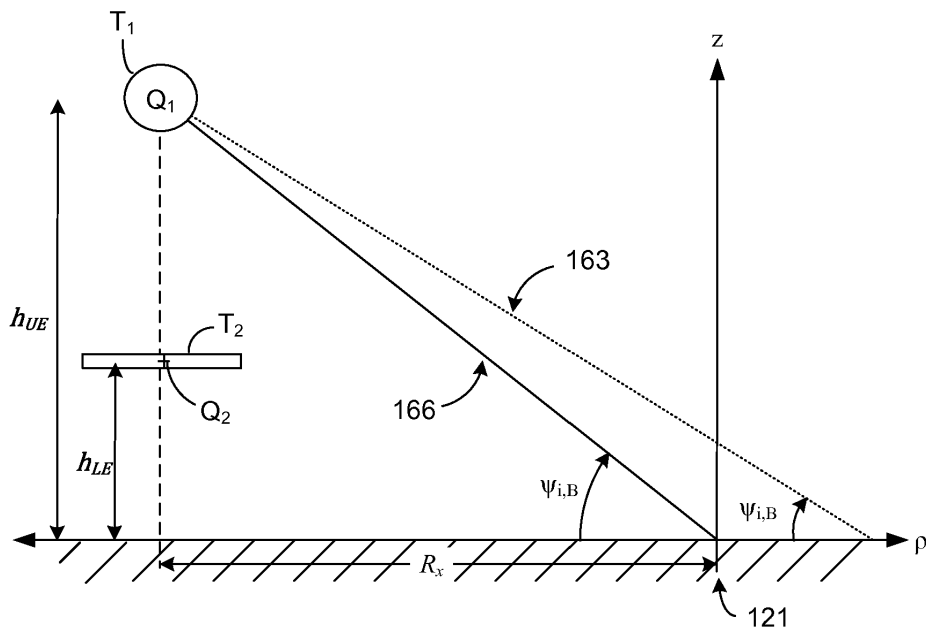
도면11



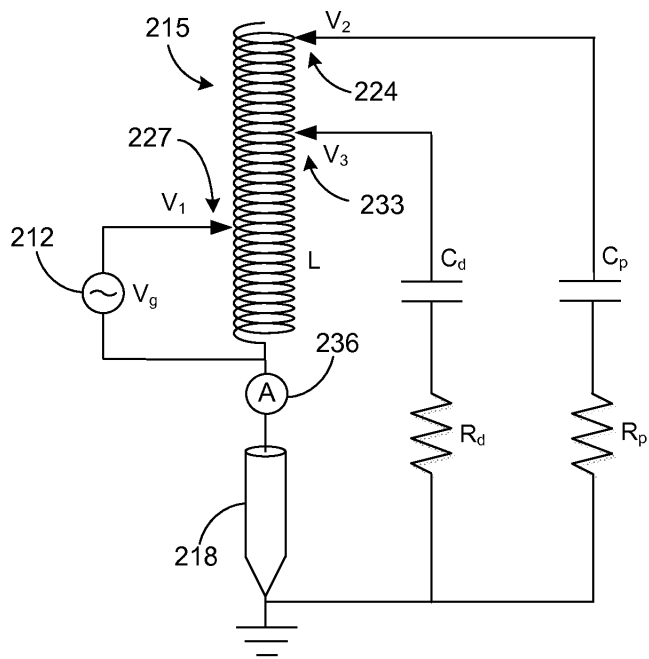
도면12



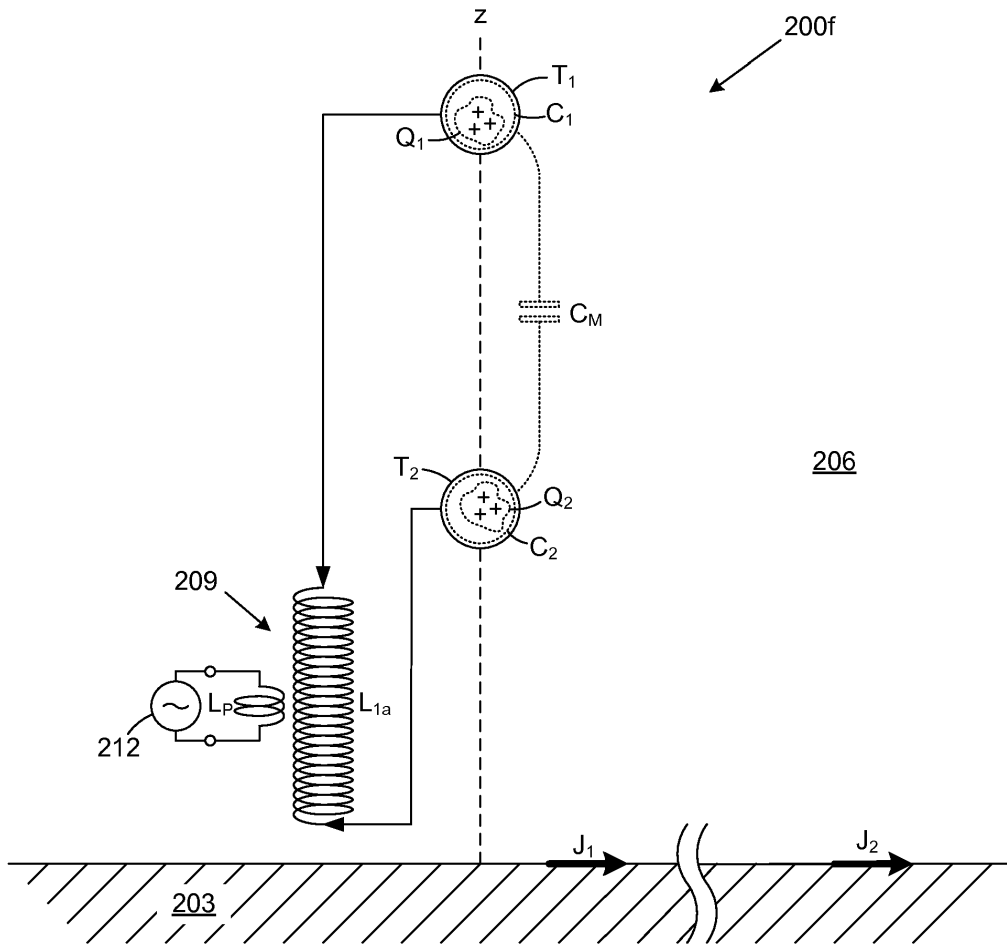
도면13



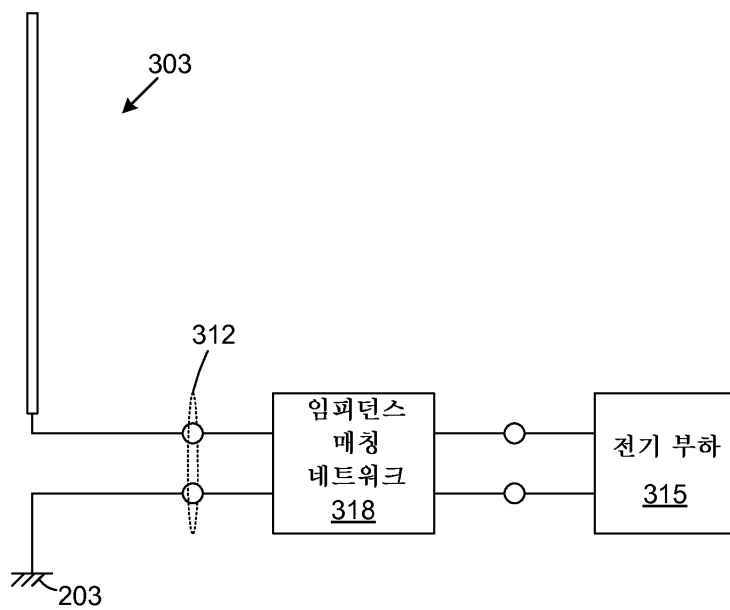
도면15b



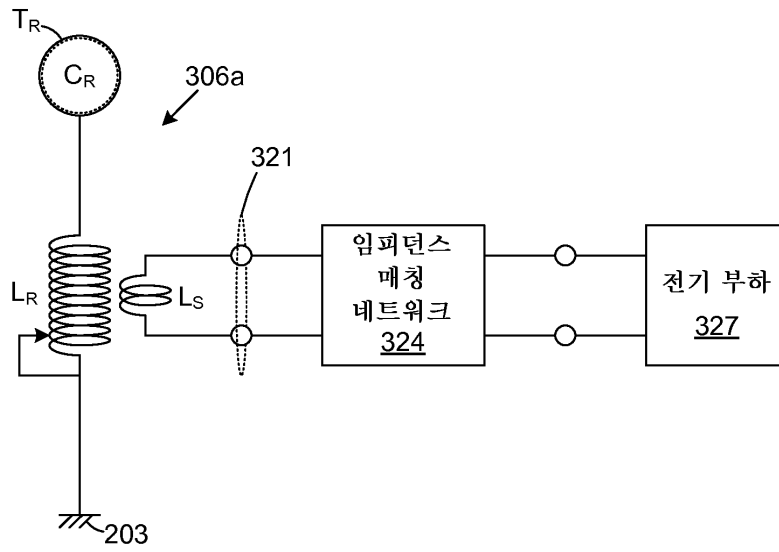
도면17



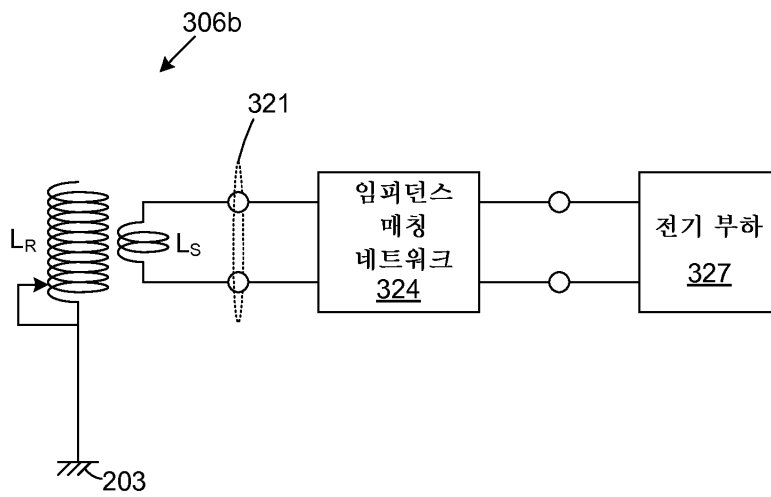
도면18a



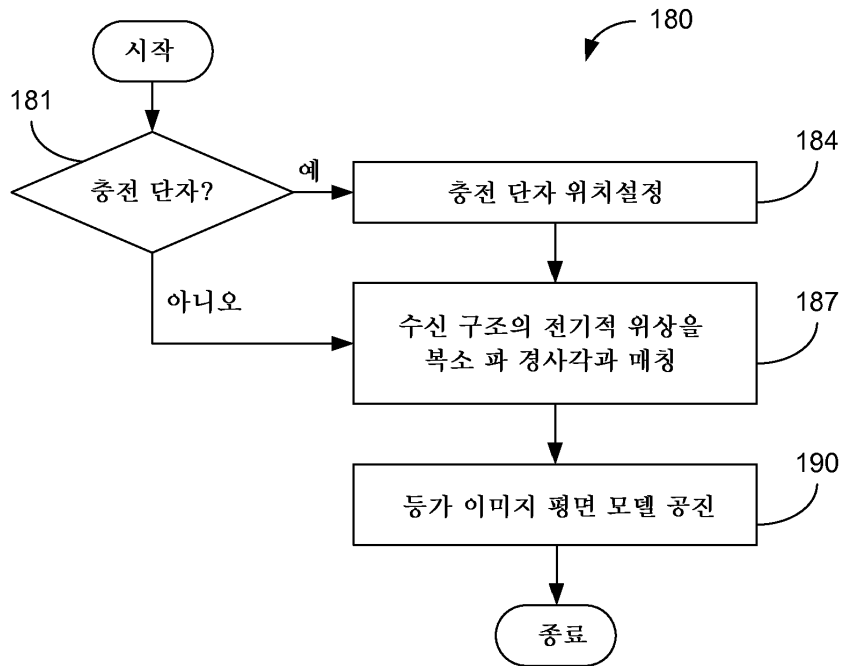
도면18b



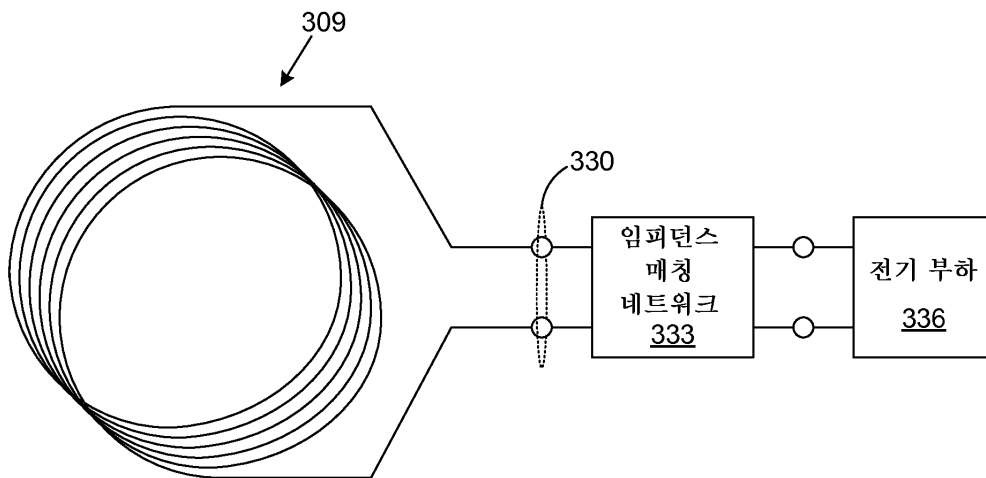
도면18c



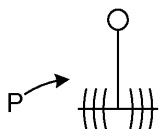
도면18d



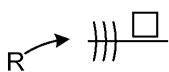
도면19



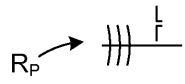
도면20a



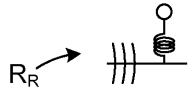
도면20b



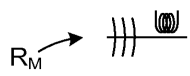
도면20c



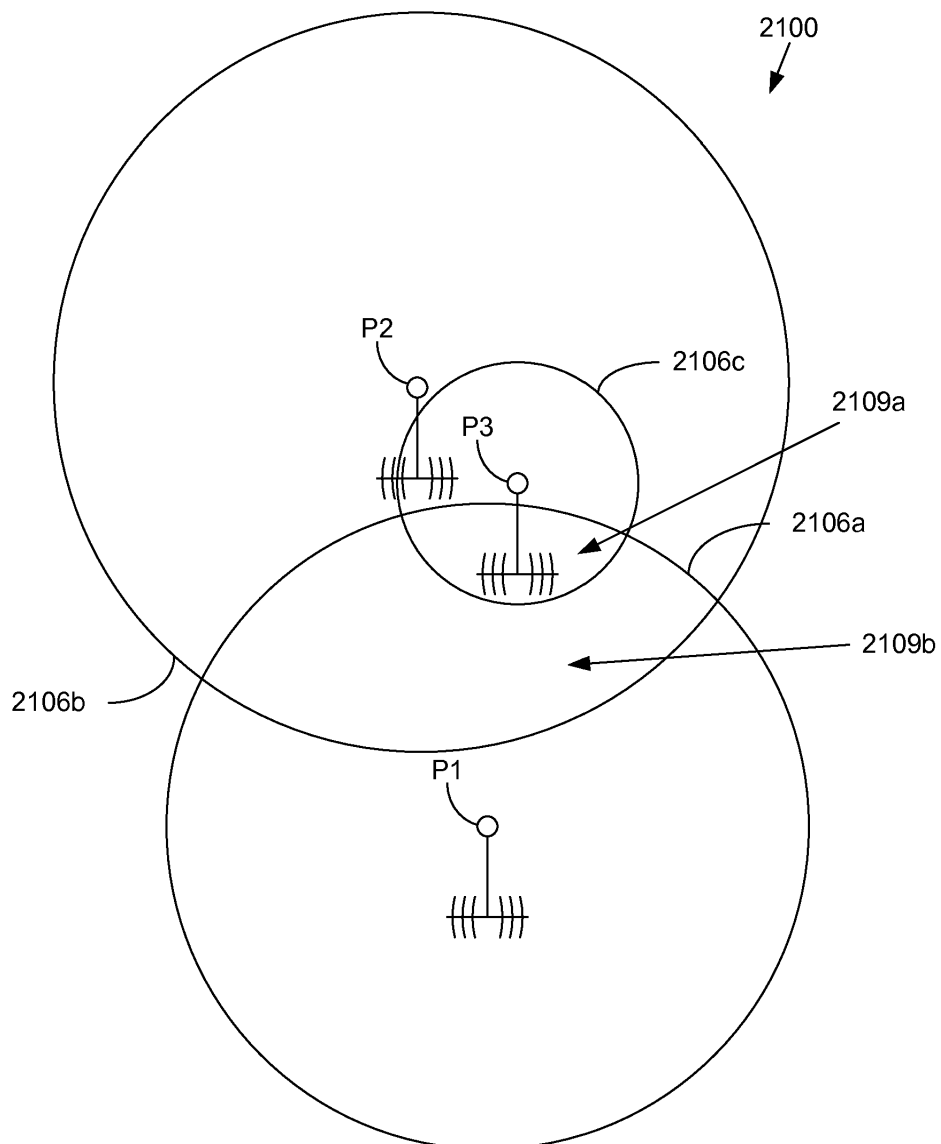
도면20d



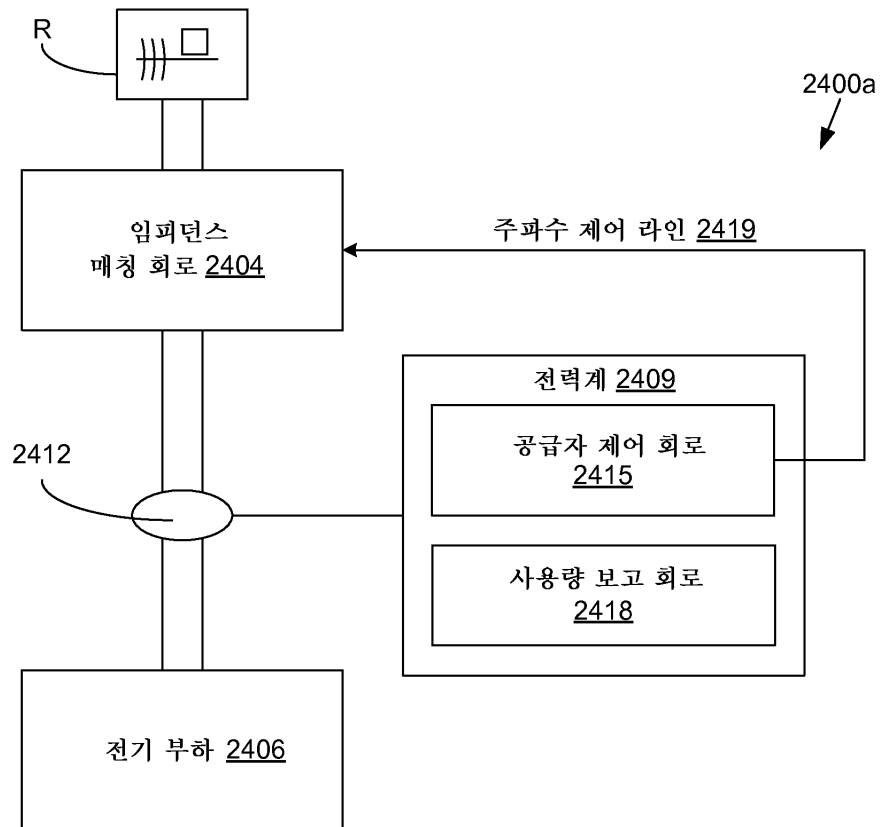
도면20e



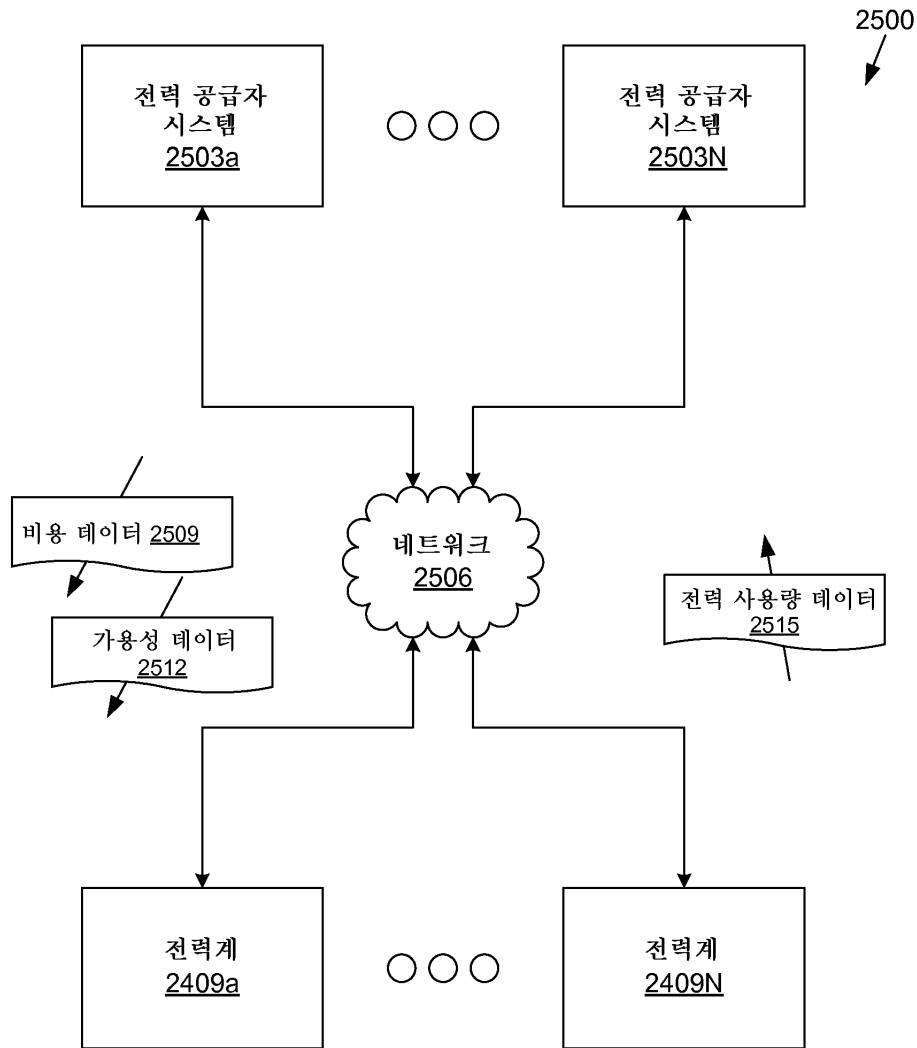
도면21



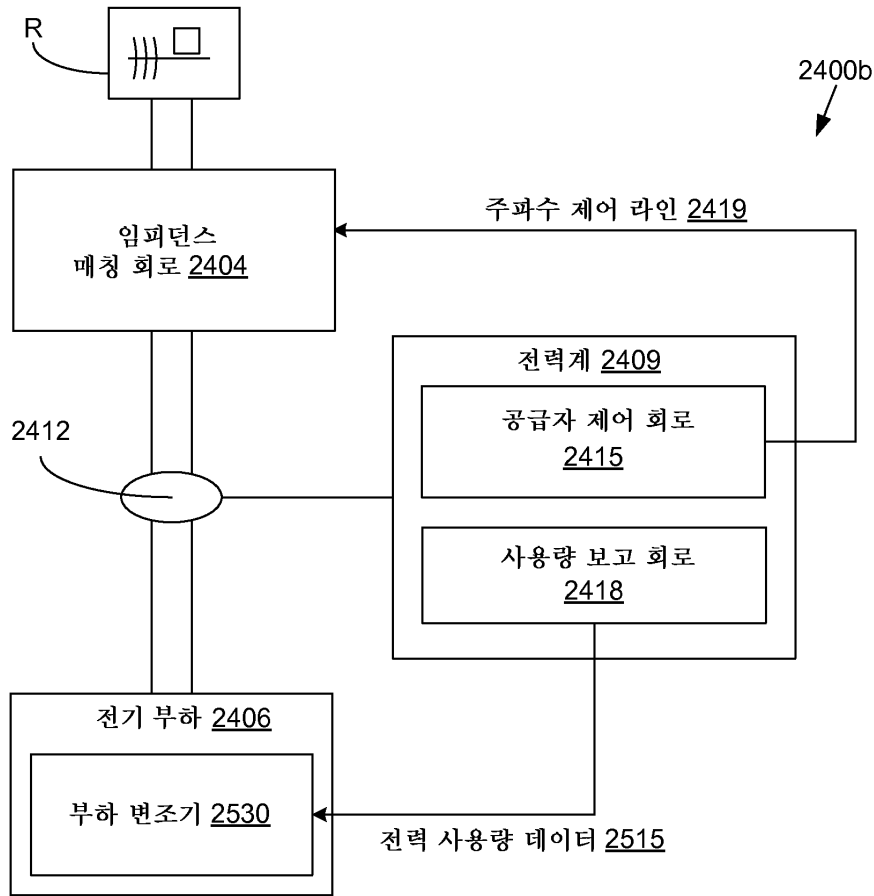
도면22



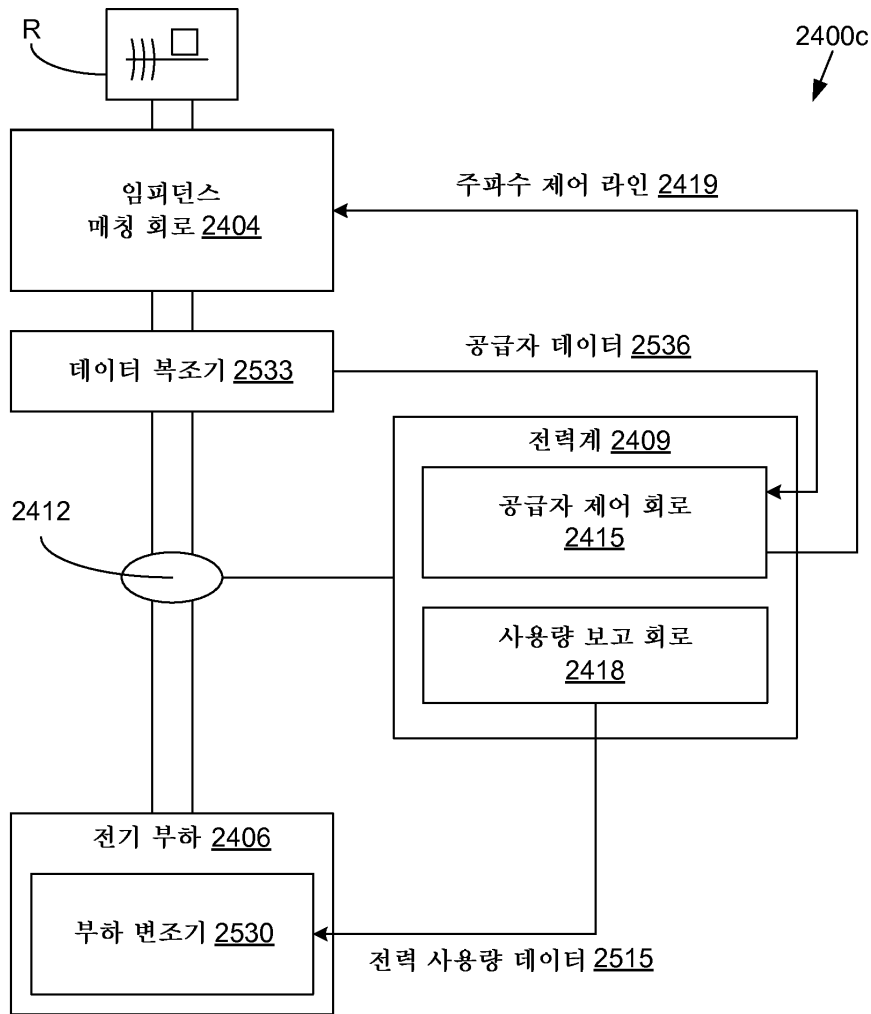
도면23



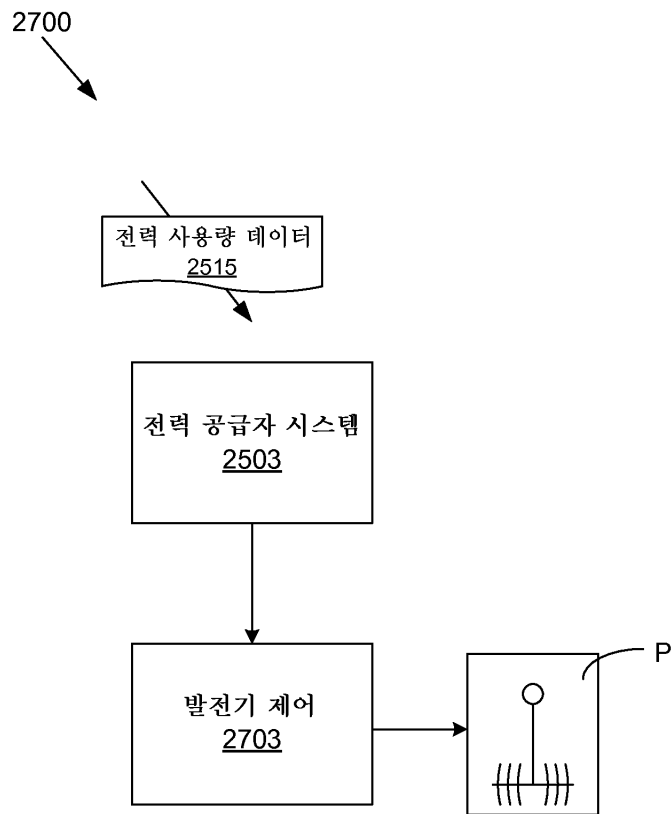
도면24



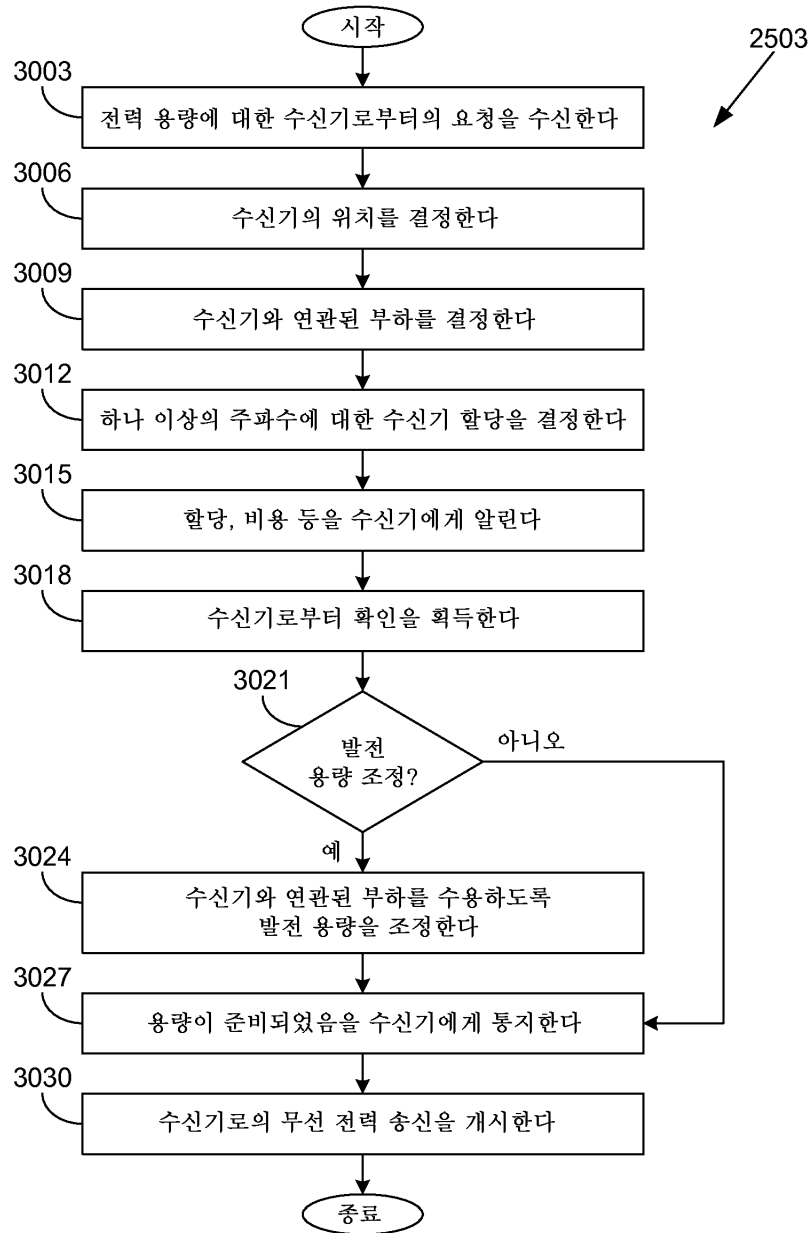
도면25



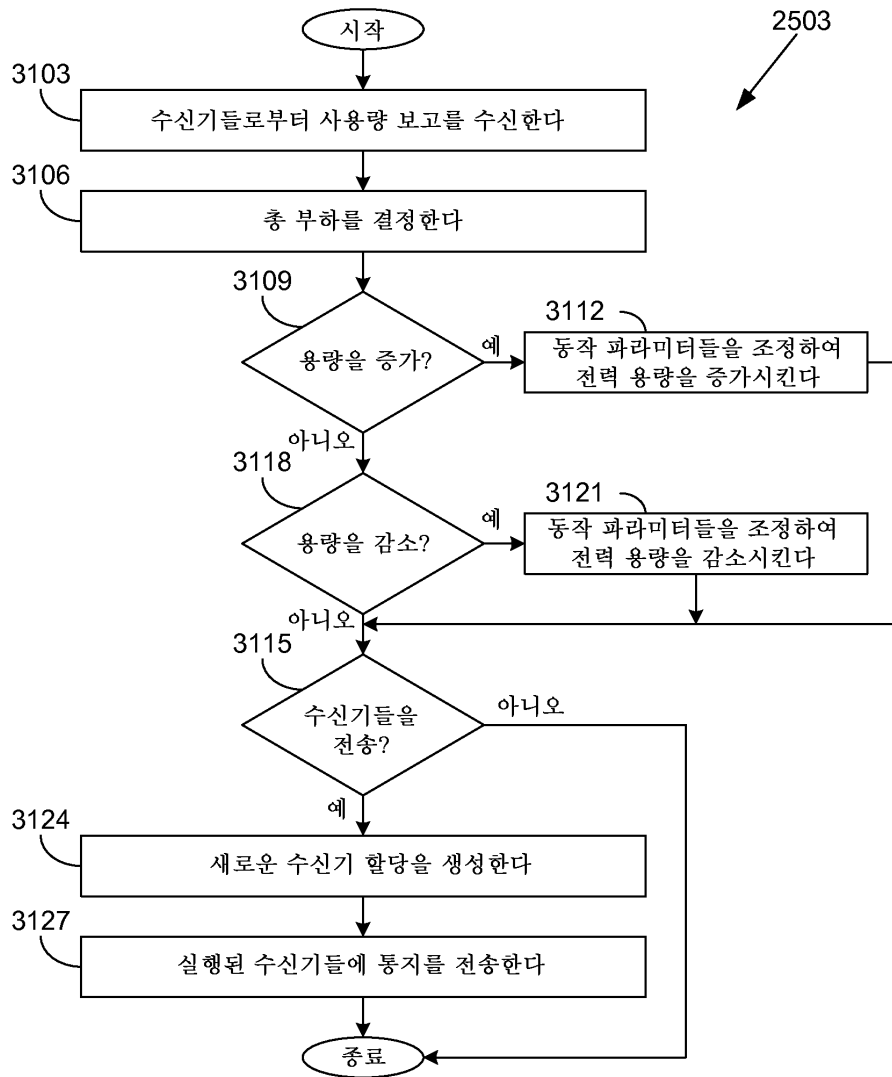
도면26



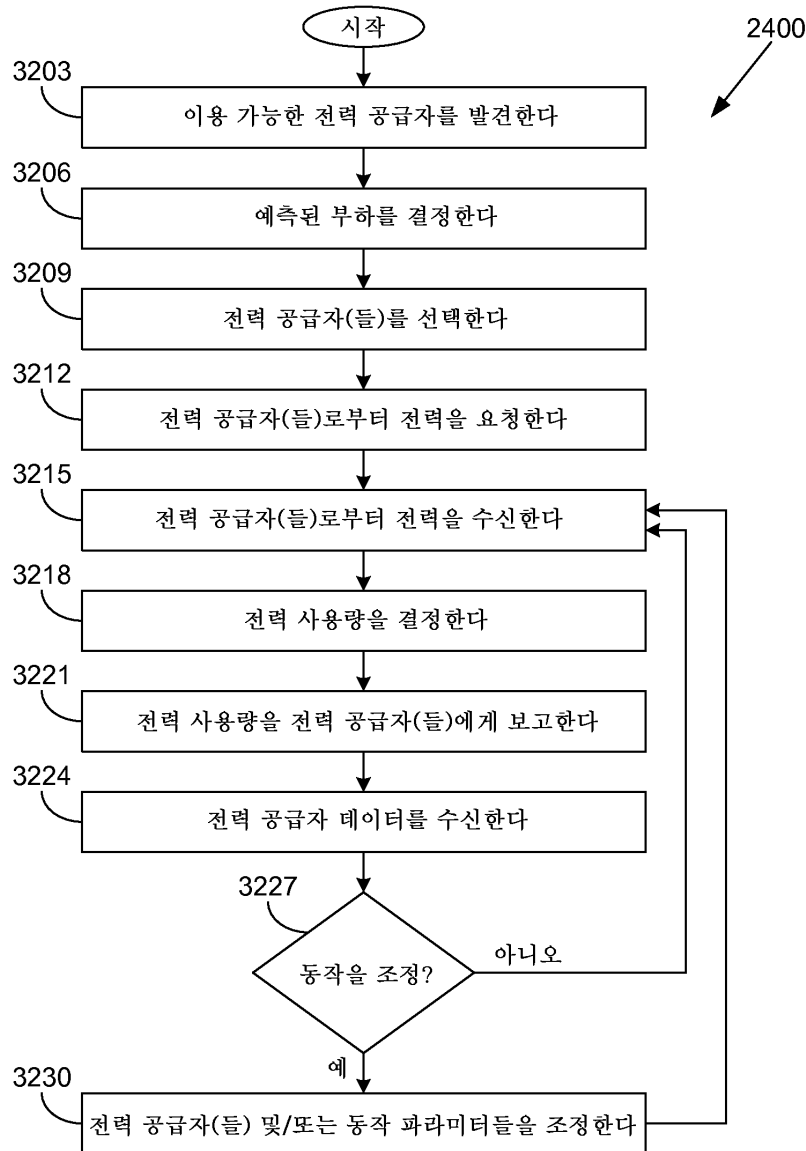
도면27



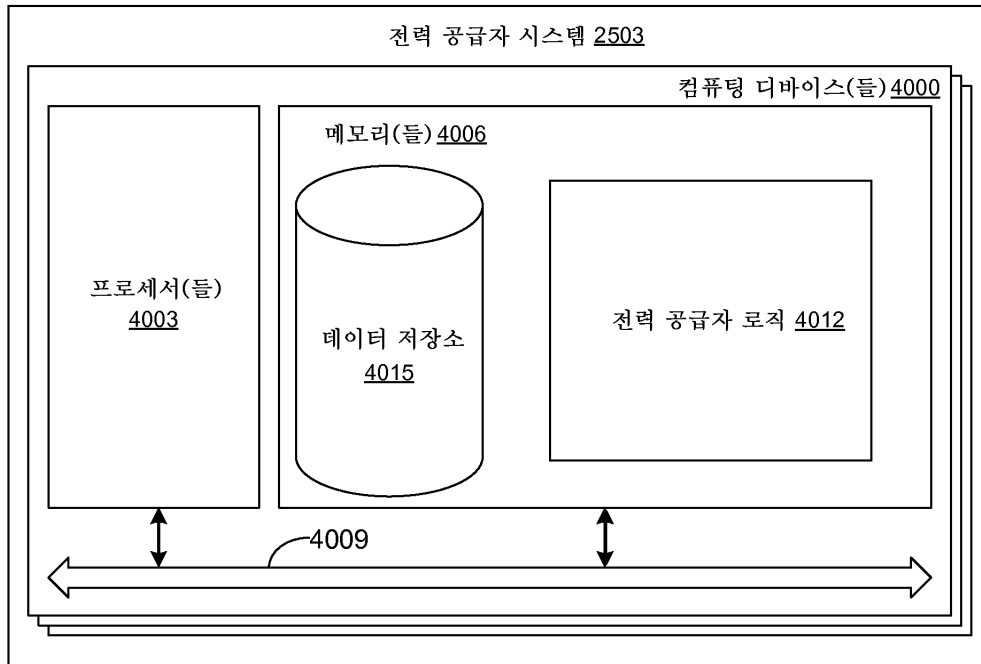
도면28



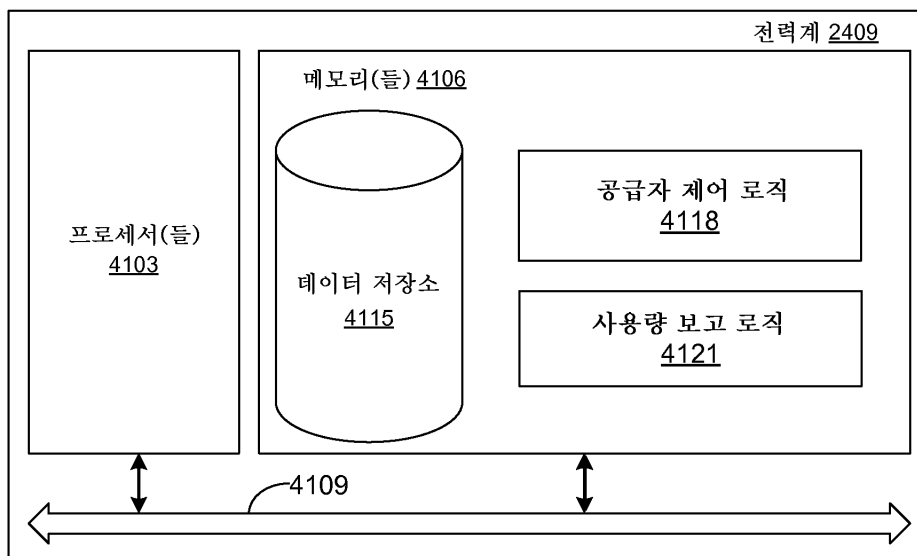
도면29



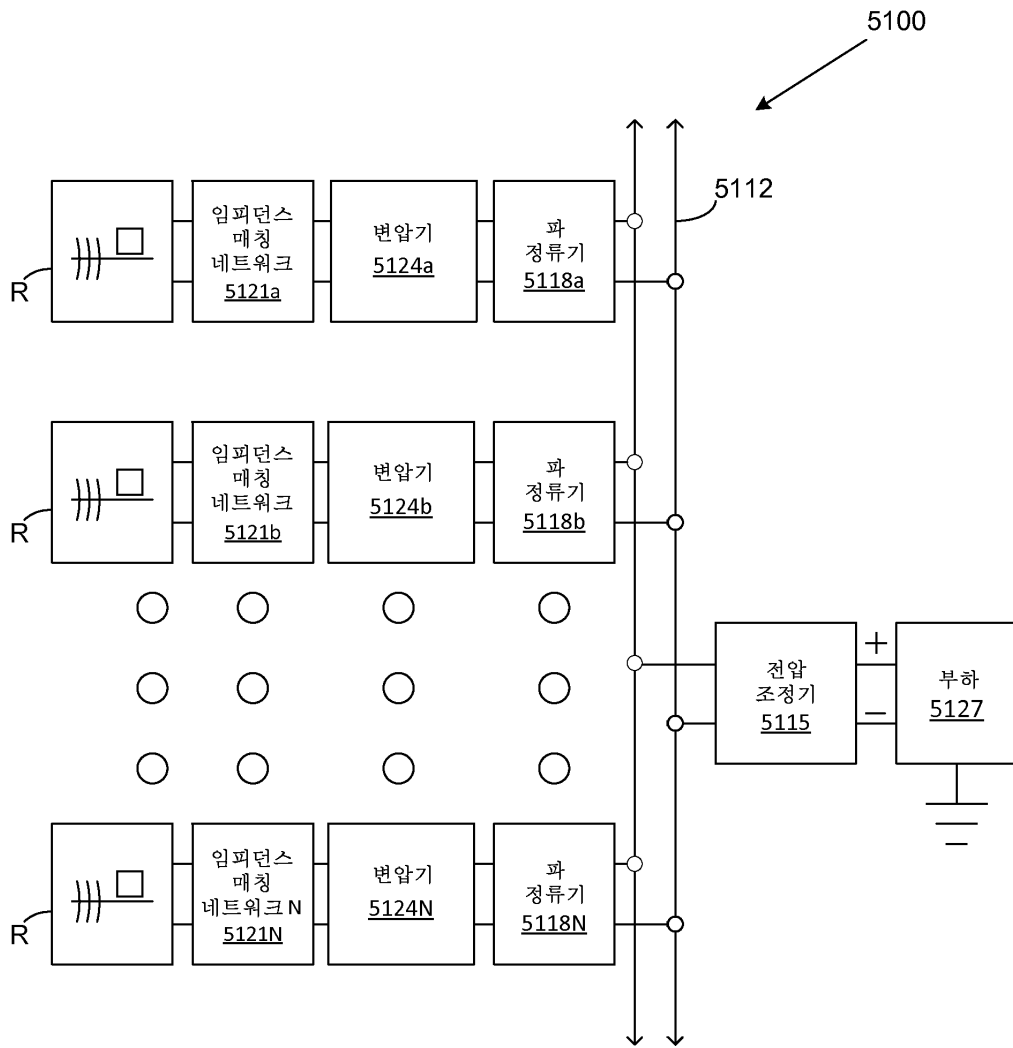
도면30



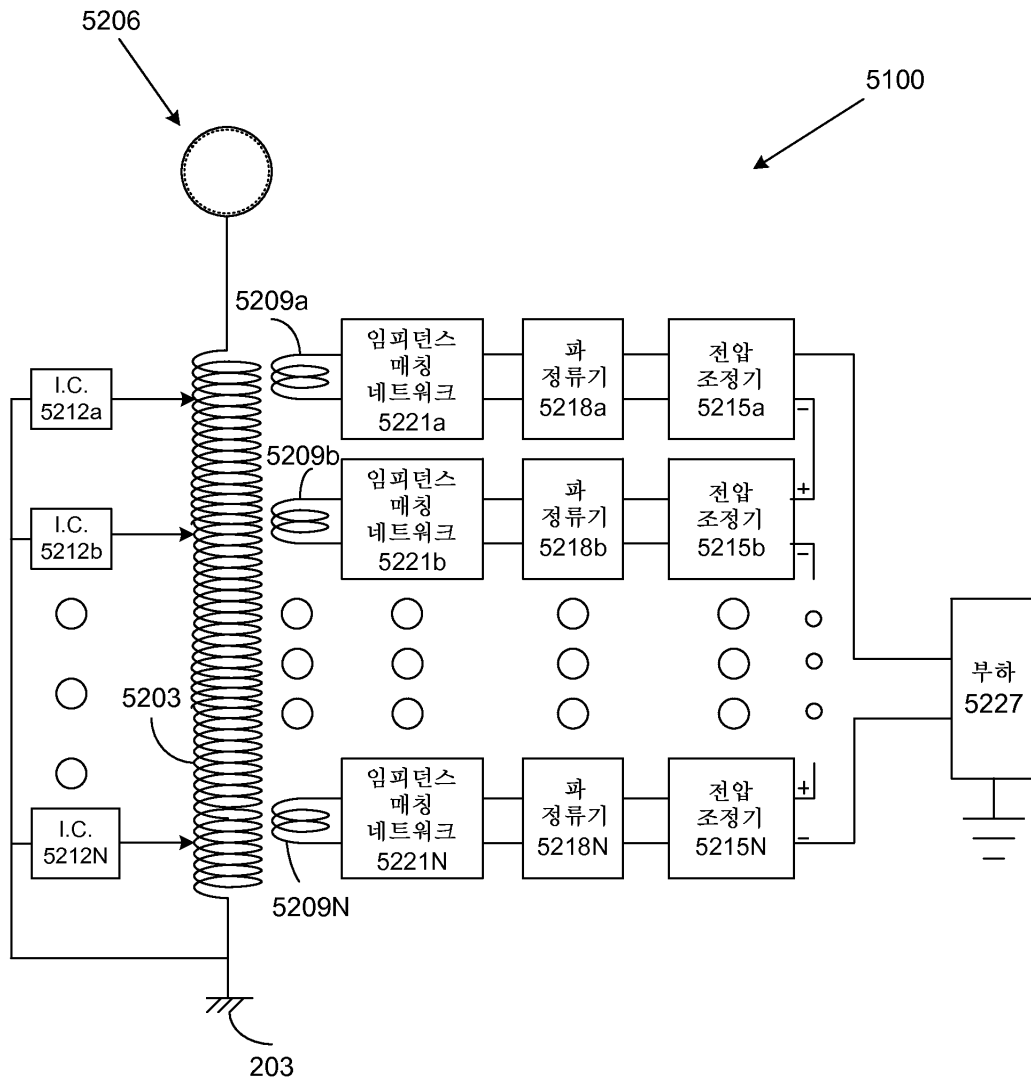
도면31



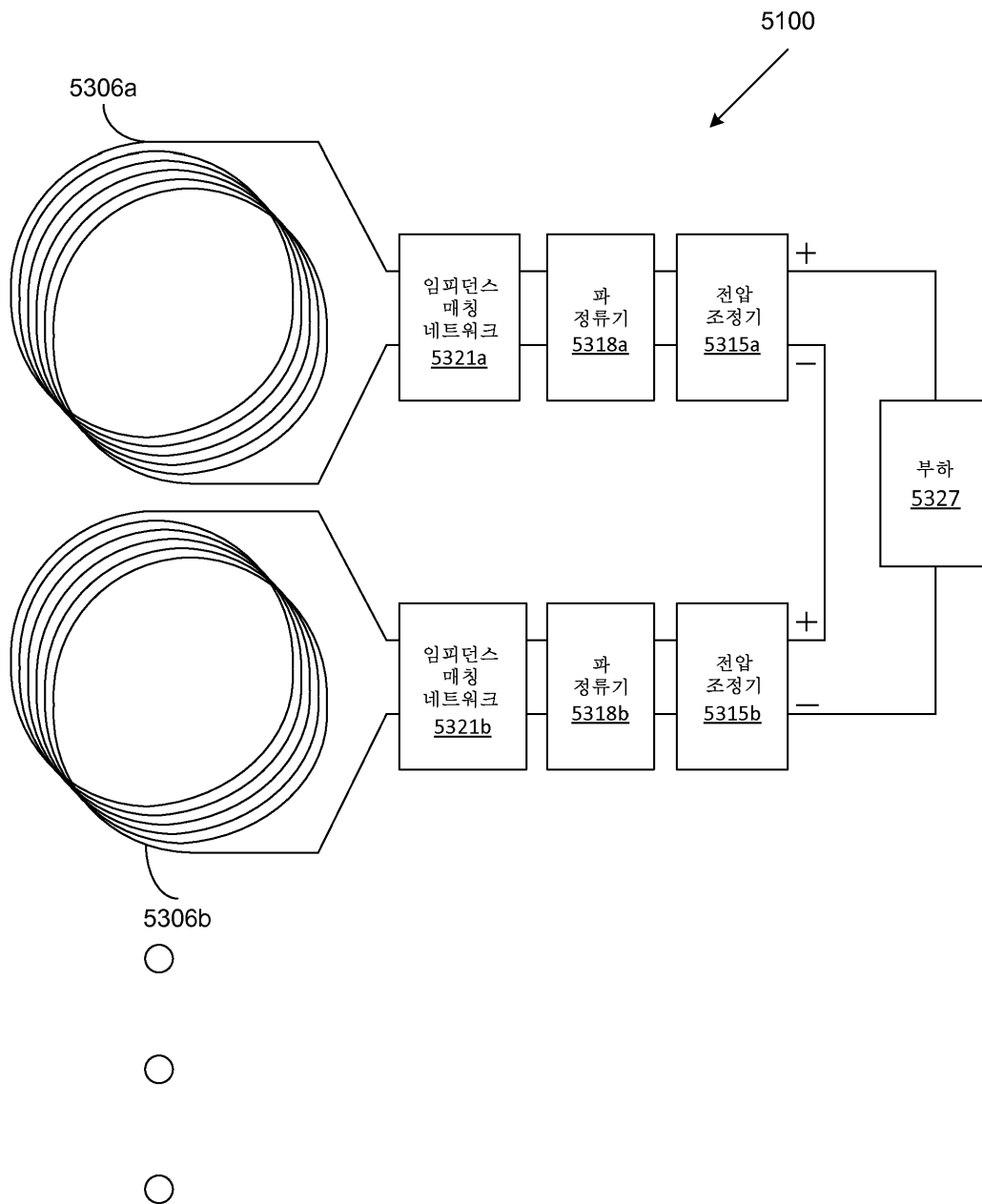
도면32



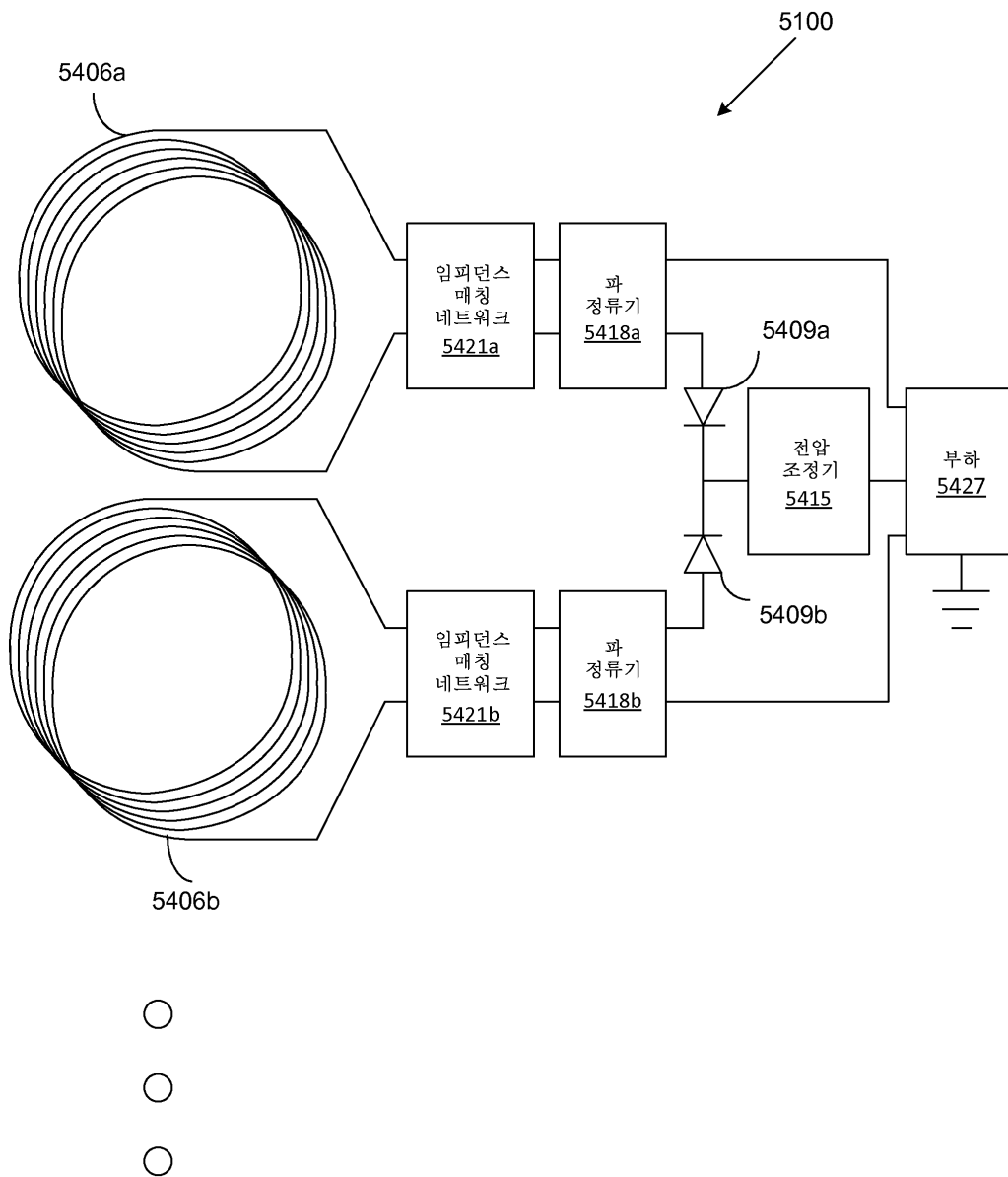
도면33



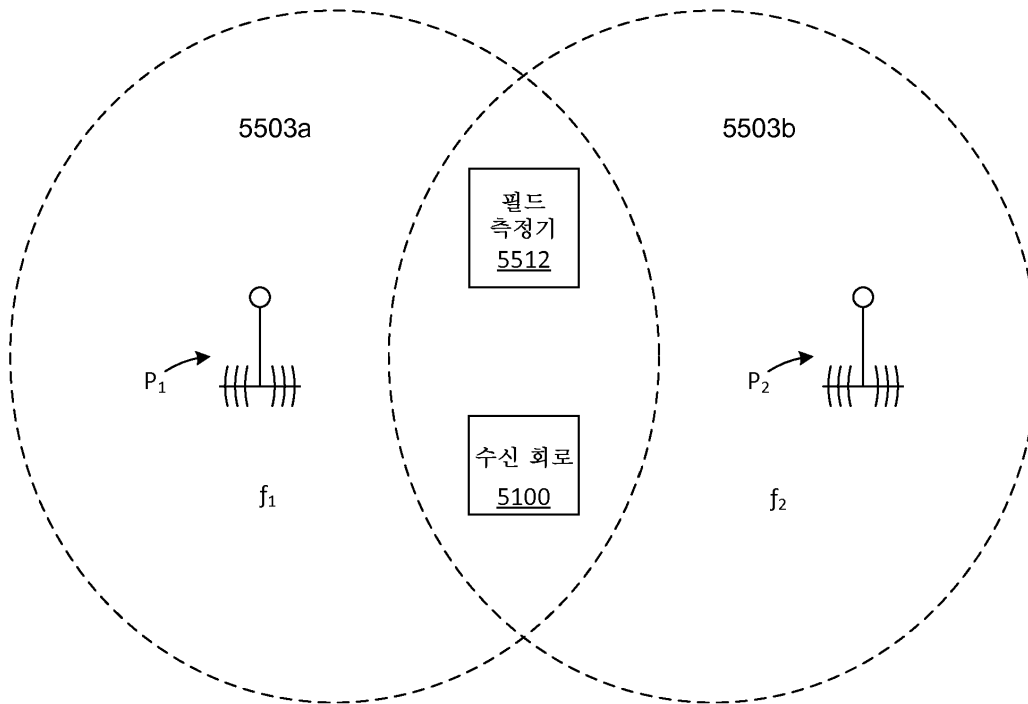
도면34



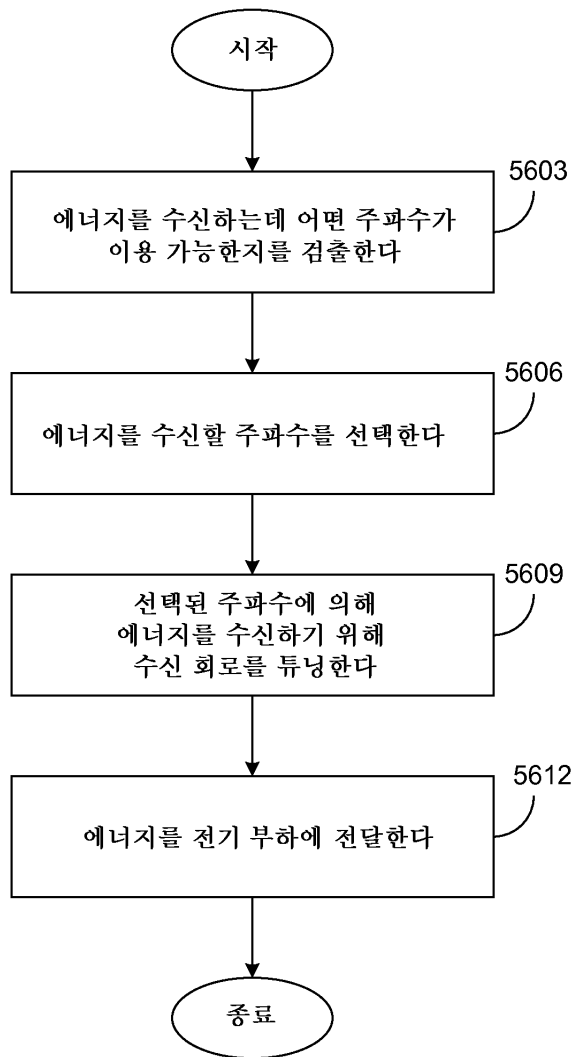
도면35



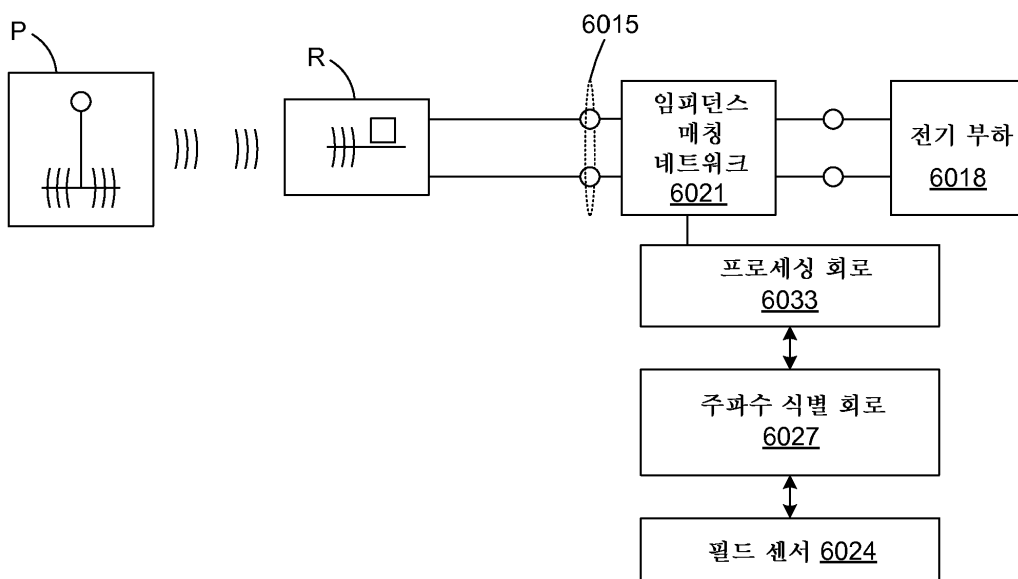
도면36



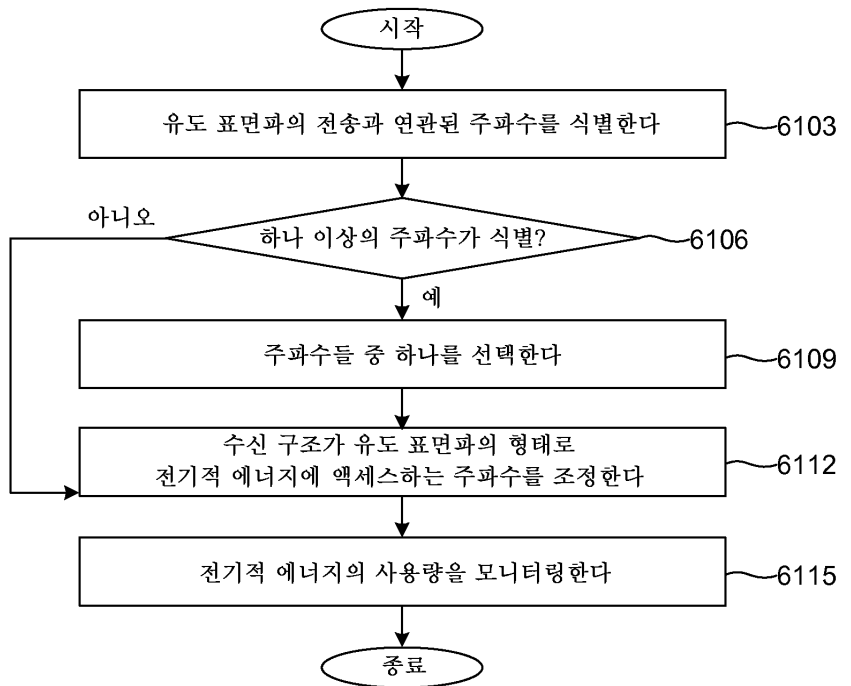
도면37



도면38

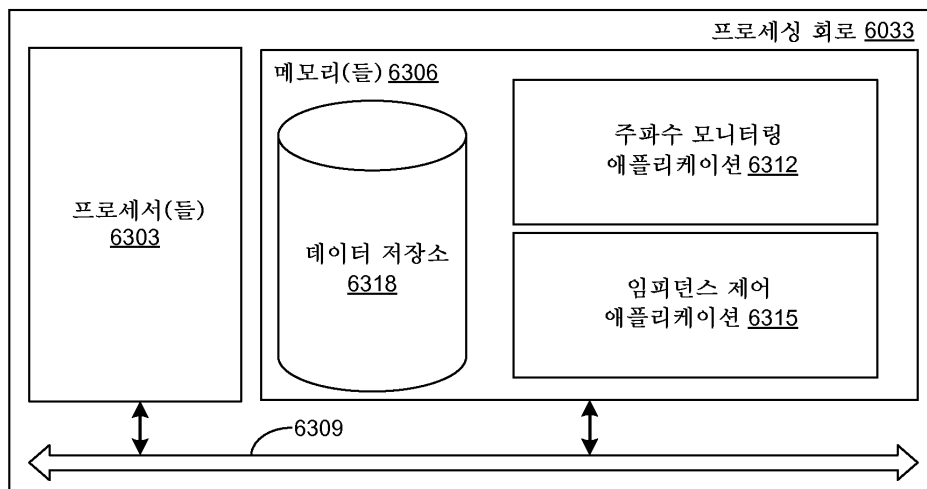


도면39

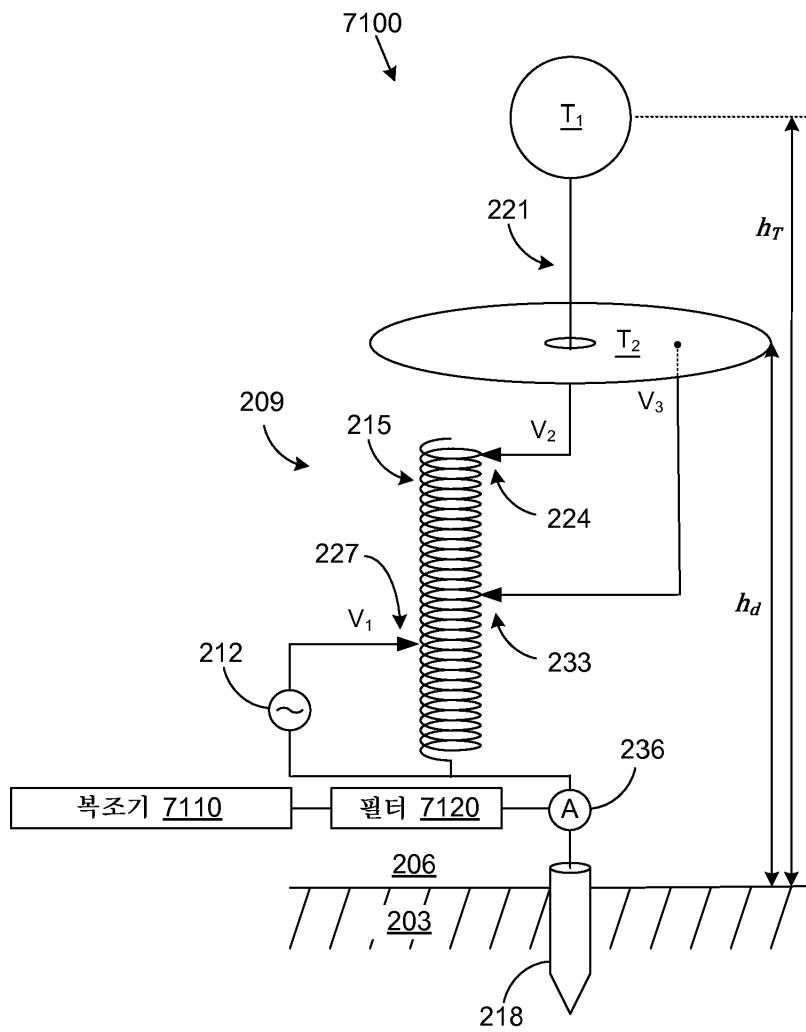


6033

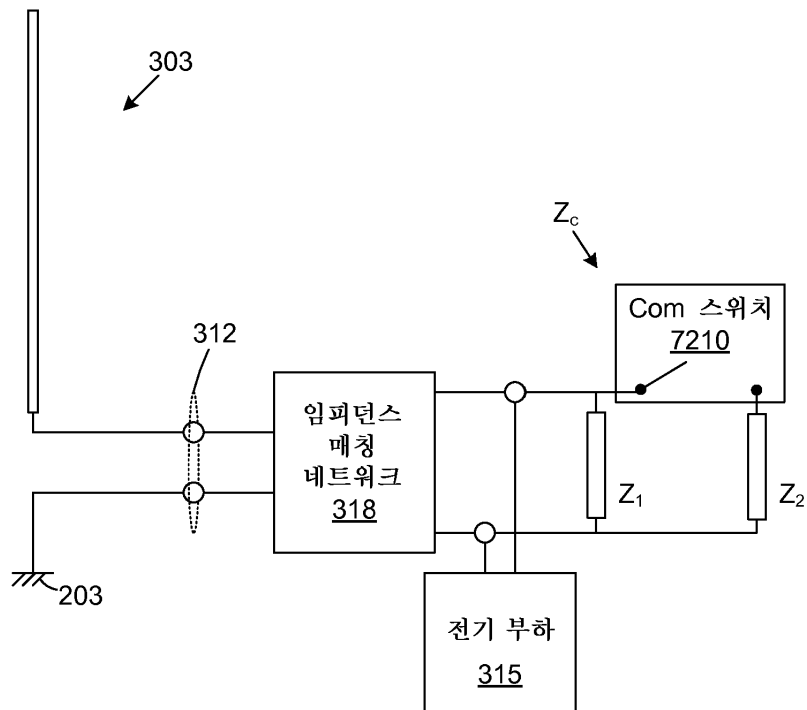
도면40



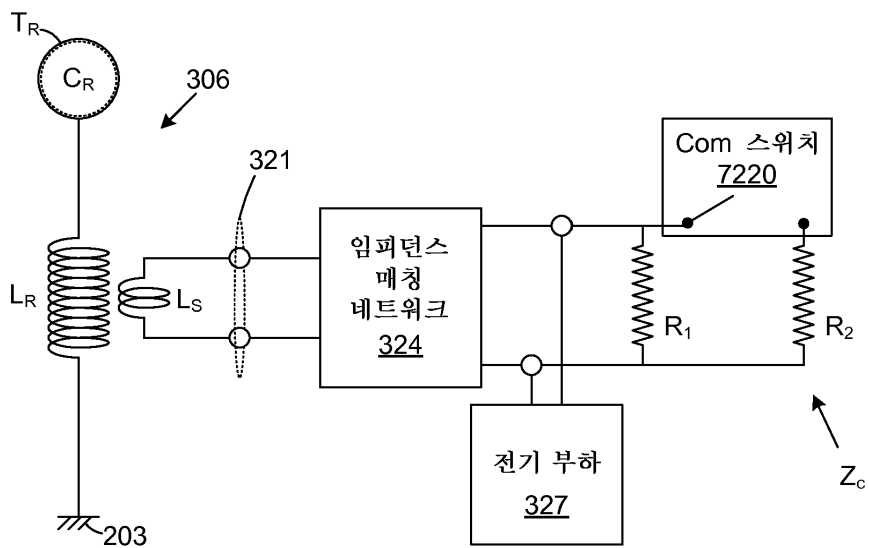
도면41



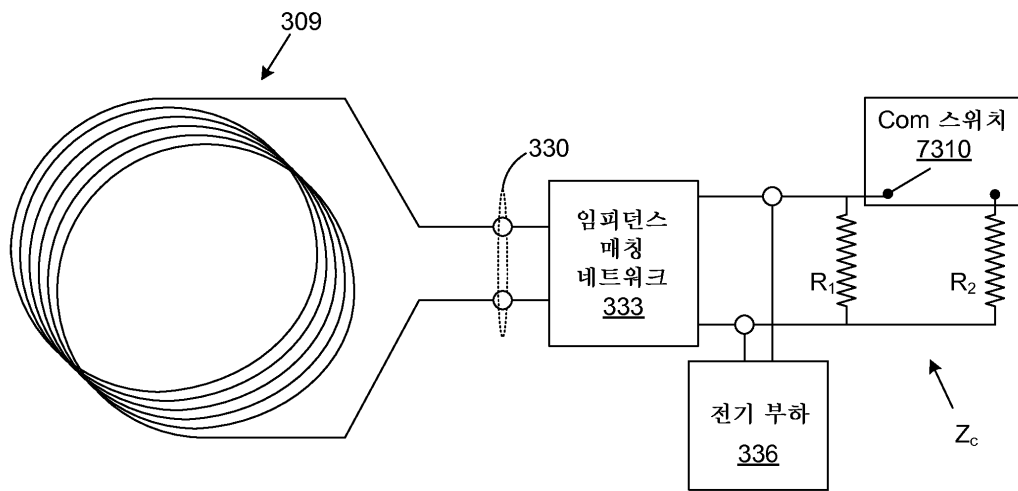
도면42a



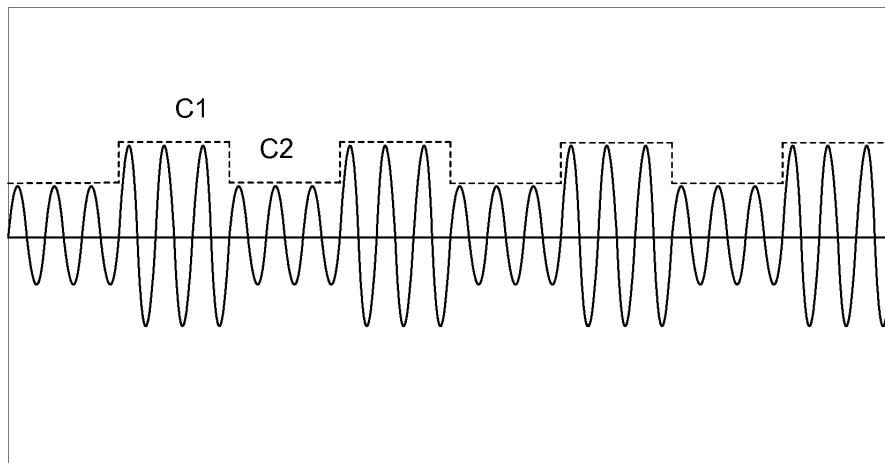
도면42b



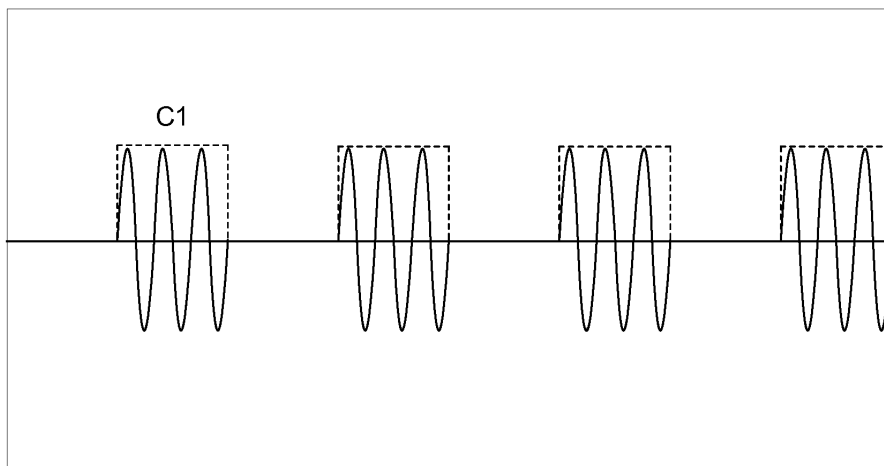
도면43



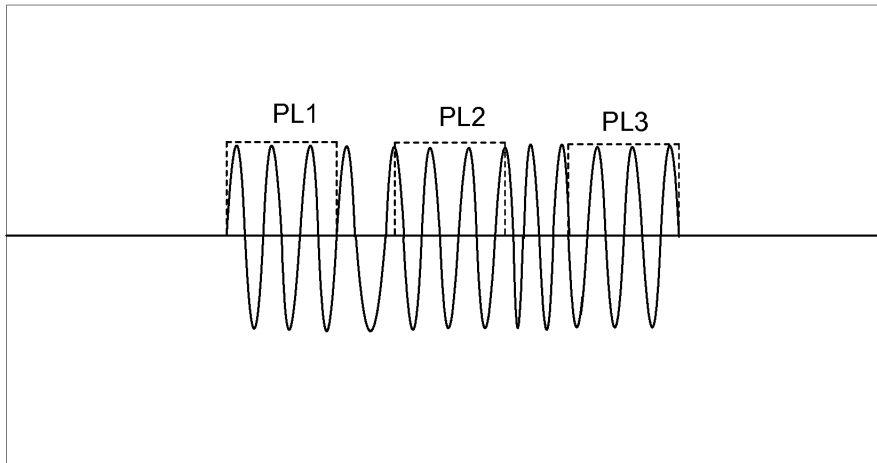
도면44a



도면44b



도면44c



도면45

