



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0065610
(43) 공개일자 2022년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 50/20 (2016.01) H02J 50/80 (2016.01)
H03H 7/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 50/20 (2016.02)
H02J 50/80 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2020-0152330
(22) 출원일자 2020년11월13일
심사청구일자 2020년11월13일

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
안승영
대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)
이범선
경기도 용인시 기흥구 신촌로47번길 11, 307동 1602호(보정동, 신촌마을 포스홈타운2단지)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김연권

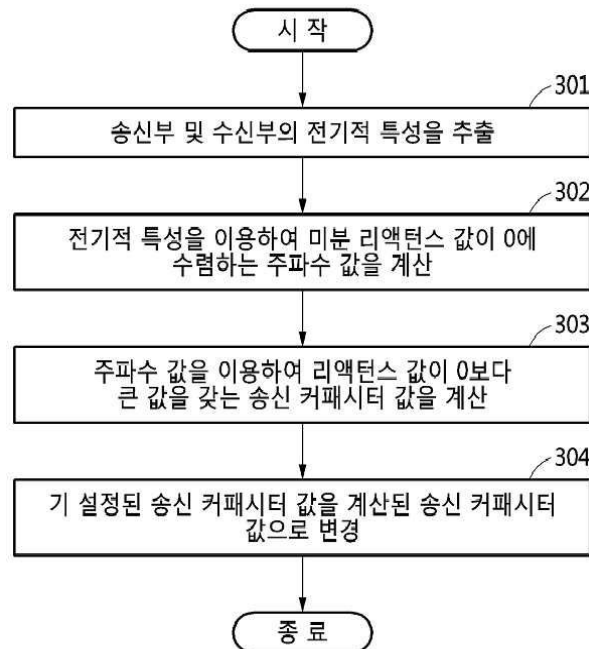
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법

(57) 요약

본 발명은 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 무선 전력 전송 시스템에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하는 기술적 사상에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 회로 분석을 통해 무선 전력 송신부의 과결합 상태에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신부 커패시터의 값을 계산하고, 계산된 송신부 커패시터의 값으로 송신부 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3



매칭 커패시터를 이용함에 따라 무선 전력 전송 시스템에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하는 기술에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따르면 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출하는 단계, 상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계, 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계 및 기 설정된 송신 커패시터 값을 상기 계산된 송신 커패시터 값으로 변경하는 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H03H 7/38 (2013.01)

(72) 발명자

김해림

대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)

김종욱

대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)

신유준

대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)

안장용

대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)

박동렬

대전광역시 유성구 문지로 193(문지동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116241
과제번호	2016-0-00291-005
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신기술인력양성/대학ICT연구센터육성지원
연구과제명	LOS/NLOS 환경에서 3차원 선택적 공간 무선전력전송 기술연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711112736
과제번호	2017R1A5A1015596
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기초연구사업/선도연구센터사업(ERC)
연구과제명	지능형 바이오메디컬 무선전력전송 연구센터
기 여 율	1/2
과제수행기관명	승실대학교
연구기간	2017.06.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법에 있어서,
송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출하는 단계;

상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계;

상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계; 및

상기 송신부의 기 설정된 송신 커패시터 값을 상기 계산된 송신 커패시터 값으로 변경하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계는

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계는,

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식을 다음 [수학적식 6]을 이용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

[수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출하는 단계는,

상기 송신부의 송신 내부 저항, 송신 커패시턴스(capacitance) 및 송신 인덕턴스(inductance) 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출하는 단계;

상기 수신부의 수신 내부 저항, 수신 커패시턴스(capacitance) 및 수신 인덕턴스(inductance) 및 부하 저항 중

적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출하는 단계; 및

상기 송신 인덕턴스(inductance), 상기 수신 인덕턴스(inductance) 및 결합 계수(coupling coefficient)와 관련된 상호 인덕턴스와 관련된 전기적 특성을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 송신 커패시턴스(capacitance)와 관련된 전기적 특성은 상기 기 설정된 송신 커패시터 값에 대응되는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계는,

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성 중 송신부의 커패시터 값을 제외한 나머지 전기적 특성과 상기 계산된 주파수 값을 대입하여 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 상기 송신 커패시터 값의 범위를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성 중 상기 송신부의 커패시터 값을 제외한 나머지 전기적 특성과 상기 계산된 주파수 값을 대입하여 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 상기 송신 커패시터 값의 범위를 계산하는 단계는

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식으로 다음 [수학적식 6]을 이용하고, [수학적식 6]에서 $\dot{U}$ 에 상기 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

[수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계는,

상기 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템의 동작 방법.

청구항 9

송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템에 있어서,

송신부;

수신부; 및

상기 송신부 및 상기 수신부의 동작을 제어하는 제어부를 포함하고,

상기 제어부는 상기 송신부 및 상기 수신부의 전기적 특성을 추출하고, 상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하며, 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하고, 상기 송신부의 기 설정된 송신 커패시터 값을 상기 계산된 송신 커패시터 값으로 변경하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제어부는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학식으로 다음 [수학식 6]을 이용하고, 다음 [수학식 6]에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템.

[수학식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 제어부는

상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학식으로 다음 [수학식 6]을 이용하고, 다음 [수학식 6]에서 ω 에 상기 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템.

[수학식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제어부는

상기 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산하는 것을 특징으로 하는

무선 전력 전송 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 무선 전력 전송 시스템에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하는 기술적 사상에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 회로 분석을 통해 무선 전력 송신부의 과결합 상태에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신부 커패시터의 값을 계산하고, 계산된 송신부 커패시터의 값으로 송신부 매칭 커패시터를 이용함에 따라 무선 전력 전송 시스템에서 발생하는 주파수 분할 현상을 완화하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 전력 전송(wireless power transfer, WPT) 기술은 충전 구조의 단순화로 인하여 편의성과 안정성이 증가하여 휴대용 전자 기기, 의료 기기, 전기 자동차, 로봇 등 다양한 분야에서 개발 및 상용화가 진행되고 있다.

[0003] 특히, 플랜트, 자동차, 기차 산업 등에서 사용되는 무인 운반 차(automated guided vehicles, AGVs) 등의 전기 자동차에서는 전력 전달 효율이 높은 수 kW 내지 수십 kW의 대 출력을 전달하는 무선 전력 전송 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0004] 자기 공명 무선 전력 전송 시스템의 무선 전력 전송 효율을 높이기 위해서는 코일 크기를 늘리거나 에어 갭을 줄여 송신부(Tx)의 코일과 수신부(Rx)의 코일 간의 결합 계수(coupling coefficient)를 높여야 한다.

[0005] 자기 결합을 이용하는 무선 전력 전송 시스템은 송신부의 코일과 수신부의 코일 간의 결합계수가 클 수록 시스템의 효율이 향상된다.

[0006] 그러나, 결합 계수를 높이면 송신부 코일과 수신부 코일 사이에 과 결합으로 인해 출력 전력이 크게 감소하는 주파수 분할 현상이 발생할 수 있다.

[0007] 즉, 결합 계수가 클 수록 송신부의 코일과 수신부의 코일이 과 결합되어 동작 주파수에서 전달 전력의 크기가 급격하게 줄어드는 주파수 분할 현상이 발생할 수 있다.

[0008] 구체적으로, 주파수 분할 현상은 시스템 작동 시에 여러 악영향을 끼친다.

[0009] 하나는 위에서 언급한 것과 같이 출력 전압의 피크 값이 무선 전력 전송 시스템의 동작 주파수 대신 동작 주파수의 양쪽으로 근접한 두 주파수에서 최대 전력이 전달되어 동작 주파수에서 전달 전력이 감소하는 것이다.

[0010] 또 다른 악영향은 주파수 분할 현상이 발생하면 시스템의 입력 임피던스가 공진주파수 이전에 0이상의 값을 갖는 유도성 영역에 위치한다.

[0011] 그리고 공진 주파수 이후 위상은 0 이하의 용량성 영역으로 이동한 후 다시 유도성 영역으로 이동하는데 이러한 특성은 무선전력전송 시스템 중 하나인 인버터의 안정성을 저하시킨다.

[0012] 시스템의 안정성을 확보하기 위해서는 공진 주파수 이후에 위상이 0 이하로 감소해서는 안된다.

[0013] 종래 기술들에 따른 무선 전력 전송 시스템은 송신부의 코일과 수신부의 코일 설계 시에 주파수 분할 현상이 발생하지 않도록 설계하며 이에 따라 시스템 효율 향상에 한계가 존재하고, 코일 설계에 제약이 발생된다.

[0014] 구체적으로, 종래 기술1에서는 주파수 분할은 회로 이론에 의해 분석되고, 결합 계수에 대한 각 주파수의 분할 점을 시스템 매개 변수에 관련시키기 위한 방정식이 도출한다.

[0015] 그리고, 주파수 분할이 출력 전력 및 전압 전달 비율에 미치는 악영향에 대하여 연구한다.

[0016] 또 다른 종래 기술인 종래 기술2에서는 주파수 분할을 제거하여 출력 전력 감소 효과를 감소시키는 코일 설계 방법을 제안한다.

[0017] 그러나, 주파수 분할 분석에 대한 이전 작업은 출력 전력에 초점을 맞추고 있고, 주파수 분할 현상 제거에 대한 연구는 코일 구조가 결합 계수 값을 줄이기 위한 방향으로 설계되었기 때문에 무선 전력 전송의 효율을 떨어뜨리고 코일 설계의 자유도를 감소시키는 단점이 존재한다.

[0018] 주파수 분할 현상의 발생이 불가피한 무선 전력 전송 시스템에서는 주파수 분할 현상 완화를 위하여 송신부에 전류 센싱을 통해 무선 전력 전송 시스템의 동작 상태를 판단하고, 비정상 동작일 경우 동작 주파수 튜닝이 가능한 회로 추가가 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0019] (특허문헌 0001) 미국등록특허 제10637,292호, "CONTROLLING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제2020-0058808호, "무선 전력 송신기"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제2020-0046313호, "무선 송신 코일 및 이를 포함하는 무선 전력 송신기"
- (특허문헌 0004) 한국등록특허 제1680997호, "무선 전력 전송 장치 및 그 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 본 발명은 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0021] 본 발명은 추가 회로 설계 없이 무선 전력 전송 시스템에서 설계되는 송신 커패시터 값을 변경하여 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 완화하는 것을 목적으로 한다.
- [0022] 본 발명은 무선 전력 전송 시 무선 전력 전송의 효율성 향상을 위해 결합 계수를 높이더라도 무선 전력 전송 시스템의 안정성을 확보하면서 높은 무선 전력 전송율을 달성하는 것을 목적으로 한다.
- [0023] 본 발명은 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 시스템을 회로적으로 분석한 후, 분석을 바탕으로 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신 커패시터 값의 범위를 결정하는 수학적식을 이용하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0024] 본 발명의 일실시예에 따른 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출하는 단계, 상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계, 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계 및 상기 송신부의 기 설정된 송신 커패시터 값을 상기 계산된 송신 커패시터 값으로 변경하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하는 단계는, 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식을 다음 [수학적식 6]을 이용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] [수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

- [0028]
- [0029] 상기 송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출하는 단계는, 상기 송신부의 송신 내부 저항, 송신 커패시턴스(capacitance) 및 송신 인덕턴스(inductance) 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출하는 단계, 상기 수신부의 수신 내부 저항, 수신 커패시턴스(capacitance) 및 수신 인덕턴스(inductance) 및 부하 저항 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출하는 단계 및 상기 송신 인덕턴스(inductance), 상기 수신 인덕턴스(inductance) 및 결합 계수(coupling coefficient)와 관련된 상호 인덕턴스와 관련된 전기적 특성을 추출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 송신 커패시턴스(capacitance)와 관련된 전기적 특성은 상기 기 설정된 송신 커패시터 값에 대응될 수 있다.

[0031] 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성 중 송신부의 커패시터 값을 제외한 나머지 전기적 특성과 상기 계산된 주파수 값을 대입하여 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 상기 송신 커패시터 값의 범위를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0032] 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성 중 상기 송신부의 커패시터 값을 제외한 나머지 전기적 특성과 상기 계산된 주파수 값을 대입하여 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 상기 송신 커패시터 값의 범위를 계산하는 단계는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식으로 다음 [수학적식 6]을 이용하고, 다음 [수학적식 6]에서 ω 에 상기 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] [수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

[0034]

[0035] 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하는 단계는, 상기 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일실시예에 따른 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템은 송신부, 수신부 및 제어부를 포함하고, 상기 제어부는 상기 송신부 및 상기 수신부의 전기적 특성을 추출하고, 상기 추출된 전기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하며, 상기 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하고, 상기 송신부의 기 설정된 송신 커패시터 값을 상기 계산된 송신 커패시터 값으로 변경할 수 있다.

[0037] 상기 제어부는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식으로 다음 [수학적식 6]을 이용하고, [수학적식 6]에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산할 수 있다.

[0038] [수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

[0039]

[0040] 상기 제어부는 상기 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식으로 다음 [수학적식 6]을 이용하고, 다음 [수학적식 6]에서 ω 에 상기 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정할 수 있다.

[0041] [수학적식 6]

$$X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2(R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2(R_2 + R_L))^2 \right)}$$

[0042]

[0043] 상기 제어부는 상기 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 본 발명은 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법을 제공할 수 있다.

[0045] 본 발명은 추가 회로 설계 없이 무선 전력 전송 시스템에서 설계되는 송신 커패시터 값만을 변경하여 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 완화할 수 있다.

[0046] 본 발명은 무선 전력 전송 시 무선 전력 전송의 효율성 향상을 위해 결합 계수를 높여더라도 무선 전력 전송 시스템의 안정성을 확보하면서 높은 무선 전력 전송율을 달성할 수 있다.

[0047] 본 발명은 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 시스템을 회로적으로 분석한 후, 분석을 바탕으로 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신 커패시터 값의 범위를 결정하는 수학적식을 이용하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로를 설명하는 도면이다.

도 2a 내지 도 2c는 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 설명하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법을 설명하는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 블록도를 설명하는 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 매칭 결과를 설명하는 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템에서 송신부 커패시터 값의 매칭 결과를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0049] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0050] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0051] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0052] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0053] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0054] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0056] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0058] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로를 설명하는 도면이다.

[0059] 도 1을 참고하면, 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로(100)는 송신부(110)와 수신부(120)를 포함한다.

[0060] 송신부(110)는 송신 코일로 지칭될 수 있고, 수신부(120)는 수신 코일로 지칭될 수 있다.

[0061] 본 발명의 일실시예에 따르면 송신부(110)는 송신 전압(V_1), 송신 전류(I_1), 송신 커패시턴스(C_1), 송신 저항(R_1) 및 송신 인덕턴스(L_1)가 전기적 특성으로 추출될 수 있다.

[0062] 일례로, 수신부(120)는 수신 전류(I_2), 수신 커패시턴스(C_2), 수신 저항(R_2), 수신 인덕턴스(L_2) 및 부하 저항(R_L)가 전기적 특성으로 추출될 수 있다.

[0063] 본 발명의 일실시예에 따르면 송신부(110)와 수신부(120) 사이의 상호 인덕턴스(mutual inductance)는 하기 [수학식 1]을 통해 계산될 수 있다.

[0065] [수학식 1]

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

[0066]

[0068] [수학식 1]에서, M 은 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 나타낼 수 있고, k 는 커플링 계수(coupling coefficient)를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있다.

[0069] 본 발명의 일실시예에 따르면 입력 임피던스(Z_{in})는 송신부(110)와 수신부(120)에서의 키르히호프 법칙(Kirchhoff's circuit laws)에 따라 하기 [수학식 2]로 도출될 수 있다.

[0071] [수학식 2]

$$Z_{in} = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + R_L + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2}$$

[0072]

[0074] [수학식 2]에서, Z_{in} 은 입력 임피던스를 나타낼 수 있고, R_1 은 송신부의 내부 저항(internal resistance)을 나타낼 수 있으며, R_2 는 수신부의 내부 저항을 나타낼 수 있고, R_L 은 부하 저항(inductance resistance)을 나타낼 수 있으며, C_1 은 송신부의 커패시턴스(capacitance)를 나타낼 수 있고, C_2 는 수신부의 커패시턴스를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있으며, ω 는 각 진동수와 관련된 주파수를 나타낼 수 있고, M 은 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 나타낼 수 있다.

[0075] 본 발명의 일실시예에 따르면 무선 전력 전송 시스템의 등가 회로(100)는 송신부의 내부 저항, 수신부의 내부 저항, 부하 저항(inductance resistance), 송신부의 커패시턴스(capacitance), 수신부의 커패시턴스(capacitance), 송신부의 인덕턴스(inductance), 수신부의 인덕턴스, ω 는 각 진동수와 관련된 주파수 및 상호 인덕턴스(mutual inductance)와 관련된 적어도 하나의 전기적 특성을 제공할 수 있다.

[0076] 예를 들어, 송신부의 커패시턴스(capacitance)가 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 변경될 경우, 송신부의 커패시턴스가 변경되면 송신부의 인덕턴스(inductance)가 변경될 수 있다.

패시터가 변경될 수 있는데, 이때 이용되는 커패시터가 송신부 매칭 커패시터일 수 있다.

- [0077] 일례로, 입력 임피던스는 동작 주파수에서 증가될 경우, 동작 주파수에 인접한 주파수에서 임피던스가 감소하기 때문에 출력 전력은 동작 주파수에서 최대가 될 수 있다.
- [0078] 예를 들어, 동작 주파수는 공진 주파수로 지칭될 수 있고, 약 60 kHz일 수 있다.
- [0080] 도 2a 내지 도 2c는 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 설명하는 도면이다.
- [0081] 도 2a는 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상과 관련하여 입력 임피던스의 위상과 극 주파수들을 비교 설명한다.
- [0082] 도 2a의 그래프(200)를 참고하면, 그래프(200)의 가로축은 주파수의 크기를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 위상을 나타낼 수 있다.
- [0083] 그래프(200)에서 입력 임피던스의 위상은 동작 주파수에서 0이지만 동작 주파수 이전에는 유도성 영역(inductive region)에 위치하고, 동작 주파수 이후에는 용량성 영역(capacitance region)에 위치한다.
- [0084] 그래프(200)에서 제1 극 주파수(f_1)와 제2 극 주파수(f_2)가 입력 임피던스의 위상 값에서 0보다 크거나 0보다 작게 분할되는 주파수 분할 현상이 확인된다.
- [0085] 여기서, 동작 주파수를 기준으로 제1 극 주파수(f_1)는 유도성 영역에 위치하고, 제2 극 주파수(f_2)는 용량성 영역에 위치한다고 볼 수 있다.
- [0086] 즉, 제2 극 주파수(f_2)에 해당하는 입력 임피던스의 위상 값이 0보다 작음에 따라 주파수 분할 현상이 발생될 수 있다.
- [0087] 한편, 도 2b는 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상과 관련하여 입력 임피던스의 리액턴스와 극 주파수들을 비교 설명한다.
- [0088] 도 2a의 그래프(210)를 참고하면, 그래프(210)의 가로축은 주파수의 크기를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 리액턴스를 나타낼 수 있다.
- [0089] 그래프(210)에서 입력 임피던스의 리액턴스는 동작 주파수에서 0이지만 동작 주파수 이전에는 유도성 영역(inductive region)에 위치하고, 동작 주파수 이후에는 용량성 영역(capacitance region)에 위치한다.
- [0090] 그래프(200)에서 제1 극 주파수(f_1)와 제2 극 주파수(f_2)가 입력 임피던스의 리액턴스 값에서 0보다 크거나 0보다 작게 분할되는 주파수 분할 현상이 확인된다.
- [0091] 여기서, 동작 주파수를 기준으로 제1 극 주파수(f_1)는 유도성 영역에 위치하고, 제2 극 주파수(f_2)는 용량성 영역에 위치한다고 볼 수 있다.
- [0092] 즉, 제2 극 주파수(f_2)에 해당하는 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 작음에 따라 주파수 분할 현상이 발생될 수 있다.
- [0093] 다음으로, 도 2c는 주파수 분할 현상이 발생되지 않은 무선 전력 전송 시스템에서의 입력 임피던스의 위상 변화와 주파수 분할 현상이 발생된 무선 전력 전송 시스템에서의 입력 임피던스의 위상 변화를 비교 설명한다.
- [0094] 도 2c의 그래프(220)를 참고하면, 가로축은 주파수의 크기를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 위상을 나타낼 수 있다.
- [0095] 일례로, 지시선(221)은 주파수 분할 현상이 발생되지 않은 무선 전력 전송 시스템에서 입력 임피던스의 위상 변화를 나타내고, 지시선(222)은 무선 전력 전송 시스템에서 입력 임피던스의 위상 변화를 나타낸다.
- [0096] 인버터의 스위칭 주파수는 제로 전압 스위칭을 위한 동작 주파수보다 높게 선택하고 입력 임피던스의 제로 또는 유도 영역에 배치되어야 한다.
- [0097] 인버터의 스위칭 주파수가 입력 임피던스의 위상이 0 미만인 용량성 영역에서 작동하면 스위칭 손실이 발생하고 장치가 손상될 수 있다.

- [0098] 주파수 분할의 경우 위상이 동작 주파수 이후 용량성 영역으로 떨어지기 때문에 스위칭 주파수를 선택하기가 어렵다.
- [0099] 따라서, 인버터의 스위칭 주파수 선택 감도를 낮추고 시스템의 안정적인 동작을 보장하기 위해서는 동작 주파수 이후에도 입력 임피던스의 위상이 유도 성 영역에 있도록 무선 전력 전송 시스템의 설계가 요구된다.
- [0101] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법을 설명하는 도면이다.
- [0102] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 송신부 매칭 커패시터를 이용하여 주파수 분할 현상을 완화하는 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법이 추가 회로 설계 없이 송신 커패시터 값을 변경하여 주파수 분할 현상을 완화하는 실시예를 설명한다.
- [0103] 구체적으로, 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 수학적식을 이용하여 송신부 매칭 커패시터 값을 계산하고, 송신부의 커패시터 값을 송신부 매칭 커패시터 값으로 변경하여 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 완화한다.
- [0104] 단계(301)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 송신부 및 수신부의 전기적 특성을 추출한다.
- [0105] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 송신부의 송신 내부 저항, 송신 커패시턴스(capacitance) 및 송신 인덕턴스(inductance) 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성, 수신부의 수신 내부 저항, 수신 커패시턴스(capacitance) 및 수신 인덕턴스(inductance) 및 부하 저항 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성 및 송신 인덕턴스(inductance), 수신 인덕턴스(inductance) 및 결합 계수(coupling coefficient)와 관련된 상호 인덕턴스와 관련된 전기적 특성을 추출할 수 있다.
- [0106] 단계(302)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 단계(301)에서 추출된 전기적 특성을 이용하여 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산한다.
- [0107] 여기서, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하기 위해 허 수부와 실수부로 구성된 하기 [수학식 3]을 도출한다.
- [0109] [수학식 3]
- [0110]
$$Z_{in} = \frac{BC^2F + BD^2F + DEF}{(CF)^2 + (DF)^2} + j \frac{-AC^2F - AD^2F + CEF}{(CF)^2 + (DF)^2}$$
- [0111] $(A = 1 - \omega^2 L_1 C_1, B = \omega C_1 R_1, C = 1 - \omega^2 L_2 C_2, D = \omega C_2 (R_2 + R_L), E = \omega^4 M^2 C_1 C_2, F = \omega C_1)$
- [0113] [수학식 3]은 식의 간략화를 위하여 괄호와 같이 문자(A, B, C, D, E, F)로 대체한다.
- [0114] [수학식 3]에서 Z_{in} 은 입력 임피던스를 나타낼 수 있고, R_1 은 송신부의 내부 저항(internal resistance)을 나타낼 수 있으며, R_2 는 수신부의 내부 저항을 나타낼 수 있고, R_L 은 부하 저항(inductance resistance)을 나타낼 수 있으며, C_1 은 송신부의 커패시턴스(capacitance)를 나타낼 수 있고, C_2 는 수신부의 커패시턴스를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있으며, ω 는 주파수를 나타낼 수 있고, M 은 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 나타낼 수 있다.
- [0115] [수학식 3]은 입력 임피던스의 레지스턴스와 리액턴스를 나타낼 수 있고, [수학식 3]에서 하기 [수학식 4]는 입력 임피던스의 위상을 나타낼 수 있고, [수학식 5]는 입력 임피던스의 리액턴스를 나타낼 수 있다.

[0117] [수학식 4]

$$[0118] \text{Phase of } Z_{in} = \tan^{-1} \left(\frac{-A^2CF - AD^2F + CEF}{BC^2F + BD^2F + DEF} \right) (\text{radian})$$

$$[0119] (A = 1 - \omega^2 L_1 C_1, B = \omega C_1 R_1, C = 1 - \omega^2 L_2 C_2, D = \omega C_2 (R_2 + R_L), E = \omega^4 M^2 C_1 C_2, F = \omega C_1)$$

[0121] [수학식 4]는 식의 간략화를 위하여 괄호와 같이 문자(A, B, C, D, E, F)로 대체한다.

[0122] [수학식 4]에서 phase of Z_{in} 은 입력 임피던스의 위상을 나타낼 수 있고, R_1 은 송신부의 내부 저항(internal resistance)을 나타낼 수 있으며, R_2 는 수신부의 내부 저항을 나타낼 수 있고, R_L 은 부하 저항(inductance resistance)을 나타낼 수 있으며, C_1 은 송신부의 커패시턴스(capacitance)를 나타낼 수 있고, C_2 는 수신부의 커패시턴스를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있으며, ω 는 주파수를 나타낼 수 있고, M은 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 나타낼 수 있다.

[0124] [수학식 5]

$$[0125] X = \frac{-AC^2F - AD^2F + CEF}{(CF)^2 + (DF)^2}$$

$$[0126] (A = 1 - \omega^2 L_1 C_1, B = \omega C_1 R_1, C = 1 - \omega^2 L_2 C_2, D = \omega C_2 (R_2 + R_L), E = \omega^4 M^2 C_1 C_2, F = \omega C_1)$$

[0128] [수학식 5]는 식의 간략화를 위하여 괄호와 같이 문자(A, B, C, D, E, F)로 대체한다.

[0129] [수학식 5]에서 X는 입력 임피던스의 리액턴스를 나타낼 수 있고, R_1 은 송신부의 내부 저항(internal resistance)을 나타낼 수 있으며, R_2 는 수신부의 내부 저항을 나타낼 수 있고, R_L 은 부하 저항(inductance resistance)을 나타낼 수 있으며, C_1 은 송신부의 커패시턴스(capacitance)를 나타낼 수 있고, C_2 는 수신부의 커패시턴스를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있으며, ω 는 주파수를 나타낼 수 있고, M은 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 나타낼 수 있다.

[0130] [수학식 5]에서 간략화된 문자(A, B, C, D, E, F)를 식에 적용하면 하기 [수학식 6]이 도출될 수 있다.

[0131] [수학식 6]

$$[0132] X = \frac{\omega C_1 \left(-(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 - (1 - \omega^2 L_1 C_1 + j\omega C_1 R_1)(\omega C_2 (R_2 + R_L))^2 + (1 - \omega^2 L_2 C_2)(\omega^4 M^2 C_1 C_2) \right)}{(\omega C_1)^2 \left((1 - \omega^2 L_2 C_2)^2 + (\omega C_2 (R_2 + R_L))^2 \right)}$$

[0134] [수학식 6]에서 X는 입력 임피던스의 리액턴스를 나타낼 수 있고, R_1 은 송신부의 내부 저항(internal resistance)을 나타낼 수 있으며, R_2 는 수신부의 내부 저항을 나타낼 수 있고, R_L 은 부하 저항(inductance resistance)을 나타낼 수 있으며, C_1 은 송신부의 커패시턴스(capacitance)를 나타낼 수 있고, C_2 는 수신부의 커패시턴스를 나타낼 수 있으며, L_1 은 송신부의 인덕턴스(inductance)를 나타낼 수 있고, L_2 는 수신부의 인덕턴스를 나타낼 수 있으며, ω 는 각 진동수와 관련된 주파수를 나타낼 수 있고, M은 상호 인덕턴스(mutual

inductance)를 나타낼 수 있다.

- [0135] 보다 구체적으로, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 상기 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 상기 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산하되, 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식을 상술한 [수학식 6]을 이용한다.
- [0136] 즉, 본 발명은 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 시스템을 회로적으로 분석한 후, 분석을 바탕으로 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신 커패시터 값의 범위를 구하는 [수학식 6]을 이용한다.
- [0137] 따라서, 본 발명은 추가 회로 설계 없이 기존의 고효율 공진형 무선 전력 전송 시스템에서 설계된 송신 커패시터 값만을 변경하여 주파수 분할 현상을 완화할 수 있다.
- [0138] 또한, 본 발명은 무선 전력 전송 시 높은 효율을 위해 결합 계수를 높이더라도 시스템이 안정적이고 높은 전력을 전달할 수 있다.
- [0139] 단계(303)에서 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 단계(302)에서 계산된 주파수 값을 이용하여 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산한다.
- [0140] 즉, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식에 추출된 전기적 특성 중 송신부의 커패시터 값을 제외한 나머지 전기적 특성과 계산된 주파수 값을 대입하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값의 범위를 계산한다.
- [0141] 구체적으로, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학적식을 상술한 [수학식 6]을 이용하고, [수학식 6]에서 $\dot{U}$ 에 상기 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정하고, C_1 의 범위 중 시스템의 높은 효율을 위하여 C_1 의 범위에서 가장 작은 값을 송신 커패시터 값으로 결정한다.
- [0142] 예를 들어, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산할 수 있다.
- [0143] 단계(304)에서 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 단계(303)에서 계산된 송신 커패시터 값으로 기 설정된 송신 커패시터 값을 대체한다.
- [0144] 즉, 무선 전력 전송 시스템의 동작 방법은 단계(303)에서 계산된 송신 커패시터 값에 해당하는 송신부 매칭 커패시터를 이용한다.
- [0145] 따라서, 본 발명은 추가 회로 설계 없이 무선 전력 전송 시스템에서 설계되는 송신 커패시터 값만을 변경하여 무선 전력 전송 시스템의 주파수 분할 현상을 완화할 수 있다.
- [0146] 또한, 본 발명은 무선 전력 전송 시 무선 전력 전송의 효율성 향상을 위해 결합 계수를 높이더라도 무선 전력 전송 시스템의 안정성을 확보하면서 높은 무선 전력 전송율을 달성할 수 있다.
- [0148] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 블록도를 설명하는 도면이다.
- [0149] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 구성 요소를 예시한다.
- [0150] 도 4를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템(400)은 송신부(410), 수신부(420) 및 제어부(430)를 포함한다.
- [0151] 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템(400)은 추가 회로 설계 없이 송신 커패시터 값만을 변경하여 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 송신부 매칭 커패시터의 커패시터 값에 해당하는 커패시터 값을 상술한 [수학식 6]을 이용하여 계산하고, 계산된 커패시터 값에 해당하는 송신부 매칭 커패시터를 선택적으로 사용하여 무선 전력 전송 시스템(400)에서의 주파수 분할 현상을 완화할 수 있다.
- [0152] 일례로, 송신부(410)는 무선 전력을 수신부(420)로 전송한다.
- [0153] 예를 들어, 송신부(410)는 송신 코일에 해당될 수 있고, 수신부(420)는 수신 코일에 해당될 수 있다.
- [0154] 본 발명의 일실시예에 따르면 제어부(430)는 송신부(410) 및 수신부(420)의 전기적 특성을 추출하고, 추출된 전

기적 특성을 이용하여 입력 임피던스의 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산한다.

- [0155] 또한, 제어부(430)는 계산된 주파수 값을 이용하여 입력 임피던스의 리액턴스 값이 0보다 큰 값을 갖는 송신 커패시터 값을 계산하고, 송신부(410)의 기 설정된 송신 커패시터 값을 [수학식 6]을 이용하여 계산된 송신 커패시터 값으로 변경한다.
- [0156] 즉, 제어부(430)는 송신부 매칭 커패시터가 이용될 수 있도록 송신부 매칭 커패시터의 송신 커패시터 값을 계산하고, 계산된 송신 커패시터 값을 제시한다.
- [0157] 본 발명의 일실시예에 따르면 제어부(430)는 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학식으로 [수학식 6]을 이용하고, [수학식 6]에 추출된 전기적 특성을 대입하고 미분하여 미분 리액턴스 값이 0에 수렴하는 주파수 값을 계산한다.
- [0158] 일례로, 제어부(430)는 입력 임피던스의 리액턴스 값을 계산하기 위한 수학식으로 [수학식 6]을 이용하고, [수학식 6]에서 ω 에 계산된 주파수 값을 대입하고, C_1 을 미지수로 하며, X 가 0 이상이 되는 C_1 의 범위를 결정할 수 있다.
- [0159] 따라서, 제어부(430)는 송신 커패시터 값의 범위를 152.57 nF 이상으로 계산할 수 있다.
- [0160] 상술한 송신 커패시터 값의 범위는 152.57 nF이상의 범위에서 효율성을 고려하여 선택적으로 결정 가능하다. 즉, 계산된 송신 커패시터 값은 152.57 nF이상으로 결정되면 된다.
- [0161] 다시 말해, 송신 커패시터 값은 무선 전력 전송 시스템의 효율성을 고려하여 계산된 송신 커패시터 값의 범위 내에서 최소 값으로 결정될 수 있다.
- [0162] 본 발명의 일실시예에 따르면 제어부(430)는 송신 커패시터 값의 범위를 제공함에 따라 제공된 송신 커패시터 값을 갖는 송신부 매칭 커패시터를 이용한다.
- [0163] 본 발명의 일실시예에 따르면 제어부(430)는 송신부(410)의 송신 내부 저항, 송신 커패시턴스(capacitance) 및 송신 인덕턴스(inductance) 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출할 수 있다.
- [0164] 또한, 제어부(430)는 수신부(420)의 수신 내부 저항, 수신 커패시턴스(capacitance) 및 수신 인덕턴스(inductance) 및 부하 저항 중 적어도 하나와 관련된 전기적 특성으로 추출할 수 있다.
- [0165] 또한, 제어부(430)는 송신 인덕턴스(inductance), 수신 인덕턴스(inductance) 및 결합 계수(coupling coefficient)와 관련된 상호 인덕턴스와 관련된 전기적 특성을 추출할 수 있다.
- [0166] 따라서, 본 발명은 주파수 분할 현상을 완화하기 위해 시스템을 회로적으로 분석한 후, 분석을 바탕으로 주파수 분할 현상을 완화하기 위한 송신 커패시터 값의 범위를 결정하는 수학식을 이용하는 무선 전력 전송 시스템 및 그 동작 방법을 제공할 수 있다.
- [0168] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 매칭 결과를 설명하는 도면이다.
- [0169] 구체적으로, 도 5a 및 도 5b는 무선 전력 전송 시스템에서 송신부 매칭 커패시터를 이용함에 따라 주파수 분할 현상이 완화된 결과를 예시한다.
- [0170] 도 5a의 그래프(500)를 참고하면, 그래프(500)의 가로축은 주파수 변화를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 위상 변화를 나타낸다.
- [0171] 그래프(500)는 송신 커패시터 값(C_1)이 114 nF인 경우와 153 nF인 경우에서 입력 임피던스의 위상 변화를 비교한다.
- [0172] 그래프(500)를 참고하면, 송신 커패시터 값이 114 nF인 경우는 주파수 분할 현상이 발생되는 공진주파수를 고려하여 계산된 기존 송신 커패시터에 해당되고, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 본 발명의 일실시예에 따라 송신부 매칭 커패시터 값이 이용된 경우에 해당될 수 있다.
- [0173] 송신 커패시터 값이 114 nF인 경우는 동작 주파수를 기준으로 주파수가 두 개의 극을 갖는 주파수 중 하나의 주파수에서 입력 임피던스의 위상이 0보다 낮다.

- [0174] 반면에, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 동작 주파수를 기준으로 두 개의 극을 갖는 주파수의 입력 임피던스의 위상이 모두 0보다 크다.
- [0175] 따라서, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 입력 임피던스의 위상이 0 미만인 용량성 영역에서 작동하지 않아서 스위칭 손실이 발생되지 않는다.
- [0176] 다시 말해, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 입력 임피던스의 위상이 0 아래로 내려가지 않아서 주파수 분할 현상이 완화된다.
- [0177] 한편, 도 5b의 그래프(510)를 참고하면, 그래프(510)의 가로축은 주파수 변화를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 리액턴스 변화를 나타낸다.
- [0178] 그래프(510)는 송신 커패시터 값(C_1)이 114 nF인 경우와 153 nF인 경우에서 입력 임피던스의 리액턴스 변화를 비교한다.
- [0179] 그래프(510)를 참고하면, 송신 커패시터 값이 114 nF인 경우는 주파수 분할 현상이 발생하는 기존 커패시터에 해당될 수 있고, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 본 발명의 일실시예에 따라 송신부 매칭 커패시터 값이 이용된 경우에 해당될 수 있다.
- [0180] 송신 커패시터 값이 114 nF인 경우는 동작 주파수를 기준으로 두 개의 극을 갖는 주파수 중 하나의 주파수에서 입력 임피던스의 리액턴스가 0 보다 낮다.
- [0181] 반면에, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 동작 주파수를 기준으로 두 개의 극을 갖는 주파수 모두 입력 임피던스의 리액턴스가 0 보다 크다.
- [0182] 따라서, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 입력 임피던스의 리액턴스가 0 미만인 용량성 영역에서 작동하지 않아서 스위칭 손실이 발생되지 않는다.
- [0183] 다시 말해, 송신 커패시터 값이 153 nF인 경우는 송신 커패시터 값이 114 nF인 경우에 대비하여 주파수 분할 현상이 완화된다.
- [0185] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템에서 송신부 커패시터 값의 매칭 결과를 설명하는 도면이다.
- [0186] 구체적으로, 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템에서 송신부 커패시터 값에 따른 시뮬레이션 결과와 실제 측정 결과를 비교 설명한다.
- [0187] 도 6a를 참고하면, 그래프(600)는 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 값이 108 nF인 경우를 예시하고, 가로축은 주파수 변화를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 위상 변화를 나타낸다.
- [0188] 그래프(600)를 참고하면, 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 값이 108 nF인 경우에 대하여 실제 측정 결과와 시뮬레이션 결과 모두 주파수 분할 현상이 발생됨을 확인 시켜준다.
- [0189] 도 6b를 참고하면, 그래프(610)는 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 값이 156 nF인 경우를 예시하고, 가로축은 주파수 변화를 나타내고, 세로축은 입력 임피던스의 위상 변화를 나타낸다.
- [0190] 그래프(610)를 참고하면, 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 값이 185 nF인 경우에 대하여 실제 측정 결과와 시뮬레이션 결과 모두 주파수 분할 현상이 완화된 것을 확인 시켜준다.
- [0191] 예를 들어, 무선 전력 전송 시스템의 송신부 커패시터 값이 156 nF인 경우 시뮬레이션 결과는 코일 대 코일의 성능이 90.55%로 확인될 수 있고, 실제 측정 결과는 코일 대 코일의 성능이 92.47%로 확인될 수 있다.
- [0193] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적

컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0194] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0195] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장될 수 있다.

[0196] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

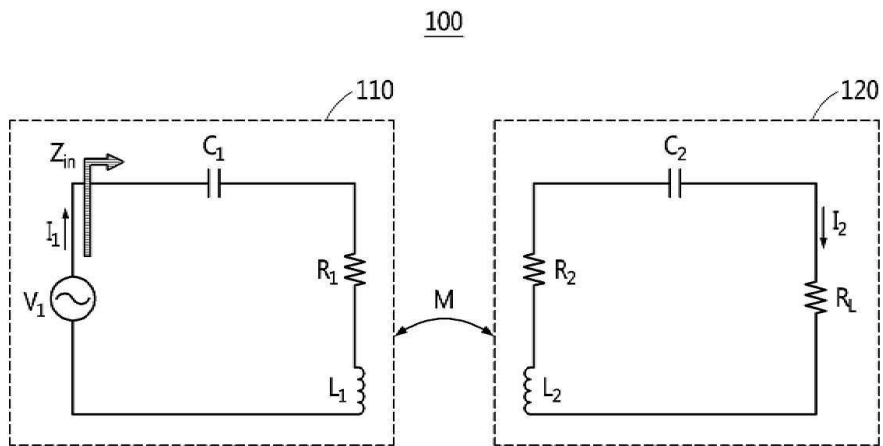
[0197] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

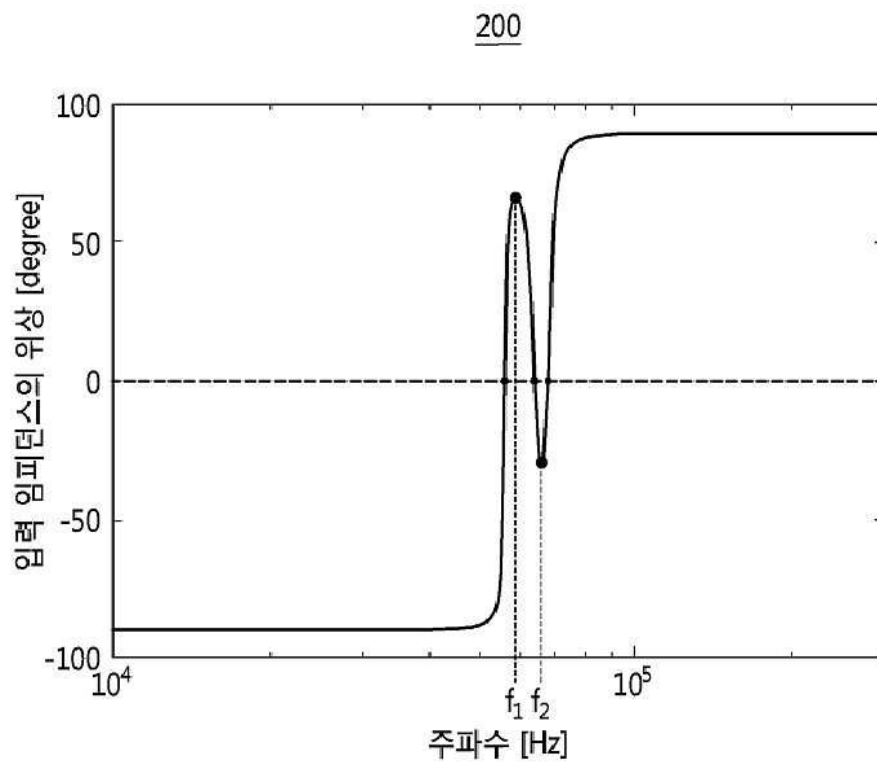
[0198] 400: 무선 전력 전송 시스템
410: 송신부 420: 수신부
430: 제어부

도면

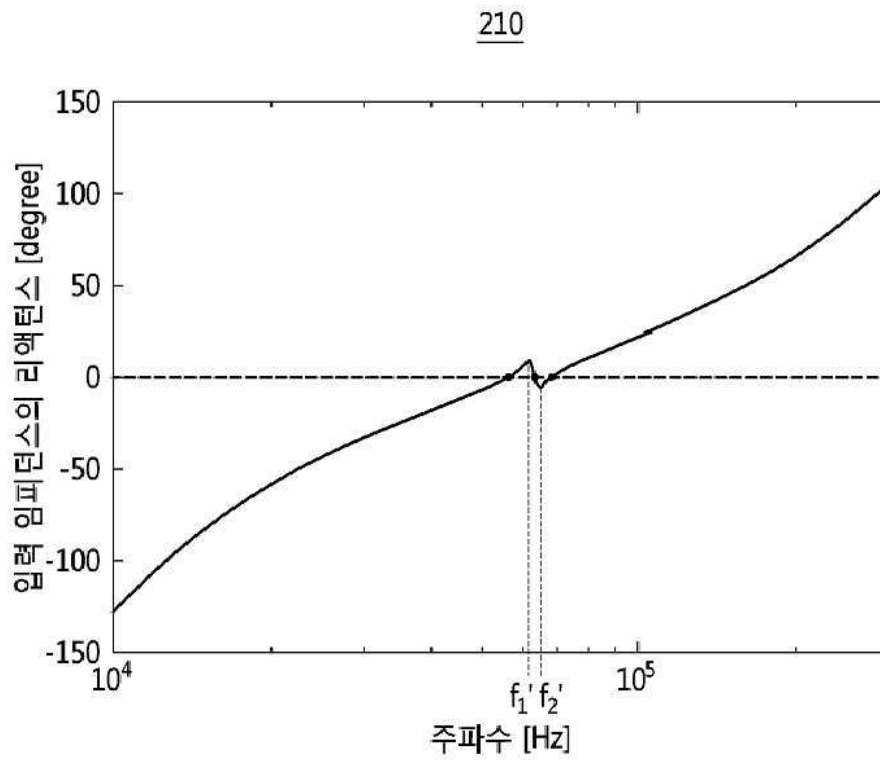
도면1



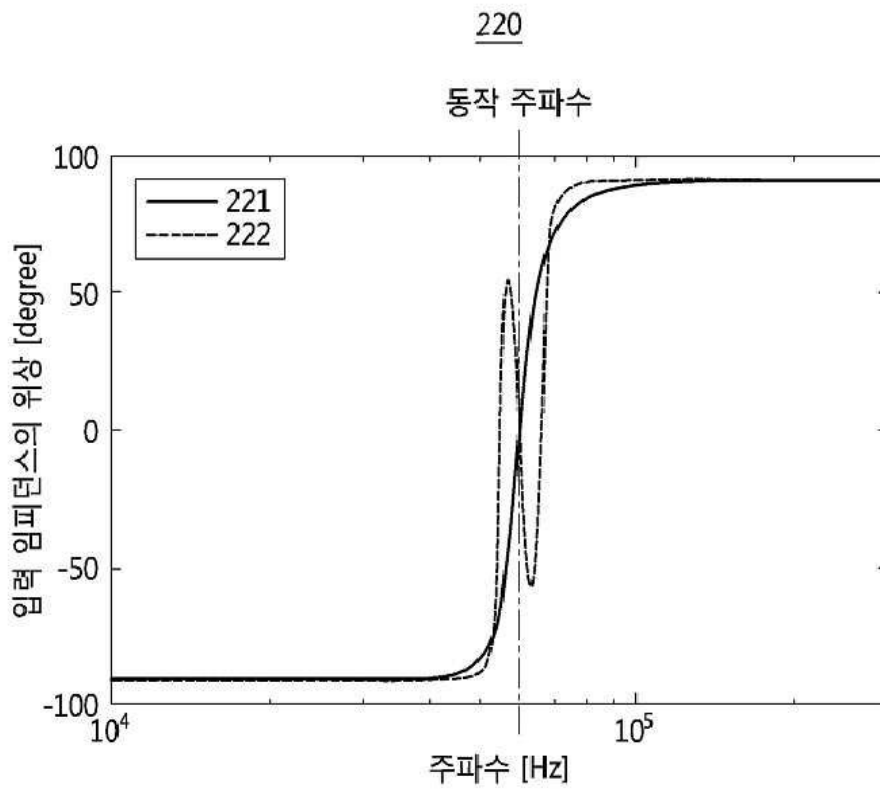
도면2a



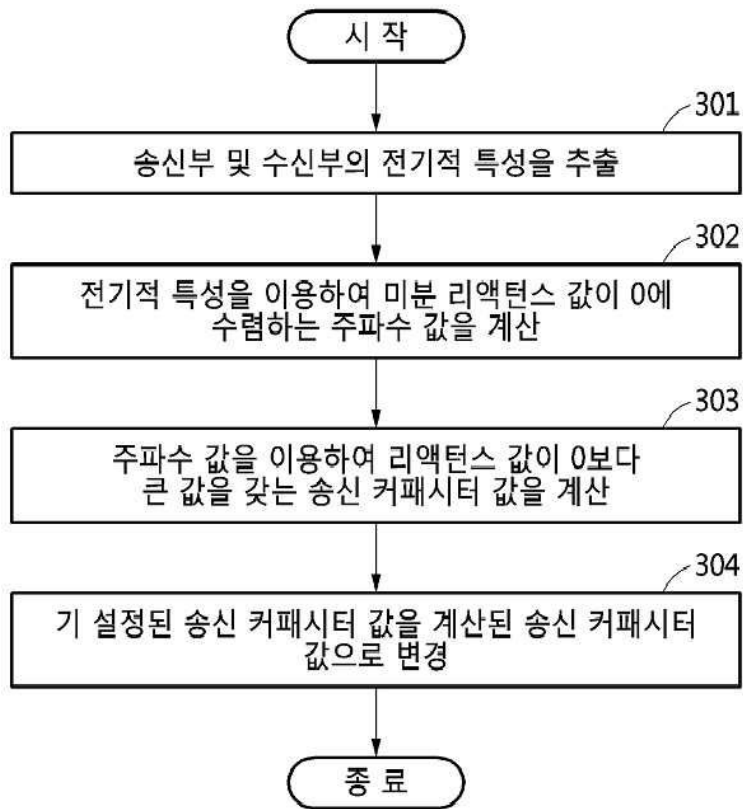
도면2b



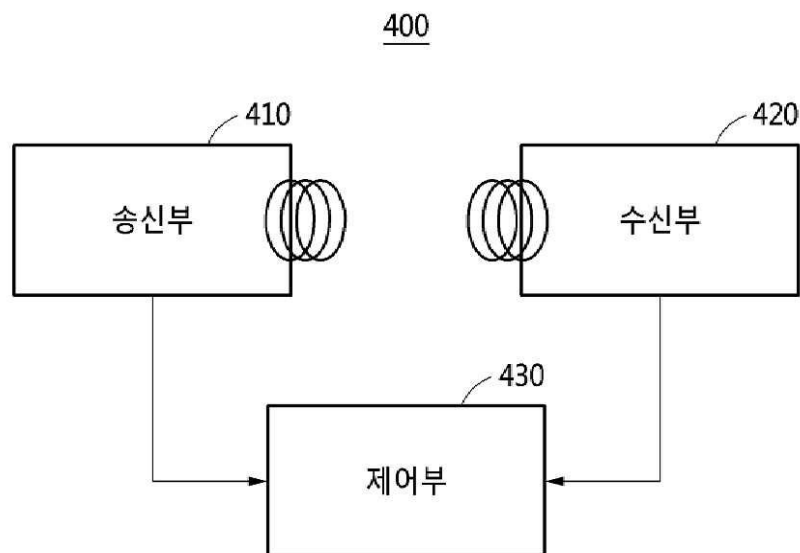
도면2c



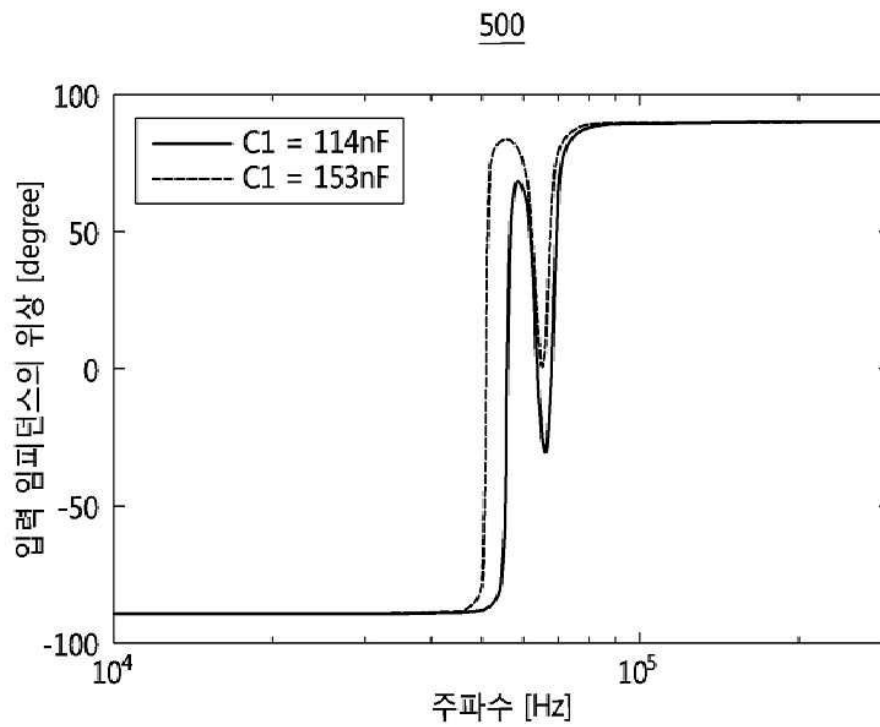
도면3



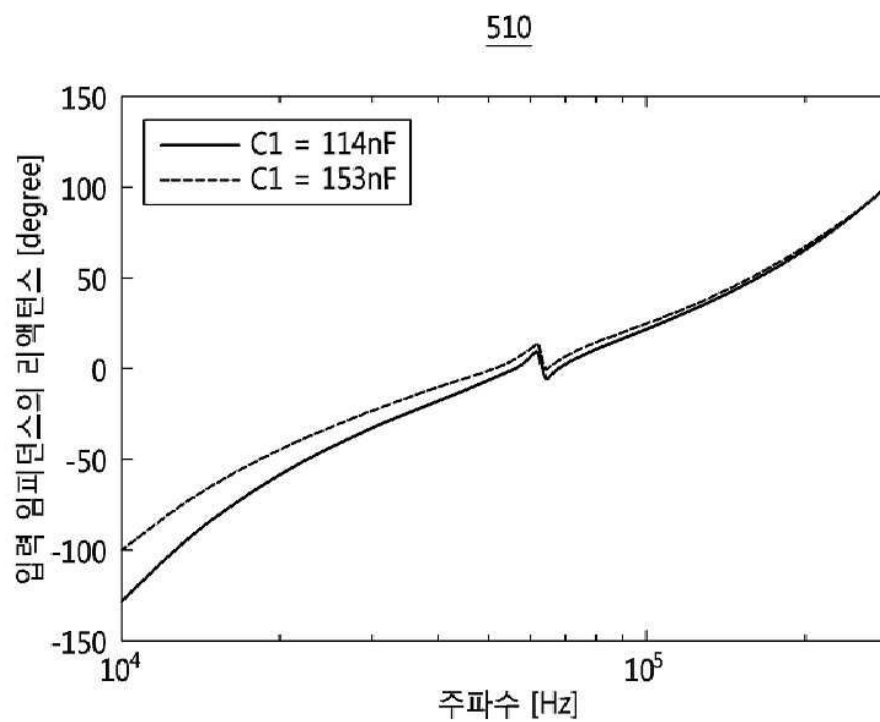
도면4



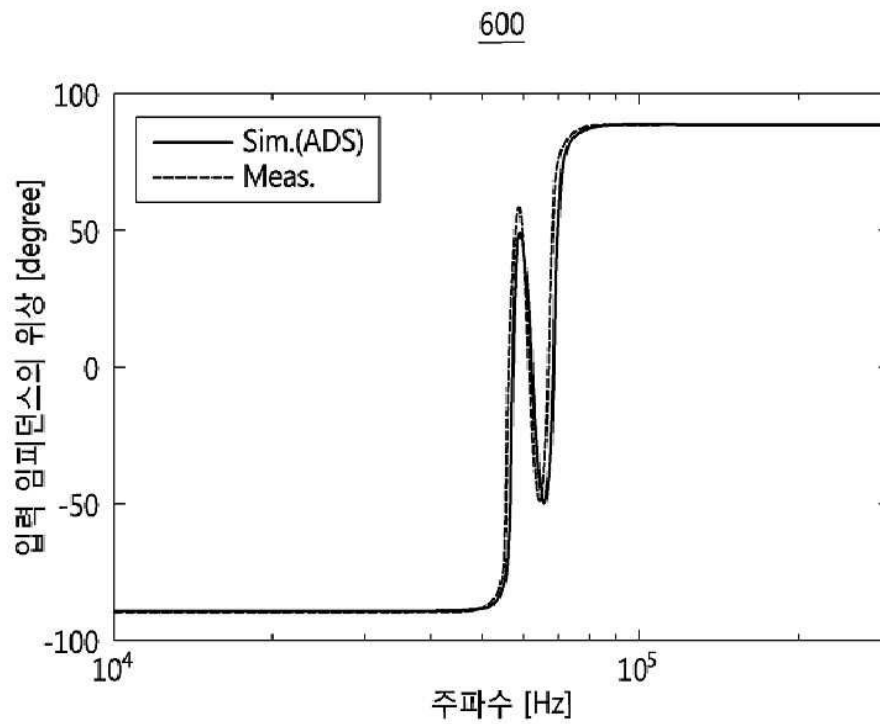
도면5a



도면5b



도면6a



도면6b

