



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2020년11월02일  
(11) 등록번호 10-2172728  
(24) 등록일자 2020년10월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 50/12 (2016.01) H02M 1/42 (2007.01)
- (52) CPC특허분류  
H02J 50/12 (2016.02)  
H02M 1/4225 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0075695
- (22) 출원일자 2018년06월29일  
심사청구일자 2018년06월29일
- (65) 공개번호 10-2019-0003407
- (43) 공개일자 2019년01월09일
- (30) 우선권주장  
1020170083727 2017년06월30일 대한민국(KR)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020150076001 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌  
기술이전 희망 : 기술양도

- (73) 특허권자  
울산대학교 산학협력단  
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
- (72) 발명자  
최성진  
울산광역시 남구 북부순환도로 35, 107동 901호  
(무거동, 무거위브자이)  
최희수  
울산광역시 남구 팔등로 85, 103동 1702호 (신정동, 울산신정푸르지오)
- (74) 대리인  
김종선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 7 항

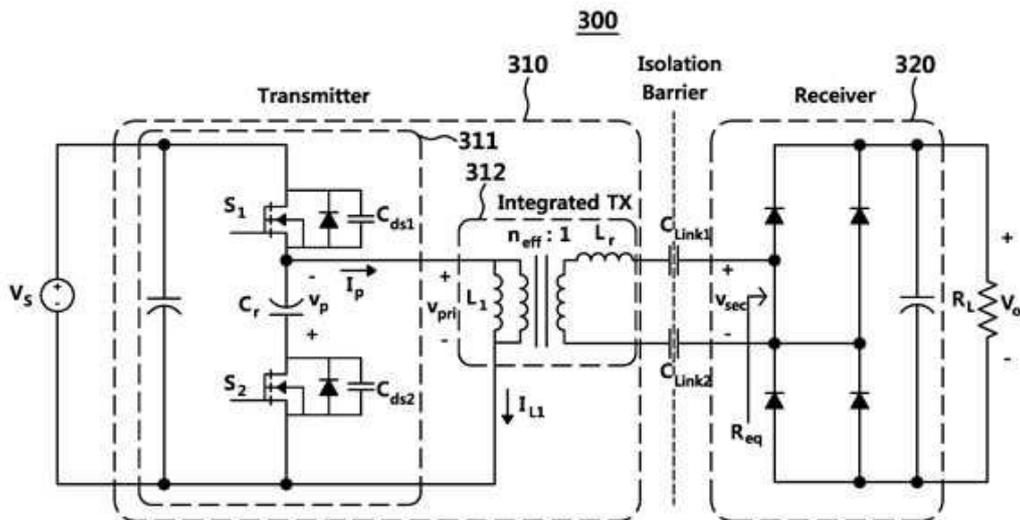
심사관 : 전기역

(54) 발명의 명칭 **비대칭 하프 브릿지를 이용한 전계 결합형 무선 전력 전송 장치**

**(57) 요약**

본 발명은 송신부로부터 링크 캐패시터를 통해 전력을 제공받는 수신부를 구비한 무선 전력 전송 장치에 관한 것으로, 상기 송신부는 하프 브릿지(harf bridge) 및 벽-부스트 컨버터를 포함하고, 상기 무선 전력 전송 시스템은 시비율 제어 및 주파수 추종 제어를 동시에 수행하는 것을 특징으로 하는 전계결합형 무선 전력 전송 장치에 관한 것이다.

**대표도** - 도3



(52) CPC특허분류

Y02B 70/10 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| 과제고유번호      | 1711049459                  |
| 부처명         | 미래창조과학부                     |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                      |
| 연구사업명       | 개인기초연구(미래부)                 |
| 연구과제명       | 차세대 태양광패널 하드웨어 모사장치 핵심기술 연구 |
| 기 여 율       | 1/1                         |
| 과제수행기관명     | 울산대학교 산학협력단                 |
| 연구기간        | 2017.03.01 ~ 2018.02.28     |

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

송신부로부터 링크 캐패시터를 통해 전력을 제공받는 수신부를 구비한 무선 전력 전송 장치에 있어서,

상기 송신부는,

하프 브릿지(harf bridge);

벅-부스트 컨버터;

공진 주파수를 추적하여 동작 주파수를 제어하는 주파수 제어부; 및

출력 전압을 추정하여 시비율을 제어하는 시비율 제어부를 포함하고,

상기 주파수 제어부 및 상기 시비율 제어부는 각각 독립적으로 동시에 동작하는 것을 특징으로 하는 전계결합형 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 송신부는,

상기 하프 브릿지로 구성된 송신 회로 및 상기 송신 회로에 연결된 변압기를 포함하고,

상기 변압기는

1차측에 병렬로 연결된 제1 인덕터 및 2차측에 직렬로 연결된 제2 인덕터를 포함하는

전계결합형 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 변압기의 상기 1차측의 자기 인덕턴스 값을 조절하여 전체 시비율 범위에서 영전압스위칭(ZVS) 조건을 성립시키는

전계결합형 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1 인덕터는 영전압스위칭 구동에 이용되고, 상기 제2 인덕터는 시스템 공진에 이용되는 것을 특징으로 하는 전계결합형 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 5

제2항에 있어서,

상기 제1 인덕터는 상기 1차측 및 상기 2차측 코어 사이의 간격을 이용해서 조절하고,

상기 제2 인덕터는 상기 1차측 및 상기 2차측 와이어 사이의 간격을 이용해서 조절하는

전계결합형 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 6

삭제

**청구항 7**

제1항에 있어서,  
 상기 주파수 제어부는  
 위상 쉬프트 정보의 비대칭을 방지하는 쌍안정 플립플롭; 및  
 위상 쉬프트 값을 보상하는 위상 보상기를 포함하는 전계결합형 무선 전력 전송 장치.

**청구항 8**

제1항에 있어서,  
 상기 시비율 제어부는  
 입력 전압을 이용하여 출력 전압을 추정하는 출력 전압 추정기를 포함하는  
 전계결합형 무선 전력 전송 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 전계 결합형 무선 전력 전송 시스템에 관한 발명이다.

**배경 기술**

- [0002] 무선 전력 전송(Wireless Power Transfer) 시스템은 선 없이 전력을 전달하는 기술로, 모바일(Mobile) 기기 및 디지털 가전 기기들에 대한 전력 공급의 편의성을 극대화한 기술이다.
- [0003] 최근 웨어러블 기기 등 각종 전자제품의 방수 기능 향상을 위해 일체형 배터리는 물론이고 충전단자까지도 없애는 제품들이 나오고 있다. 이러한 제품의 배터리 충전을 위해서는 무선 전력 전송이 필요하며 무선 전력 전송에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- [0004] 이러한 비접촉 충전방식은 최근 모바일 기기를 편리하게 충전할 수 있다는 점이 부각되면서 이를 이용한 충전장치가 일부 제품화되고 있다.
- [0005] 현재 비접촉 충전방식에는 자계 결합(Inductive Coupling) 방식과 전계 결합(Capacitive coupling) 방식이 있다. 그 중 자계 결합방식은 와이어리스 파워 컨소시엄(WPC : Wireless Power Consortium)에서 제안한 Qi 규격이 대표적이다.
- [0006] 자계 결합(Inductive Coupling) 방식이란 송신코일에 공급되는 전류에 의해 송신 코일에 자기장이 형성되고 그 형성된 자기장을 공유하는 수신 코일에 유도 기전력이 형성됨으로써, 에너지 전송이 일어나는 방식이다. 그런데 자기장은 송신코일과 수신코일 주위뿐만 아니라 수신회로에 위치한 PCB 회로에도 영향을 미치는 문제점을 갖고 있다.
- [0007] 이처럼 자기장 경로에 수신회로가 노출되기 때문에 EMI(Electro magnetic interference) 차폐물이 필요하다. 통상 차폐물은 일정한 두께 이상으로 제작되어야 하기 때문에 결국 수신회로의 사이즈가 증대된다. 또한 송신 코일과 수신 코일 사이 또는 바로 인접한 곳에 금속물이 존재할 때 와류(Eddy current) 발생에 따른 자기장의 감소로 전송효율이 떨어지는 등 전반적으로 금속물과의 간섭이 심한 문제도 있다. 나아가 수신코일 구조의 형상 제조가 어렵고 박형화가 용이하지 않다는 문제도 있다.
- [0008] 반면, 비접촉 충전방식 중 전계 결합방식은 상기 자계 결합방식이 가지는 여러 문제점을 해결하고 있다. 즉, 상기 전계 결합방식은 송신 전극에서 수신 전극 사이의 전기장이 개루프 특성을 제공하기 때문에 상기 자계 결합 방식에 비해 전자파 규제나 인체 유해성, EMI 특성 등에서 유리한 점이 있다. 또한 금속물과의 간섭이 상대적으로 적으며, 평판형의 도체판을 전극으로 사용할 수 있어 전극 구조를 간단하게 할 수 있다. 따라서 근래에는 상기 전계 결합방식에 대한 연구가 더 활발하게 진행되고 있는 실정이다.
- [0009] 도 1은 이격 거리나 정렬도 변화에 따른 링크 캐패시턴스 변화를 설명하기 위한 도면이다.
- [0010] 도 1(a)를 참조하면, 전계결합형 무선 전력 전송 장치(100)는 송신부(110)의 전력을 수신부(120)에 송수신 전극

(130)을 통해서 전달할 수 있다. 이때, 송수신 전극(130) 사이의 링크 캐패시턴스는 송신 전극과 수신 전극 사이의 이격 거리(d)에 따라 달라질 수 있다.

[0011] 도 1(b)를 참조하면, 전계결합형 무선 전력 전송 장치의 송수신 전극에서 링크 캐패시턴스(135)는 제1 송신 전극(131, TX1)과 제1 수신 전극(132, RX1) 간의 정렬도 및 제2 송신 전극(133, TX2)과 제2 수신 전극(134, RX2) 간의 정렬도에 의해 변화할 수 있다.

[0012] 공진형 컨버터에서는 일반적으로 소프트 스위칭과 같은 조건을 만족시키기 위해 주파수 제어를 많이 사용한다. 이때, 전계결합형 무선전력전송 특성상 이격 거리나 정렬 오차에 따라 도 1의 송·수신부 사이의 링크 캐패시턴스 값이 민감하게 변할 수 있다. 이러한 시스템의 제어를 위해서는 기존의 주파수 제어보다는 시비율 제어와 동시에 주파수 추종제어가 필요하다.

[0013] 또한, 송신부 앞 또는 부하단에 DCDC 컨버터를 추가하는 2단 구성은 시스템 효율이 1단 구성에 비해 낮다는 단점이 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1604172호(2016.03.10 등록)

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0015] 본 발명의 실시 예들은 공진주파수 추종제어를 통해 시스템 역률을 최대로 하고 시비율 제어를 통해 출력 제어가 가능한, 전계결합형 무선 전력 전송 장치를 제공하고자 한다.

[0016] 또한, 본 발명의 실시 예들은 시스템 구동시 전체 시비율 범위에서 영전압스위칭(Zero Volt Switching) 조건이 성립하는 전계결합형 무선 전력 전송 장치를 제공하고자 한다.

#### 과제의 해결 수단

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 송신부로부터 링크 캐패시터를 통해 전력을 제공받는 수신부를 구비한 전계결합형 무선 전력 전송 장치가 제공된다. 이때, 전계결합형 무선 전력 전송 장치의 상기 송신부는 하프 브릿지(harf bridge) 및 벡-부스트 컨버터를 포함하고, 상기 무선 전력 전송 시스템은 시비율 제어 및 주파수 추종 제어를 동시에 수행할 수 있다.

[0018] 일 실시예에 따르면, 상기 송신부는, 상기 하프 브릿지로 구성된 송신 회로 및 상기 송신 회로에 연결된 변압기를 포함하고, 상기 변압기는 1차측에 병렬로 연결된 제1 인덕터 및 2차측에 직렬로 연결된 제2 인덕터를 포함할 수 있다.

[0019] 다른 일 실시예에 따르면, 상기 변압기의 상기 1차측의 자기 인덕턴스 값을 조절하여 전체 시비율 범위에서 영전압스위칭(ZVS) 조건을 성립시킬 수 있다.

[0020] 다른 일 실시예에 따르면, 상기 제1 인덕터는 영전압스위칭 구동에 이용되고, 상기 제2 인덕터는 시스템 공진에 이용될 수 있다.

[0021] 다른 일 실시예에 따르면, 상기 제1 인덕터는 상기 1차측 및 상기 2차측 코어 사이의 간격을 이용해서 조절하고, 상기 제2 인덕터는 상기 1차측 및 상기 2차측 와이어 사이의 간격을 이용해서 조절할 수 있다.

[0022] 일 실시예에 따르면, 상기 송신부는 공진 주파수를 추적하여 동작 주파수를 제어하는 주파수 제어부 및 출력 전압을 추정하여 시비율을 제어하는 시비율 제어부를 포함하고, 상기 주파수 제어부 및 상기 시비율 제어부는 각각 독립적으로 동시에 동작할 수 있다.

[0023] 일 실시예에 따르면, 상기 주파수 제어부는 위상 쉬프트 정보의 비대칭을 방지하는 쌍안정 플립플롭 및 위상 쉬프트 값을 보상하는 위상 보상기를 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시예에 따르면, 상기 시비율 제어부는 입력 전압을 이용하여 출력 전압을 추정하는 출력 전압 추정기를 포

함할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0025] 본 발명의 실시 예들은 전계결합형 무선 전력 전송 장치에 있어서, 공진주파수 추종제어를 통해 시스템 역률을 최대화 하고 시비율 제어를 통해 출력을 일정하게 제어할 수 있다.
- [0026] 본 발명에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치에 따르면, 전체 시비율 범위 안에서 영진압스위칭(ZVS) 조건을 성립시켜 스위칭 손실이 거의 없도록 할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0027] 도 1은 이격 거리나 정렬도 변화에 따른 링크 캐패시턴스 변화를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 비대칭 하프 브릿지를 이용한 전계결합형 무선 전력 전송 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 전송 장치의 주요 동작 파형을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 전송 장치의 듀얼 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0028] 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.
- [0029] 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 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0030] 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.
- [0031] 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 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0032] 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 존재함을 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.
- [0033] 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.

- [0034] 실시예에서 사용되는 용어와 약어는 다음과 같다.
- [0035] 무선전력전송 시스템 (Wireless Power Transfer System): 무선 전력 전송을 제공하는 시스템
- [0036] 송신부(Wireless Power Transfer System-Charger): 다수기기의 전력수신기에게 무선전력전송을 제공하며 시스템 전체를 관리하는 장치
- [0037] 수신부(Wireless Power Transfer System-Deivce): 전력송신기로부터 무선전력 전송을 제공 받는 장치
- [0038] 충전 영역(Charging Area): 실제적인 무선 전력 전송이 이루어지는 지역이며, 응용 제품의 크기, 요구 전력, 동작주파수에 따라 변할 수 있다.
- [0039] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0040] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전계결합형 무선 전력 전송 장치(200)는 무선으로 전력을 송신하는 송신부(210), 링크 캐패시터(220) 및 수신부(230; 231)를 포함할 수 있다. 수신부(230)는 전원(250)에서 공급된 전력을 링크 캐패시터(220)를 통해서 송신부(210)로부터 전달받을 수 있으며, 전달받은 전력을 부하(240)에 공급할 수 있다. 이때, 송신부(210)는 송신회로(211) 및 변압기(212)를 포함할 수 있다.
- [0042] 송신부(210), 링크 캐패시터(220), 수신부(230)의 각 구성에 대해서는 도 3를 참조하여 상세하게 설명하도록 한다.
- [0043] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 비대칭 하프 브릿지를 이용한 전계결합형 무선 전력 전송 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 비대칭 하프 브릿지를 이용한 전계결합형 무선 전력 전송 장치(300)는 송신부(310) 및 수신부(320)를 포함할 수 있다. 일실시예에 따르면, 무선 전력 전송 장치(300)의 수신부(320)는 링크 캐패시터( $C_{Link1}$ ,  $C_{Link2}$ )를 통해 송신부(310)로부터 무선으로 전력을 공급받을 수 있다.
- [0045] 일실시예에 따르면, 전계결합형 무선 전력 전송 장치(300)의 송신부(310)는 비대칭 하프 브릿지를 포함하는 송신회로(311) 및 통합형 변압기(312)를 포함할 수 있다.
- [0046] 일실시예에 따르면, 송신부(310)는 하프 브릿지(harf bridge) 및 벡-부스트 컨버터를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 일 실시예에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치(300)의 송신부(310)는 제1 스위치( $S_1$ ) 및 제2 스위치( $S_2$ )를 포함하는 하프 브릿지와 벡-부스트 컨버터가 결합된 비대칭 하프 브릿지를 포함할 수 있다.
- [0047] 일실시예에 따르면, 통합형 변압기(312)는 1차측에 병렬로 연결된 제1 인덕터( $L_1$ ) 및 2차측에 직렬로 연결된 제2 인덕터( $L_r$ )를 포함하는 변압기가 될 수 있다.
- [0048] 따라서, 전력 전송 장치(300)의 송신부(310)는 비대칭 하프 브릿지를 포함하는 송신회로(311) 및 제1 인덕터( $L_1$ ) 및 제2 인덕터( $L_r$ )가 통합된 변압기를 포함할 수 있다. 이때, 무선 전력 전송 장치(300)는 시비율 제어 및 주파수 추종 제어를 동시에 수행할 수 있다.
- [0049] 일실시예에 따르면, 송신부(310)는 링크 커패시터( $C_{Link1}$ ,  $C_{Link2}$ )를 통해서 수신부(320)에 전력을 전송할 수 있다. 여기서 링크 커패시터( $C_{Link1}$ ,  $C_{Link2}$ )는 송신부(310)와 수신부(320) 간의 이격 거리나 정렬 오차에 따라 달라질 수 있다.
- [0050] 전계결합형 무선 전력 전송 장치(300)는 하프 브릿지와 벡-부스트 컨버터가 결합된 구조로 구성될 수 있다. 이때, 무선 전력 전송 장치(300)는 공진 주파수 추종 제어를 통해서 시스템 역률을 최대로 할 수 있다. 동시에, 무선 전력 전송 장치(300)는 시비율 제어를 통해 출력을 제어할 수 있다. 일반적으로 공진주파수로 무선 전력 전송 장치(300)를 구동할 시 영전압스위칭(ZVS)이 되지 않아, 스위칭 손실이 크지만, 본 발명에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치는 통합형 변압기(312)의 1차측 자기 인덕턴스( $L_1$ ) 값을 조절하여 전체 시비율 범위에서 영전압스위칭(ZVS) 조건이 성립할 수 있다.
- [0051] 일 실시예에 따르면, 본 발명에 따른 토폴로지는 기본적으로 벡-부스트 컨버터의 동작원리와 유사하며 MOSFET으

로 구성된 제2 스위치(S<sub>2</sub>)는 벡-부스트 컨버터의 다이오드처럼 구동될 수 있다. 여기서 커패시터(C<sub>r</sub>)의 양단 전압 V<sub>p</sub>는 하기 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다. 일실시예에 따른 무선 전력 전송 장치(300)는 벡-부스트 컨버터와 하프 브릿지를 결합한 구조이기 때문에 시스템 출력전압(V<sub>o</sub>)이 기준 전압보다 낮은 경우에는 MOSFET 제1 스위치(S<sub>1</sub>)의 시비율을 증가시키고 반대로 시스템 출력전압(V<sub>o</sub>)이 기준 전압보다 높은 경우 제1 스위치(S<sub>1</sub>)의 시비율(duty ratio)을 낮춰서 출력을 일정하게 제어할 수 있다. 여기서 출력전압은 시스템 기본과 해석을 통해 하기 수학적 식 2와 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 1**

$$V_p = \frac{D}{1-D} V_s$$

**수학적 식 2**

$$V_o = V_p \times \frac{2}{\pi} \times \sin(\pi D) \div n_{eff} \times \frac{\pi}{4}$$

여기서, V<sub>o</sub>는 커패시터(C<sub>r</sub>)의 양단 전압이고, D는 제1 스위치의 시비율을 말하며, n<sub>eff</sub>는 변압기의 유효 권선비(n<sub>eff</sub>:1)를 의미한다.

일실시예에 따르면, 본 발명에 따른 전계결합형 무선 전력 전송 장치(300)는 변압기에 제1 인덕터(L<sub>1</sub>) 및 제2 인덕터(L<sub>r</sub>)를 추가하여 통합형 변압기(312)로 구성할 수 있다. 이때, 제1 인덕터(L<sub>1</sub>)는 무선 전력 전송 장치(300)의 영전압 스위칭(ZVS) 구동에 이용되고 제2 인덕터(L<sub>r</sub>)는 수학적 식 3과 같이 시스템 공진에 이용될 수 있다.

**수학적 식 3**

$$f_{sw} = f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r (C_{link1} \parallel C_{link2})}}$$

제1 인덕터(L<sub>1</sub>) 및 제2 인덕터(L<sub>r</sub>)를 포함하는 통합형 변압기는 송신부의 시스템 부피를 감소시킨다는 장점을 가지고 있으며 각 제1 인덕터(L<sub>1</sub>) 및 제2 인덕터(L<sub>r</sub>)의 값은 통합형 변압기의 T등가회로에서 식을 유도해보면 각각 하기 수학적 식 4와 수학적 식 5를 통해서 구할 수 있다.

**수학적 식 4**

$$L_1 = \frac{L_m}{k^2}$$

**수학적 식 5**

$$L_r = (1 - k^2) L_2$$

[0060] 여기서,  $L_m$ 은 변압기의 자화 인덕턴스를 뜻하고,  $L_2$ 는 변압기의 2차측 자기 인덕턴스,  $k$ 는 변압기 결합계수를 말한다.

[0061] 일실시예에 따르면, 제1 인덕터( $L_1$ )의 인덕턴스는 변압기의 1차측과 2차측 코어 사이의 간격을 이용하여 조절할 수 있다. 일실시예에 따르면, 제2 인덕터( $L_r$ )의 인덕턴스는 변압기의 1차측과 2차측 와이어 사이의 간격을 이용하여 조절할 수 있다.

[0062] 회로 해석에 따르면, 출력 전압  $V_o$ 는 하기 수학식 6을 통해서 구할 수 있다.

**수학식 6**

$$V_o = \frac{8V_p \sin(\pi D)}{n_{eff} \pi^2}$$

[0063]

[0064] 여기서  $n_{eff}$ 는 하기 수학식 7을 통해서 구할 수 있다.

**수학식 7**

$$n_{eff} = \frac{kN_p}{N_s}$$

[0065]

[0066] 여기서  $n_{eff}$ 는 통합 변압기의 유효 권선비이며,  $N_p$ 와  $N_s$ 는 각각 1 차 권선과 2 차 권선의 수이고,  $k$ 는 변압기 결합 계수를 말한다.

[0067] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 전송 장치의 주요 동작 파형을 나타낸 도면이다.

[0068] 시스템 동작원리를 살펴보면,  $t_1$ 에서  $t_2$ 구간에서, 제1 스위치( $S_1$ )가 켜져있고 제2 스위치( $S_2$ )는 꺼져있으며 제1 인덕터( $L_1$ )에 흐르는 전류는 하기 수학식 8과 같이 선형적으로 증가할 수 있다. 이때, 제2 스위치( $S_2$ )의 기생 캐패시터 전압( $V_{C_{ds2}}$ )과  $V_{pri}$  전압은 하기 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

**수학식 8**

$$\Delta I_{L1(S_{1on})} = \frac{V_s D}{L_1 f_{sw}}$$

[0069]

**수학식 9**

$$V_{C_{ds2}} = \frac{1}{1-D} V_s, \quad V_s = V_{pri}$$

[0070]

[0071]  $t_2$ 구간에서  $t_3$ 구간을 살펴보면, 제1 스위치( $S_1$ )와 제2 스위치( $S_2$ )가 꺼져있는 구간을 의미한다. 이 구간에서는  $t_1$ - $t_2$ 구간에서 제1 인덕터( $L_1$ )에 저장된 에너지를 이용하여 제2 스위치( $S_2$ ) 기생 캐패시터(도 3의  $C_{ds2}$ )의 에너

지를 제거하며, 이로 인해 영전압 스위칭(ZVS)을 가능하게 한다. 이때, 영전압 스위칭(ZVS) 구동에 필요한 제1 인덕터(L<sub>1</sub>)의 인덕턴스는 하기 수학적 식 10을 이용해 구할 수 있다.

**수학적 식 10**

$$L_1 \leq \frac{D(1-D)T_{dead}}{4f_{sw}C_d}$$

[0072]

[0073] 여기서 T<sub>dead</sub>는 t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>구간의 시간(sec)을 말하고 C<sub>d</sub>는 제1 스위치(S<sub>1</sub>)와 제2 스위치(S<sub>2</sub>)의 기생 캐패시터의 합(C<sub>ds1</sub>+C<sub>ds2</sub>)을 말한다.

[0074] t<sub>3</sub>구간에서 t<sub>4</sub>구간을 살펴보면, 영전압 스위칭(ZVS) 조건에서 제2 스위치(S<sub>2</sub>)가 켜지면, 제1 인덕터(L<sub>1</sub>)의 전류는 하기 수학적 식 11과 같이 선형적으로 감소하고, V<sub>pri</sub>전압은 하기 수학적 식 12와 같다.

**수학적 식 11**

$$\Delta I_{L1(S_{1off})} = \frac{1-D}{L_1 f_{sw}} V_p$$

[0075]

**수학적 식 12**

$$V_{pri} = V_p$$

[0076]

[0077] t<sub>4</sub>에서 t<sub>5</sub>구간을 살펴보면, t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>구간과 동일하게 구동되며 여기서 다른 점은 제1 인덕터(L<sub>1</sub>)에 저장된 에너지가 제1 스위치(S<sub>1</sub>)의 기생 캐패시터의 에너지를 제거한다는 점이다.

[0078] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 전송 장치의 듀얼 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0079] 무선 전력 전달 시스템에서, 공진 링크 커패시턴스가 항상 완벽하게 정렬 될 수는 없다. 이때, 송신기와 수신기 간의 오정렬로 인해, 완벽하게 정렬된 조건보다 링크 커패시턴스가 작아지더라도 전력을 전달하기 위해서는, 증가된 공진 주파수를 보상하기 위한 주파수 제어가 필요하고, 주 인버터 스위치의 영전압스위칭(ZVS) 조건을 달성하기 위해 동작 주파수는 공진 주파수 이상이 되도록 조정되어야 한다. 이 경우, 출력 전압이 부하 저항에 크게 의존하기 때문에 프런트 엔드 컨버터에 의한 1차 DC 링크 조정이나 수신기 측 컨버터에 의한 2차 DC 전압 조정과 같이 주파수 제어 이외의 추가 제어 방법으로 조정해야 하는데, 이는 모두 시스템 복잡성을 증가시키고 시스템의 전반적인 전력 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 절연 장벽을 건너 출력 전압이 감지되어야 하고, 이때 1차측에 정보를 돌려주기 위해 무선 데이터 통신이 요구될 수도 있다.

[0080] 그러나, 본 발명에 따르면, 공진 주파수에서도 영전압스위칭(ZVS) 조건을 만족시킬 수 있다. 일실시예에 따르면, 출력 전압은 부하 저항과 무관하며 상기 수학적 식 1 및 수학적 식 2를 이용해서 1차측의 정보를 통해서 추정할 수 있다. 즉, 주파수 제어와 시비율(듀티) 제어가 동시에 독립적으로 적용될 수 있음을 의미한다. 이 기능을 최대로 활용하기 위해서, 주파수 제어는 공진 주파수 시프트만 추적하고 시비율 제어는 출력 전압 조정에 집중하는 듀얼 모드 제어가 개시된다.

[0081] 도 5를 참조하면, 무선 전력 전송 장치의 듀얼 모드 제어가 블록도이다. 일실시예에 따르면, 무선 전력 전송 장치는 주파수 제어부(510) 및 시비율 제어부(520)를 포함할 수 있다.

[0082] 일실시예에 따르면, 주파수 제어부(510)는 공진 회로의 1차 전압(v<sub>pri</sub>)과 인덕터 전류(i<sub>Lr</sub>) 간의 위상차를 이용하

여 위상 고정 루프(PLL)를 통해 동작 주파수를 제어할 수 있다. 이때, 공진 주파수( $f_o$ )에서도 영전압스위칭 조건이 만족되기 때문에, 동작 주파수는  $f_o$ 와 같게 제어될 수 있다. 비례 적분 제어기(514)는 1차 전압과 인덕터 전류 간의 위상차( $\theta_{diff}$ )가 0이 되어 공진 주파수를 추적하도록 제어할 수 있고, 제어된 주파수는 전압 제어 발진기(515)의 출력이 될 수 있다. 2개의 쌍안정 플립 플롭(511, 512) 및 위상 보상기(516)는 두 입력 파형이 비대칭인 경우 발생할 수 있는 오작동을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 일실시예에 따르면, 쌍안정 플립 플롭(511, 512)은 위상 쉬프트 정보의 비대칭을 방지할 수 있다. 위상 쉬프트 값은 실제 값보다 크기 때문에, 하기 수학적 식 13을 통해 위상 보상기(516)에서 위상 보상이 수행될 수 있다.

**수학적 식 13**

$$\theta_{offset} = |D - 0.5| / 4$$

[0083]

일실시예에 따르면, 시비율 제어부(520)는 인버터의 직류 입력 전압( $V_s$ )과 주파수 제어부(510)로부터 생성된 캐리어 주파수를 이용해서 시비율을 제어할 수 있다. 출력 전압 추정기(521)는 상기 수학적 식 2를 수행하고, 출력은 추가적인 비례 적분 제어기(522)에 의해 조정될 수 있다. PWM 생성기(523)는 비례 적분 제어기(522)의 출력과 캐리어 주파수를 이용해서 PWM 게이트 신호를 생성하고,  $T_b$  지연 블록(524, 525)은 주 인버터 스위치의 영전압 스위칭(ZVS) 동작에 대한 데드 타임을 제공할 수 있다.

[0084]

[0085]

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0086]

시뮬레이션 설계사양은, 입력전압( $V_s$ ) 150V, 출력전력( $P_o$ ) 50W, 링크 캐패시턴스( $C_{link}$ ) 1nF, 부하저항( $R_L$ ) 200 $\Omega$  이고 턴 비  $n_{eff}$ 가 1.5, 공진주파수가 300KHz 일 때 통합형 변압기의 제2 인덕터( $L_r$ )의 인덕턴스는 수학적 식 3에 의해 281uH가 나왔다. 제1 인덕터( $L_1$ )의 인덕턴스는 수학적 식 10에 의해 120uH보다 작은 80uH로 선정하였다. 그리고 커패시터( $C_r$ )의 커패시턴스는 330nF으로 설계하였는데 그 이유는 제1 인덕터( $L_1$ )와 커패시터( $C_r$ )의 공진주파수가 수학적 식 3의 스위칭 주파수 보다 낮게 하여  $V_{pri}$ 의 음의 전압이 공진현상을 나타내지 않게 하기 위해서이다.

[0087]

도 6은 본 발명에 따른 토폴로지의 시뮬레이션 결과이고 시뮬레이션 시, 송신부의 스위치( $S_1, S_2$ )에 사용된 MOSFET은 SiC MOSFET(C3M0065090D)을 선정하여 영전압 스위칭(ZVS)이 성립하는지 확인하였고, 나머지 소자는 모두 이상적인 소자를 사용하였다. 그 결과 시스템 구동 시 영전압 스위칭(ZVS)이 성립하는 걸 확인할 수 있었고, 출력 전압 역시 [수학적 식 2]의 설계사양 대입 결과와 동일하게 나왔다.

[0088]

본 발명의 일실시예에 따른 토폴로지는 공진 주파수 추종제어를 하여 공진점에서 시스템이 구동되게 하여 시스템 역률을 최대로 올릴 수 있고, 시비율을 조절하여 출력전압을 일정하게 제어할 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 인덕터 2개를 통합형 변압기 하나로 사용하여 송신부 부피를 절감하였고, 전체 시비율 범위에서 영전압 스위칭(ZVS)이 성립 가능하다는 이점이 있다.

[0089]

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.

[0090]

이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다

른 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.

[0091] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

**부호의 설명**

[0092] 300: 전계결합형 무선 전력 전송 장치

310: 송신부

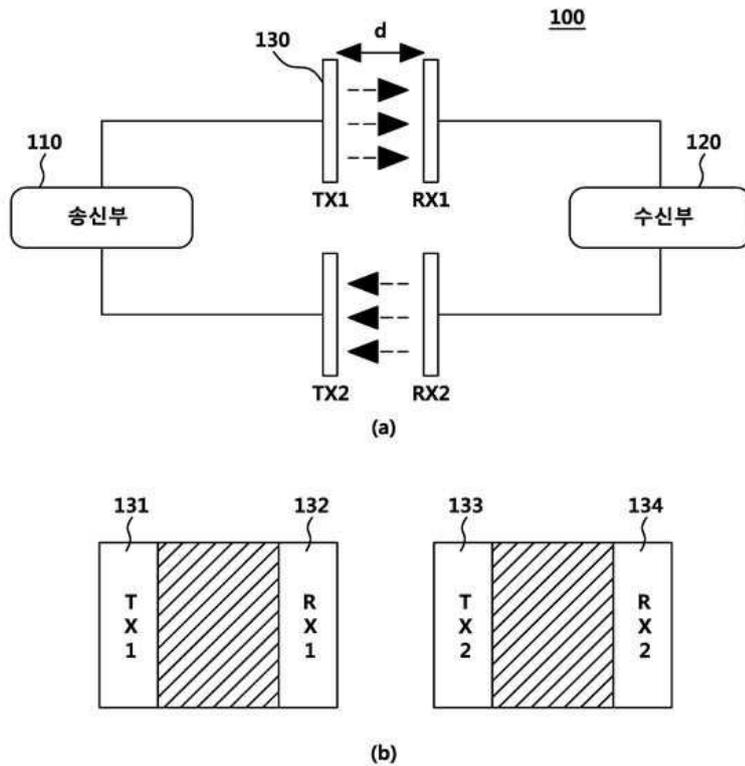
311: 송신회로

312: 통합형 변압기

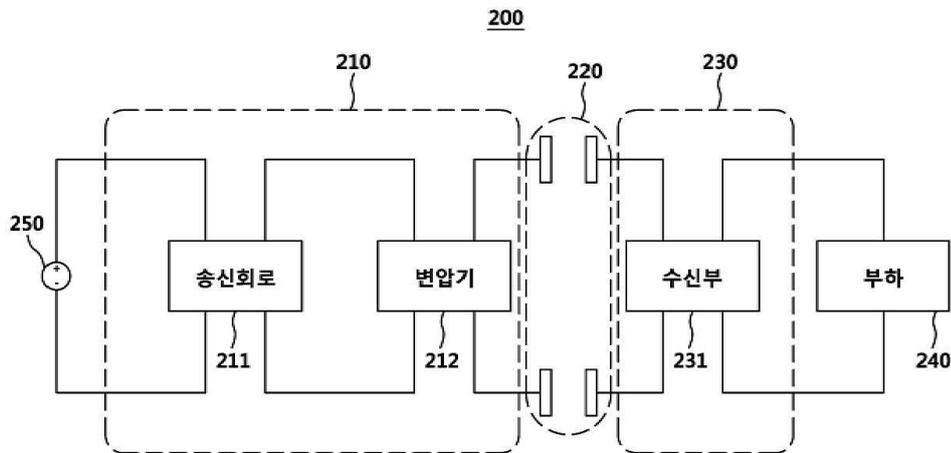
320: 수신부

**도면**

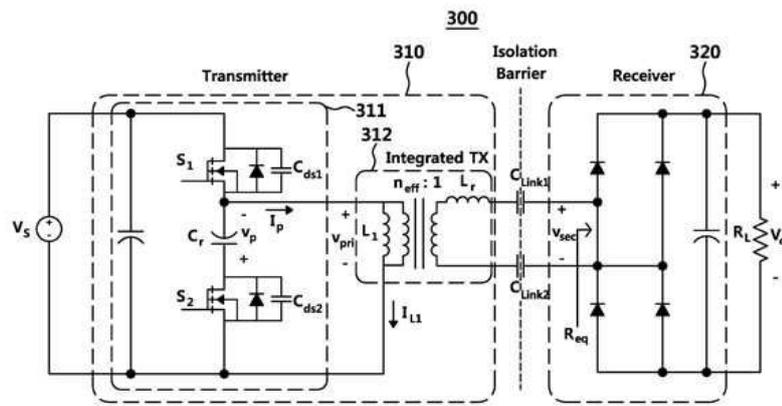
**도면1**



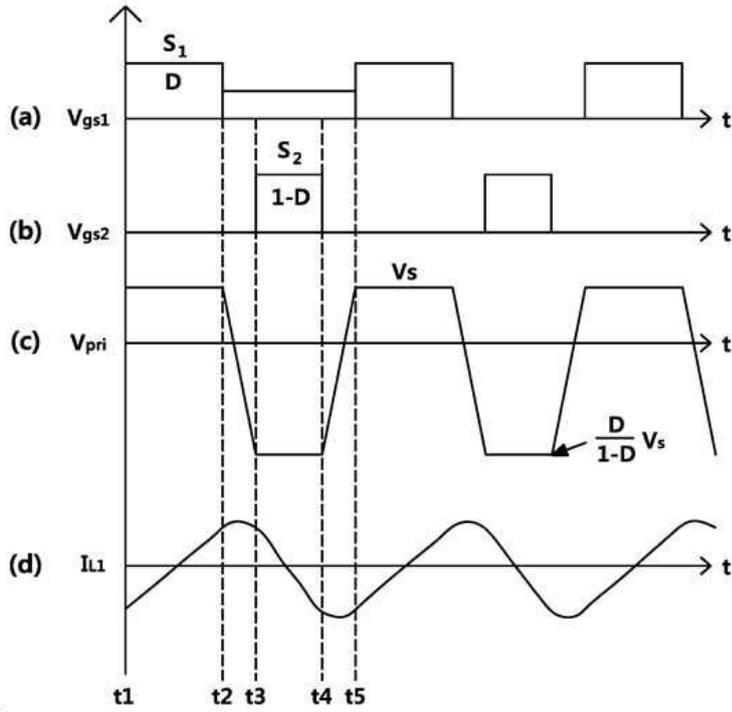
도면2



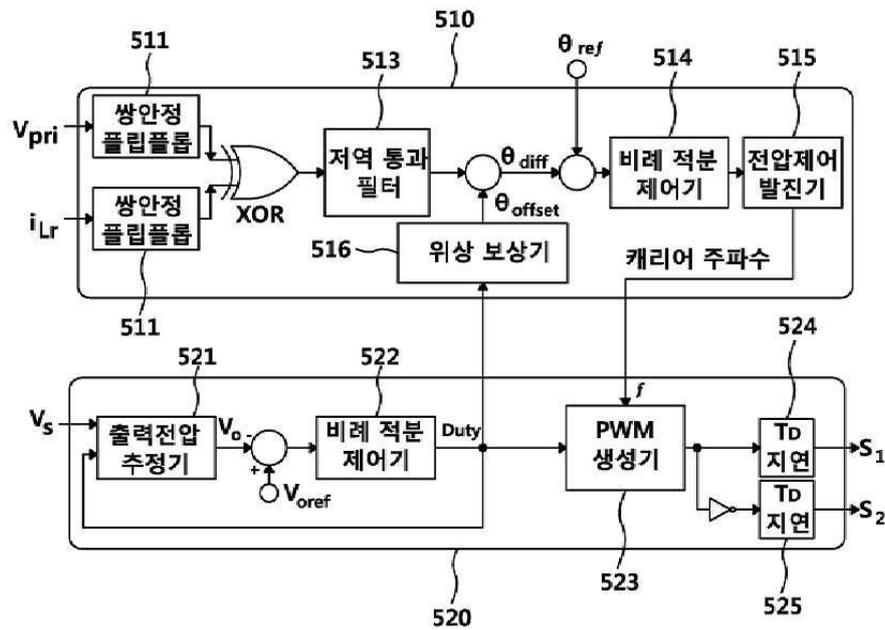
도면3



도면4



도면5



도면6

