



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

(45) 공고일자 2017년06월09일  
 (11) 등록번호 10-1744577  
 (24) 등록일자 2017년06월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H02J 17/00 (2006.01) B60M 1/13 (2006.01)  
 B60M 1/28 (2006.01) H02J 7/02 (2016.01)  
 (52) CPC특허분류  
 H02J 17/00 (2013.01)  
 B60M 1/13 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0146903  
 (22) 출원일자 2015년10월21일  
 심사청구일자 2015년10월21일  
 (65) 공개번호 10-2017-0046494  
 (43) 공개일자 2017년05월02일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP5595893 B2\*  
 US20100225272 A1\*  
 JP2015528273 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 한국철도기술연구원  
 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)  
 (72) 발명자  
 이승환  
 서울특별시 노원구 섭발로 139, 101동 306호 (공릉동, 공릉풍림아파트)  
 이병송  
 경기도 성남시 분당구 장미로 55, 110동 1602호 (야탑동, 장미마을)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 특허법인 정안

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 박형준

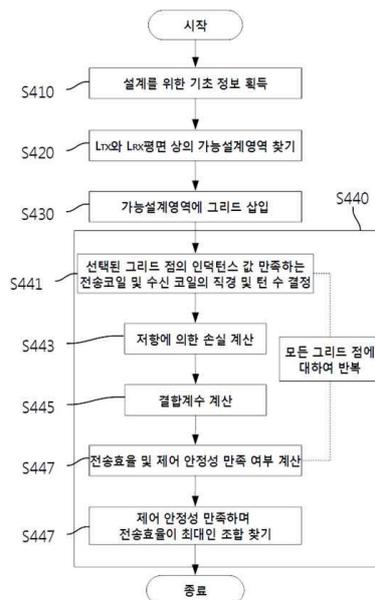
**(54) 발명의 명칭 전차선 상태감시시스템용 무선전력전송시스템 설계장치 및 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위한 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치 및 방법에 관한 것이다.

본 발명에서는 설계를 위한 기초 정보를 획득하는 단계, 상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 (뒷면에 계속)

**대표도 - 도4**



찾는 단계, 찾아진 상기 가능설계영역에 그리드를 삽입하는 단계, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 그리드 점에 해당하는 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계, 및 상기 그리드 점에서 계산된 상기 전송 효율을 비교하고, 제어 안정성을 만족하면서 전송효율이 최대인 조합을 찾는 단계를 포함하는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법이 개시된다.

본 발명에 의하면 설치 상황에 따라서 최대 전송효율을 가지도록 무선 전력 전송 장치를 설계할 수 있고, 이를 이용하여 전차선 상태 감시 시스템에 전력을 공급함으로써 시스템의 유지 및 보수에 필요한 비용을 줄이는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류

*B60M 1/28* (2013.01)  
*H02J 7/025* (2013.01)

**이경표**

경기도 의왕시 부곡북지관길 23, 102동 610호 (삼동, 장미아파트)

(72) 발명자

**정신명**

경기도 성남시 분당구 양현로94번길 29, 608동 902호 (이매동, 이매촌청구아파트)

**김명룡**

서울특별시 서초구 동광로43길 34, 401호 (반포동, 연빌라)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위한 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치의 설계 방법에 있어서,

설계를 위한 기초 정보를 획득하는 단계;

상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾는 단계;

상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계; 및

계산된 상기 전송 효율을 비교하여 제어 안정성을 만족하면서 전송효율이 최대인 조합을 찾는 단계;

를 포함하는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는

상기 가능설계영역에 그리드를 삽입하는 단계; 및

상기 송신코일과 수신코일이 상기 그리드가 만나는 각 점에 해당하는 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계;

를 포함하는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 기초 정보는,

상기 송신코일에 걸리는 전압과 전류의 최대치 및 상기 수신코일에 걸리는 전압과 전류의 최대치를 포함하는, 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 기초 정보는,

운용 주파수, 전송 전력의 범위, 코일 루프 직경, 및 전송거리를 더 포함하는,

무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾는 단계는 하기 (4a), (4b), (4c)의 부등식을 모두 만족하는 영역을 가능설계영역으로 하는,

무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

$$(4a) L_{TX} \leq \frac{k^2 (V_{L_{TX,max}})^2}{2P_{out} R_L} L_{RX}$$

$$(4b) L_{TX} \geq \frac{2P_{out} R_L}{k^2 (I_{L_{TX,max}})^2} \frac{1}{L_{RX}}$$

$$(4c) L_{RX} \leq \frac{V_{L_{RX,max}}}{I_{L_{RX}}}$$

여기서,  $L_{TX}$ 는 상기 송신코일의 자체 인덕턴스,  $L_{RX}$ 는 상기 수신코일의 자체 인덕턴스,  $V_{L_{TX,max}}$ 는 상기 송신코일에 걸리는 전압의 최대치,  $I_{L_{TX,max}}$ 는 상기 송신코일에 흐르는 전류의 최대치,  $V_{L_{RX,max}}$ 는 상기 수신코일에 걸리는 전압의 최대치,  $P_{out}$ 은 출력 전력,  $R_L$ 은 부하저항,  $k$ 는 결합계수,  $I_{L_{RX}}$ 는 상기 수신코일에 흐르는 전류이다.

**청구항 6**

제 1항에 있어서,

상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는

전송 효율( $\eta$ )을 계산하기 위하여 하기 식을 사용하는,

무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}} + \frac{Q_P}{Q_{TX}} \left(1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}}\right)^2}$$

$Q_{TX}$  와  $Q_{RX}$ : 각각 송신코일과 수신코일의 자체 양호도

$Q_p$ , 와  $Q_s$ : 각각 송신코일과 수신코일의 부하를 포함한 양호도

**청구항 7**

제 1항에 있어서,

상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는

하기 식을 이용하여 제어 안정성 만족 여부를 판단하는,

무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 방법.

$$R_L > k\omega L_{RX} \quad : \text{for SS and PS tuned system}$$

$$R_L < \frac{\omega L_{RX}}{k} \quad : \text{for SP and PP tuned system}$$

여기서,  $k$ 는결합계수,  $\omega$ 는운용 각주파수,  $L_{RX}$ 는 상기 수신코일의 자체 인덕턴스,  $R_L$ 은 부하저항이고, SS, SP, PS, PP는 상기 송신코일 및 수신코일의 공진 형태를 나타내는 것으로 앞의 S 혹은 P는 상기 송신코일의 직렬(Series) 혹은 병렬(Parallel) 공진을 의미하며, 뒤의 S 혹은 P는 상기 수신코일의 직렬 혹은 병렬 공진을 의미한다.

**청구항 8**

전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위한 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치에 있어서,

설계를 위한 기초 정보를 획득하는 입력부;

상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾고, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하고, 계산된 상기 전송 효율을 비교하여 제어 안정성을 만족하면서 전송효율이 최대인 상기 송신코일과 수신코일의 구조를 도출하는 설계부; 및

상기 설계부에서 도출된 결과를 표시하는 표시부;

를 포함하는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 장치.

**청구항 9**

제 8항에 있어서,

상기 송신코일과 수신코일의 구조는 각 코일 별 인덕턴스, 직경 및 턴 수를 포함하는,

무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일 설계 장치.

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위하여 1m 이하의 거리에서 100W급 전력을 공급할 수 있는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 트램, 트롤리버스, 전철이나 기차에 전력을 공급하기 위해 공중에 설치된 전선을 전차선이라고 한다. 전철이나

기차는 팬터그래프를 이용하여 전차선에 접촉하여 전력을 얻는다. 이러한 철도용 전차선은 25kV정도의 고전압을 사용하고 있어 사람의 접근이 힘들지만, 전차선의 고장은 전철이나 기차의 운행을 막을 수 있기 때문에 그 상태를 유지하고 관리하는 것은 아주 중요한 문제이다.

[0003] 그래서 전차선에 각종 센서 등을 부착해 상태를 감시할 필요가 있다. 일반적으로 전차선과 팬터그래프 사이의 접촉력과 압상량 이외에 다양한 센서를 이용하여 전차선 온도, 변위량, 진동 측정 장비 등이 운영된다.

[0004] 도 1은 종래의 철도용 전차선에 설치된 상태 감시 시스템을 보여주는 도면이다. 도1을 참조하면, 종래의 상태 감시 시스템은 가동브라켓(101)위에 설치되고 감시 데이터를 저장하고 외부로 전달할 수 있는 DAQ(Data Acquisition) 시스템(110)과 조가선이나 전차선등에 설치되어 상태 정보를 수집하는 인장계(121), 가속도계(122), 변위량계(123) 등을 포함하는 센서들과 상기 장비들에 전력을 공급하기 위한 배터리(130) 등으로 이루어진다. 각종 센서(121, 122, 123)들은 관련 데이터를 수집하여 유선으로 DAQ 시스템(110)으로 전송하고, DAQ 시스템(110)은 센서로부터 오는 데이터를 수집하여 무선망 등을 통하여 중앙 수집장치로 전송하게 된다. 이러한 센서(121, 122, 123) 및 DAQ 시스템(110)이 상시적으로 운영하기 위해서는 DC 5V 내지 10V 미만의 소전력이 지속적으로 공급되어야 한다. 그런데 이러한 장비들이 설치되어 있는 가동브라켓(101) 부분 및 조가선이나 전차선은 25kV의 고전압이 흐르고 있어 절연 문제 등으로 인하여 지상에서 유선으로 전력을 공급하는 것이 불가능하다. 그래서 일반적으로 별도의 교환형 배터리(130)를 이용하여 전원을 공급하고 있다.

[0005] 이러한 교환형 배터리(130)의 사용은 배터리 전력이 소진되었을 경우, 배터리 충전 또는 교체가 필요하게 되며, 이때 배터리(130)를 포함한 상태 감시 시스템이 고전압이 걸려있는 가동브라켓(101) 구조물에 설치되어 있어 전차선의 전원을 차단하고, 전철주 구조물에 사람이 올라가서 배터리를 교환해야하기 때문에 주기적인 배터리 교환에 따른 유지보수 비용 및 대상 시스템의 운행중단에 따른 간접 비용이 발생하는 문제가 있다. 게다가 도 1의 경우처럼 전차선 상태 감시 시스템의 DAQ 시스템(110) 및 배터리(130)가 가동 브라켓(101) 위에 올라가게 되는 경우 가동 브라켓(101)의 지지하중에 제한이 있어 배터리의 용량을 크게 하지 못해 더 잦은 교체가 필요하다.

[0006] 이러한 비용을 줄이기 위하여 태양전지 등의 보조전원을 이용해 배터리를 충전할 수 있도록 하는 경우도 있다. 그런데 태양전지 등의 보조전원 장치를 이용하면 배터리의 교체 주기를 늦출 수는 있으나 계절적 요소 등의 제어 불가능한 요소에 의해 태양 전지가 많은 영향을 받기 때문에 안정적인 전원 공급에는 부적절하다. 또한, 수십 W 이상의 전력을 얻기 위하여는 필요한 태양광 집전 판(140)의 크기가 수 m<sup>2</sup>가 되어야 하기에 적용하지 못하는 경우도 많다.

[0007] 따라서 유지 및 보수 비용을 최소화하기 위하여 전차선 상태 감시 시스템에 상시 전원을 공급할 수 있는 장치가 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 진술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해주기 위한 무선 전력 전송 장치를 이용하고, 최대 전송 효율을 가지면서 제어 안정성을 확보할 수 있는 무선 전력 전송 장치를 설계하기 위한 방법 및 장치를 제공함에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 진술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 일 측면에 따르면, 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해주기 위한 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치의 설계 방법은 설계를 위한 기초 정보를 획득하는 단계, 상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾는 단계, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계, 및 계산된 상기 전송 효율을 비교하여 제어 안정성을 만족하면서 전송효율이 최대인 조합을 찾는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 여기서, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는 상기 가능설계영역에 그리드를 삽입하는 단계 및 상기 송신코일과 수신코일이 상기 그리드 점에 해당하는 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 그리고, 상기 기초 정보는 상기 송신코일에 걸리는 전압/전류의 최대치 및 상기 수신코일에 걸리는 전압/전류의 최대치를 포함할 수 있고, 이에 더하여 운용 주파수, 전송 전력의 범위, 코일 루프 직경 및 전송거리를 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾는 단계는 하기 (4a), (4b), (4c)의 부등식을 모두 만족하는 영역을 가능설계영역으로 할 수 있다.

$$(4a) \quad L_{TX} \leq \frac{k^2 (V_{L_{TX,max}})^2}{2P_{out} R_L} L_{RX}$$

$$(4b) \quad L_{TX} \geq \frac{2P_{out} R_L}{k^2 (I_{L_{TX,max}})^2} \frac{1}{L_{RX}}$$

$$(4c) \quad L_{RX} \leq \frac{V_{L_{RX,max}}}{I_{L_{RX}}}$$

[0013]

[0014] 여기서,  $P_{out}$  은 출력 전력,  $R_L$  은 부하저항,  $k$  는 결합계수,  $I_{L_{RX}}$  는 수신코일에 흐르는 전류를 의미한다.

[0015] 그리고 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는 전송 효율( $\theta$ )을 계산하기 위하여 하기 식을 사용할 수 있다.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}} + \frac{Q_P}{Q_{TX}} \left(1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}}\right)^2}$$

[0016]

[0017] 여기서,  $Q_{TX}$  와  $Q_{RX}$  는 각각 과 수신코일의 자체 양호도를 나타내고,  $Q_p$  와  $Q_s$  는 각각 송신코일과 수신코일의 부하를 포함 양호도를 나타낸다.

[0018] 이와 더불어, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하는 단계는 하기 식을 이용하여 제어 안정성 만족 여부를 판단할 수 있다.

$$R_L > k\omega L_{RX} \quad : \text{for SS and PS tuned system}$$

$$R_L < \frac{\omega L_{RX}}{k} \quad : \text{for SP and PP tuned system}$$

[0019]

[0020] 여기서,  $k$ : 결합계수,  $\omega$ : 운용 각주파수, SS, SP, PS, PP는 상기 송신코일 및 수신코일의 공진 형태를 나타내는 것으로 앞의 S 혹은 P는 상기 송신코일의 직렬(Series) 혹은 병렬 (Parallel) 공진을 의미하며, 뒤의 S 혹은 P는 상기 수신코일의 직렬 혹은 병렬 공진을 의미한다.

[0021] 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 일 측면에 따르면, 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위한 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일을 설계하기 위한 설계장치는 설계를 위한 기초 정보를 획득하는 입력부, 상기 송신코일 및 수신코일 인덕턴스의 가능설계영역을 찾고, 상기 송신코일과 수신코일이 상기 가능설계영역 내의 인덕턴스 값을 가질 때의 제어 안정성 만족 여부와 전송 효율을 계산하고, 계산된 상기 전송 효율을 비교하여 제어 안정성을 만족하면서 전송효율이 최대인 상기 송신코일과 수신코일의 구조를 도출하는 설계부, 및 상기 설계부에서 도출된 결과를 표시하는 표시부를 포함할 수 있다.

[0022] 여기서, 상기 송신코일과 수신코일의 구조는 각 코일 별 인덕턴스, 직경 및 턴(turn) 수를 포함할 수 있다.

[0023] 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 일 측면에 따르면, 전차선의 상태 감시 시스템에 전력을 전달해 주기 위한 무선 전력 전송 장치는 2uH 내지 12uH의 인덕턴스를 가지는 송신코일을 포함하고, 상기 송신코일을 이용하여 자기장을 방출하는 전력송신부 및 10uH 내지 30uH의 인덕턴스를 가지는 수신코일을 포함하고, 상기 전력송신부로부터 방출된 자기장으로부터 전력을 수신하는 전력수신부를 포함할 수 있다. 보다 바람직하게는 상기 송신코일의 인덕턴스는 4.8uH이고, 상기 수신코일의 인덕턴스는 16.5uH일 수 있다.

[0024] 그리고 코일 구조와 관련하여 상기 송신코일 및 상기 수신코일은 직경이 30cm 내지 40cm인 원형코일일 수 있고, 감긴 턴 수가 3내지 6일 수 있다. 보다 바람직하게는 상기 송신코일은 직경이 40cm인 원형코일이며 턴 수가 3이

고, 상기 수신코일은 직경이 40cm인 원형코일이며 턴 수가 6일 수 있다.

[0025] 이에 더하여 무선 전력 전송 장치는 지상에 설치되어 상용주파수의 교류전력을 받아 전력송신에서 사용되는 고주파의 교류전력으로 변환하여 상기 전력송신부에 공급하는 인버터부 및 상기 전력수신부에서 수신된 전력을 직류전압으로 변환하는 충전부를 더 포함할 수 있다. 여기서 상기 고주파의 교류전력은 주파수가 6.78MHz일 수 있다.

**발명의 효과**

[0026] 설치 상황에 따라서 최대 전송효율을 가지도록 설계된 무선 전력 전송 장치를 이용하여 전차선 상태 감시 시스템에 전력을 공급함으로써 시스템의 유지 및 보수에 필요한 비용을 줄일 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0027] 도 1은 종래의 철도용 전차선에 설치된 상태 감시 시스템을 보여주는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전차선 상태 감시 시스템에 전력을 공급하기 위한 무선 전력 전송 장치의 구성도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 전력 전송 장치의 설치 개략도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 최대 전송효율 및 제어 안정성을 가지는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 및 수신코일의 인덕턴스를 결정하는 설계 방법을 보여주는 도면이다.
- 도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 일 실시 예에 따른 가능설계영역을 찾는 과정을 보여주는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 가능설계영역을 20 x 20개의 그리드를 삽입한 것을 보여주는 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 전력 전송 장치의 설계장치의 블록도이다.
- 도 8a와 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따라 제안한 설계 방법에 따라 1m 거리에 운용주파수 6.78MHz, 전송전력 100W, 송신코일과 수신코일의 직경이 40cm이하의 파라미터를 가지고 무선 전력 전송 장치를 설계하는 경우의 가능설계영역을 보여주는 도면과 그리드를 삽입한 도면이다.
- 도 9a 내지 9c는 상기 설계된 무선전력전송 시스템을 유한요소분석(finite element analysis)를 이용하여 시뮬레이션하기 위한 모델과 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0028] 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0029] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 비록 특정 실시 예로 설명하더라도 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 의도는 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 이하, 본 발명의 실시를 위한 구체적인 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 첨부도면을 참조하여 설명함에 있어 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대해 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0031] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전차선 상태 감시 시스템에 전력을 공급하기 위한 무선 전력 전송 장치의 구성도이고 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 전력 전송 장치의 설치 개략도이다.
- [0032] 도 2를 참조하면, 무선 전력 전송 장치는 인버터부(210), 전력송신부(220), 전력수신부(230), 및 충전부(240)를 포함한다. 인버터부(210)는 지상에 설치되는 장비로서 지상에서 주파수의 교류전력을 받아 전력송신에서 사용되는 고주파의 교류전력으로 변환시켜주는 기능을 수행한다. 일 예로서 60Hz의 상용 전원으로부터 6.78MHz의 고주파 교류전력을 생성하는 기능을 수행한다. 이렇게 변환되어 생성된 고주파 교류전력은 유선(250)으로 전신주에 설치되어 있는 전력송신부(220)로 전달된다.
- [0033] 전력송신부(220)는 송신코일 (221)을 포함하여 인버터부(210)로부터 전달되어 온 전력을 받아 자기장을 생성하여 방출한다. 이때의 생성된 자기장은 송신코일 (221)에 흐르는 고주파 전류와 동일한 주파수를 가질 수 있다.

전력송신부(220)는 전압이 흐르지 않는 전신주의 상부에 설치될 수 있다.

[0034] 전력수신부(230)는 수신코일 (231)을 포함하여 전력송신부(220)로부터 방출된 자기장으로부터 고주파 교류전력을 수신하는 기능을 한다. 좀 더 상세히 설명하면, 수신코일 (231)에는 상기 생성된 시간에 따라 변하는 자기장에 의해 전압/전류가 유도되고, 이를 이용하여 고주파 교류전력을 수신할 수 있다. 전력수신부(230)은 25kV의 고전압이 흐르는 가동브라켓(101)에 설치될 수 있다. 전력수신부(230)에 의해 수신된 전력은 충전부(240)로 전달되어 DC전압으로 재변환되고, 배터리 충전에 사용하거나 배터리가 없더라도 전차선 상태 감시 시스템에 지속적인 전력으로 제공될 수 있다.

[0035] 이러한 무선 전력 전송 장치를 설계하는데 있어서 크게 2가지를 고려할 수 있다. 첫째 전력 전송효율이다. 전송 효율( $\theta$ )은 아래 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

**수학식 1**

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}} + \frac{Q_P}{Q_{TX}} \left(1 + \frac{Q_S}{Q_{RX}}\right)^2}$$

[0036]

[0037] 여기서  $Q_{TX}$ ,  $Q_{RX}$ 는 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 자체 양호도 (Quality factor) 이며  $Q_{TX} = \omega L_{TX} / R_{TX}$ ,  $Q_{RX} = \omega L_{RX} / R_{RX}$ 로 정의 된다. 이 때  $\omega = 2\pi f$  이고, f는 운용 주파수,  $L_{TX}$ ,  $L_{RX}$  는 각각 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 자체 인덕턴스(Self-inductance),  $R_{TX}$ ,  $R_{RX}$  는 각각 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 자체 저항이다. 또한,  $Q_p$ ,  $Q_s$ 는 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 부하를 포함한 양호도이며, 이는 부하를 포함한 시스템의 양호도를 의미한다.  $Q_p = \omega L_{TX} / (a^2 R_L)$ ,  $Q_s = R_L / (\omega L_{RX})$  같이 정의 되며,  $R_L$  은 등가 부하 저항이고  $a$  는 송신코일 (221)과 수신코일 (231)간 전송비를 의미하며  $a = k\sqrt{L_{TX}/L_{RX}}$ 와 같이 정의할 수 있으며, k는 결합계수(coupling coefficient)로  $k = M\sqrt{L_{TX} \times L_{RX}}$ 와 같이 정의할 수 있으며 여기서 M은  $L_{TX}$ 와  $L_{RX}$  간의 상호 인덕턴스를 나타낸다. 수신코일 (231)이 직렬 공진이면,  $Q_P = \omega L_{TX} R_L / (\omega M)^2$ ,  $Q_S = (\omega L_{RX}) / R_L$ 로 표시할 수 있다.

[0038] 상기 [수학식 1]에서 알 수 있듯이, 전체 시스템의 전송효율( $\eta$ )은  $Q_p$ ,  $Q_s$  가 작아질수록,  $Q_{TX}$ ,  $Q_{RX}$  가 커질수록 개선된다.  $Q_{TX}$ ,  $Q_{RX}$  는 코일의 자체 인덕턴스 대비 손실의 비율이므로 코일 자체의 손실 특성을 나타낸다. 따라서 손실이 작은 코일을 제작하는 게 중요하다. 또한,  $Q_p$ ,  $Q_s$  는 부하와 코일의 리액턴스의 비를 나타내는 것으로  $Q_p$ ,  $Q_s$  가 작을수록 리액턴스 대비 부하가 크게 보인다는 것을 의미하며 이 경우 부하 측으로 전력 전달이 많이 되기 때문에 효율이 향상될 수 있다는 것을 보여준다. 또한,  $Q_p$ ,  $Q_s$ 에는 k 혹은 M 이 수식의 분모에 포함돼있어 k나 M 이 커질수록, (즉 전력 전송 거리가 줄어들거나, 코일 크기가 커질수록)  $Q_p$ ,  $Q_s$  의 값이 작아져 효율이 개선될 수 있다는 것을 보여준다.

[0039] 요약하여 보면, 무선 전력 전송 장치의 전송효율은 전력 전송 거리, 코일 크기, 턴(turn) 수, 코일의 인덕턴스, 손실, 부하 값 등에 의해서 영향을 받는다. 여기서 턴 수란 원형 코일에 있어서 도선이 원형 형태로 몇 번 감겨져 있는 지를 나타낸다. 따라서 전송 거리 및 부하 값에 따라 적절한 코일의 형태를 찾아야 최대 전송효율을 얻을 수 있다.

[0040] 두 번째로, 공진형 무선 전력 전송 장치의 설계에 있어서 제어 안정성을 반드시 점검하여야 한다. 왜냐하면 코일 임피던스와 부하 간에 적절한 관계를 이루지 못하면 부하 값이 변동함에 따라 송신코일 (221)의 공진극(resonant pole)과 수신코일 (231)의 공진극이 가까워지며 서로 밀어내 공진 주파수가 여러 개 생기게 되어

(Bifurcation) 제어가 불안정해질 수 있다. 만약 이처럼 제어 안정성 조건이 깨지면, 무선 전력 전송 장치의 송신코일 (221) 측에서는 여러 개의 공진 주파수가 보이게 되고, 수신코일 (231)은 송신코일 (221)의 공진주파수에 맞춰서 운전할 수 없게 되어, 고효율 시스템을 얻을 수 없다. [수학식 2]는 공진 형태에 제어 안정성을 만족하기 위해 따라야 하는 식들을 보여준다.

**수학식 2**

$$R_L > k\omega L_{RX} \quad : \text{for SS and PS tuned system}$$

$$R_L < \frac{\omega L_{RX}}{k} \quad : \text{for SP and PP tuned system}$$

[0041]

[0042]

여기서 k 는 결합계수이고 SS, SP, PS, PP 등은 송신코일 (221) 및 수신코일 (231)의 공진 형태를 나타내는 것으로 앞의 S 혹은 P는 송신코일 (221)의 직렬(Series) 혹은 병렬 (Parallel) 공진을 의미하며, 뒤의 S 혹은 P는 수신코일 (231)의 직렬 혹은 병렬 공진을 의미한다.

[0043]

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 최대 전송효율 및 제어 안정성을 가지는 무선 전력 전송 장치의 송신코일 (221) 및 수신코일 (231)의 인덕턴스를 결정하는 설계 방법을 보여주는 도면이다.

[0044]

도 4를 참조하면, 최대 전송효율 및 제어 안정성을 가지는 무선 전력 전송 장치 설계를 위하여 무선 전력 전송 장치 설계장치는 설계를 위한 기초 정보를 획득(S410)하여야 한다. 기초 정보는 다음 [표 1]에 나타나 있는 것처럼 전차선에 무선 전력 전송 장치를 설치하기 위하여 기본적으로 제약되어야만 하는 파라미터들을 포함할 수 있다.

**표 1**

[0045]

파라미터	값
운용 주파수	6.78MHz
전송 전력	15W 이상 150W 이하
코일 전선 도체 직경	6mm 이하
전송거리	60cm ~ 1m

[0046]

상기 파라미터 외에도 송신코일 (221)에 걸리는 전압/전류 및 수신코일 (231)에 걸리는 전압/전류의 최대치가 설계 시에 필요하므로 이러한 기초 정보를 먼저 획득하여야 한다. 다음으로 무선 전력 전송 장치 설계장치는 상기 기초 정보에 대응하여 송신코일 (221)의 인덕턴스(L<sub>TX</sub>)와 수신코일 (231)의 인덕턴스(L<sub>RX</sub>) 평면상의 가능설계 영역(feasible design space)을 찾는다(S420). 가능설계영역은 상기 초기 정보를 만족하면서 송신코일 (221)과 수신코일 (231)이 가질 수 있는 인덕턴스 값의 범위일 수 있다.

[0047]

도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 일 실시 예에 따른 가능설계영역을 찾는 과정을 보여주는 도면이다.

[0048]

도 5a 내지 도 5c를 참조하면, 초기 정보로 입력된 송신코일 (221)에 걸리는 전압/전류 및 수신코일 (231)에 걸리는 전압/전류의 최대치가  $V_{L_{TX,max}}$ ,  $I_{L_{TX,max}}$ ,  $V_{L_{RX,max}}$ ,  $I_{L_{RX,max}}$  일 때, 송신코일 (221) 및 수신코일 (231)의 리액턴스 X<sub>TX</sub>, X<sub>RX</sub> 는 다음 [수학식 3]을 만족하여야 한다. 다시 말하면, [수학식 3]의 세 개의 부등식을 모두 만족하는 영역이 가능설계영역이 될 수 있다.

수학식 3

$$(3a) X_{TX} \leq \frac{k^2 (V_{L_{TX,max}})^2}{2P_{out} R_L} X_{RX}$$

$$(3b) X_{TX} \geq \frac{2P_{out} R_L}{k^2 (I_{L_{TX,max}})^2} \frac{1}{X_{RX}}$$

$$(3c) X_{RX} \leq \frac{V_{L_{RX,max}}}{I_{L_{RX}}}$$

[0049]

[0050]

여기서,  $P_{out}$ 은 출력 전력,  $R_L$ 은 부하저항,  $k$ 는 결합계수,  $I_{L_{RX}}$ 는 수신코일에 흐르는 전류를 의미한다. 여기서 전력 전송 거리 및 출력 전력량, 출력 전압, 송신코일 (221)에 걸리는 전압/전류 및 수신코일 (231)에 걸리는 전압/전류의 최대치 등이 정해지면  $k$ ,  $P_{out}$ ,  $R_L$  등은 상수가 되어  $X_{TX}$ ,  $X_{RX}$  사이의 관계를 정해주는 식이 된다.

수학식 (3a)는 송신코일 (221)에 걸리는 전압이  $V_{L_{TX,max}}$  보다 작기 위해서는  $X_{TX}$  가  $X_{RX}$  에 일정 상수를 곱한 값보다 작아야 한다는 것을 의미하고 이는  $X_{TX}$  를 y 축으로 하고  $X_{RX}$  를 x 축으로 하는 직교 평면 상에 그렸을 때, 도 5a에 도시된 것처럼 양의 기울기를 가지는 직선의 밑부분(510)에 해당한다. 수학식 (3b)와 (3c)를 만족하는 영역도 동일하게  $X_{TX}$  와  $X_{RX}$  의 직교 평면 상에 그려질 수 있고, 세 부등식에 의한 영역을 표시하면 도 5b와 같이 나타날 수 있다. 따라서 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 리액턴스 값은 도 5b의 교차 영역(520) 내에 존재하는 값을 선택할 수 있으며 이러한 교차 영역이 존재하는 경우 이를 가능설계영역이라 할 수 있다. 만약 운용 주파수(상기 표1에 따르면 6.78MHz)가 고정되어 있으면,  $X_{TX}$  및  $X_{RX}$  의 리액턴스를 운용 주파수로 나눌 수 있고, 이 경우 가능설계영역은 다음 [수학식 4]와 같이 나타날 수 있다.

수학식 4

$$(4a) L_{TX} \leq \frac{k^2 (V_{L_{TX,max}})^2}{2P_{out} R_L} L_{RX}$$

$$(4b) L_{TX} \geq \frac{2P_{out} R_L}{k^2 (I_{L_{TX,max}})^2} \frac{1}{L_{RX}}$$

$$(4c) L_{RX} \leq \frac{V_{L_{RX,max}}}{I_{L_{RX}}}$$

[0051]

[0052]

그리고 이를 그림으로 도시하면 도 5c와 같이  $L_{TX}$ 와  $L_{RX}$ 의 평면상에 나타낼 수 있다. 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 인덕턴스 값은 상기 [수학식 4]에 의해 결정된 가능설계영역(530) 내의 값들의 조합으로 선정될 수 있다.

[0053]

다시 도 4를 참조하면, 최대전송효율 및 제어 안정성을 가지는 송신코일 (221) 및 수신코일 (231)의 인덕턴스 값을 구하여 위하여 무선 전력 전송 장치 설계장치는 가능설계영역에 N x M 개의 그리드(grid)를 삽입한다 (S430).

[0054]

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 가능설계영역을 20 x 20개의 그리드를 삽입한 것을 보여주는 도면이다.

[0055]

도 6을 참조하면, 송신코일 (221)의 인덕턴스와 수신코일 (231)의 인덕턴스가 가능설계영역 내의 임의의 값을 가질 수 있지만 계산의 효율성을 기하기 위하여 각 축에 대하여 그리드를 삽입하고 각 그리드가 만나는 점에서의  $L_{TX}$ 와  $L_{RX}$  값만을 이용하여 전송효율 및 제어안정성을 검토할 수 있다. 상기한 각 축별 그리드의 간격은 임의의 값으로 정해질 수 있다. 그리드의 간격이 작아지면 계산량이 많아지는 반면에 좀 더 정확한 계산을 할 수 있

고, 그리드의 간격이 커지면 계산량은 줄어드는 대신에 정확성이 떨어질 수 있다.

- [0056] 다시 도4를 참조하면, 무선 전력 전송 장치 설계장치는 상기 각 그리드점에서의 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 인덕턴스 값을 가지는 코일의 직경, 턴 수 등을 정해, 효율 및 제어 안정성을 계산(S440)한다. 가질 수 있는 코일의 직경 및 턴 수는 상기 주어진 초기 정보에 의해 정해질 수 있으며, 효율 및 제어 안정성은 상기 [수학식1] 및 [수학식2]를 이용하여 계산할 수 있다.
- [0057] 좀 더 상세히 설명하면, 선택된 그리드에서의 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 인덕턴스 값을 만족하는 송신 코일 (221)과 수신코일 (231)의 직경 및 턴 수를 결정(S441)한다. 이 때 직경 및 턴 수를 결정하는데 있어서 상기 주어진 초기 정보에 의해 제약이 가해질 수 있고, 다수 개의 직경 및 턴 수의 조합이 결정될 수도 있다.
- [0058] 그러면 결정된 직경 및 턴 수의 조합에 대하여 저항에 의한 손실을 계산(S443)하고, 결합계수도 계산(S445)도 계산한다. 이를 이용하여 각 그리드 점에서 직경 및 턴 수 조합별 얻을 수 있는 전송효율과 제어 안정성 만족 여부를 상기 [수학식 1] 및 [수학식 2]를 이용하여 계산(S447)한다. 상기한 (S441)에서 (S447)의 단계는 모든 그리드 점의 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 인덕턴스 값에 대하여 계산할 수 있다. 그리고 각 그리드 점에서의 전송효율을 비교함으로써 제어 안정성을 만족하면서 효율이 최대인 조합을 찾는다(S450).
- [0059] 상기한 도4의 방법을 사용하여 제어 안정성을 만족하면서 최대의 효율을 가지는 무선 전력 전송 장치를 설계할 수 있다.
- [0060] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 전력 전송 장치의 설계장치의 블록도이다.
- [0061] 도 7을 참조하면, 상기한 전차선용 무선 전력 전송 장치의 설계를 위한 설계장치는 입력부(710), 설계부(720) 및 표시부(730)를 포함할 수 있다.
- [0062] 설계장치의 입력부(710)는 설계를 위한 기초 정보를 획득할 수 있다. 기초 정보는 사용자에게 의하여 입력될 수도 있으며, 또한 통신 수단을 구비하여 외부에 있는 입력수단과 통신을 통하여 기초 정보를 입력 받을 수 있다.
- [0063] 설계부(720)는 상기 입력부(710)에서 입력 받은 기초 정보를 기초로 하여 상기 도 4의 설계방법에 따라 제어안정성을 가지면서 최고 전송효율을 가지는 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 인덕턴스, 그리고 직경 및 턴 수 등을 포함하는 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 구조를 도출한다.
- [0064] 표시부(730)는 설계부(720)의 결과를 표시할 수 있는 화면을 구비하거나 외부 표시장치와 통신할 수 있는 통신 수단을 구비하여 설계부의 결과를 표시하여 준다. 이때 기초 정보와 설계 결과를 반영하여 시뮬레이션한 결과를 함께 표시할 수도 있으며, 만약 다수개의 조합에서 동일한 전송효율을 나타내는 경우 각 조합에 대하여 각각 표시할 수도 있다.
- [0065] 도 8a와 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따라 제안한 설계 방법에 따라 1m 거리에 운용주파수 6.78MHz, 전송전력 100W, 송신코일 (221)과 수신코일 (231)의 직경이 40cm이하의 파라미터를 가지고 무선 전력 전송 장치를 설계하는 경우의 가능설계영역을 보여주는 도면과 그리드를 삽입한 도면이다.
- [0066] 도 4의 설계방법을 참조하면, 먼저 설계장치는 입력부를 이용하여 기초 정보를 획득한다. 기초 정보는 다음 [표 2]와 같이 정리할 수 있다.

**표 2**

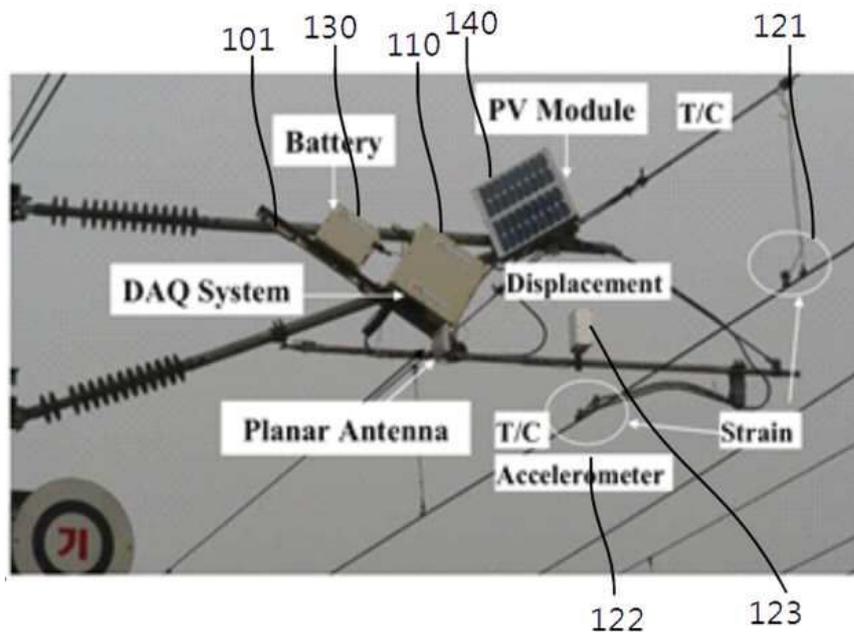
설계 파라미터	값
운용 주파수	6.78MHz
전송 전력	100W
전송거리	1m
코일 전선 도체 직경	6mm 이하
송신코일 (221)에 걸리는 전압 최대치	5000V
송신코일 (221)에 걸리는 전류 최대치	30A
수신코일 (231)에 걸리는 전압 최대치	5000V
수신코일 (23)에 걸리는 전류 최대치	5A

- [0068] 도 8a는 [표 2]의 기초 정보를 바탕으로 [수학식 3]과 [수학식 4]를 이용하여 가능설계영역(810)을 구한 결과를 도시한 것이다.

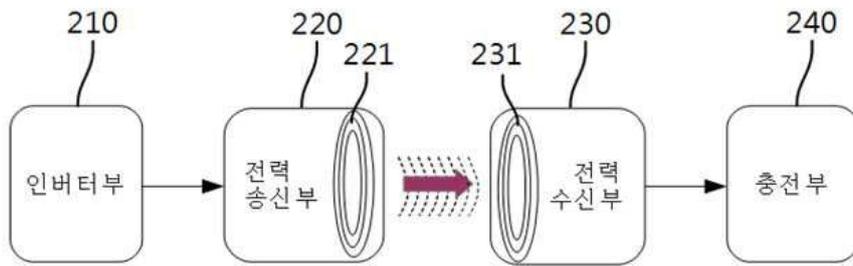
- [0069] 도 8a를 참조하면 가능설계영역에 해당하는 송신코일 (221)의 인덕턴스는 2~12uH의 범위를 가지며, 수신코일 (231)의 인덕턴스는 10~30uH의 범위를 가지게 된다. 여기서 uH는  $10^{-6}$  H를 의미한다. 그리고 전차선을 위한 무선 전력 전송 장치에서 유효하게 사용할 수 있는 원형 코일의 직경이 30~40cm이므로, 이 경우 상기한 인덕턴스 범위를 만족하기 위해서는 송신코일 (221) 및 수신코일 (231)이 가질 수 있는 턴수는 3내지 6이 된다.
- [0070] 도 8b는 상기 구해진 가능설계영역을 송신코일 (221)의 인덕턴스( $L_{TX}$ ) 축으로 20개의 그리드와 수신코일 (231)의 인덕턴스( $L_{RX}$ ) 축으로 20개의 그리드를 삽입한 것을 보여주고 있다. 그리고 도 4의 (S440) 절차를 따르면, 송신 코일 (221)의 인덕턴스( $L_{TX}$ )가 4.8uH (직경 40cm, 3턴), 수신코일 (231)의 인덕턴스( $L_{RX}$ )가 16.5uH (직경 40cm, 6턴)로 설계 시, 최대 전송효율 및 제어 안정성을 확보할 수 있는 것으로 도출되었다.
- [0071] 도 9a 내지 9c는 상기 설계된 무선전력전송 시스템을 유한요소분석(finite element analysis)을 이용하여 시뮬레이션 하기 위한 모델과 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면이다.
- [0072] 도 9a를 참조하면, 시뮬레이션 모델은 상기 설계장치에서 설계한 대로 송신코일 (221)은 40cm 직경에 3턴을 가지고, 수신코일 (231)은 40cm 직경에 6턴을 가지며, 양 코일은 1m 떨어진 거리에 위치한다. 도 9a의 모델을 사용하여 finite element analysis를 이용하여 시뮬레이션을 돌렸을 때 그 결과로 나오는 입력 임피던스 크기 및 위상이 도 9b에 나타나 있고, 주파수 별 전력 전송 효율이 도 9c에 나타나 있다. 도 9b와 도 9c를 참고하면, 운용 주파수 6.78MHz에서 입력 임피던스가 최소가 되고 전력 전송효율이 최대가 됨을 확인할 수 있다.
- [0073] 상기 시뮬레이션 결과 등을 참조할 때 본 발명에서 제시하는 전차선 무선전력 전송 시스템 설계장치는 올바르게 작동한다는 것을 확인할 수 있었으며, 무선전력 전송 시스템이 놓일 수 있는 장소의 특성에 맞게 기초 정보를 설정함으로써 최고의 전송 효율을 가지는 무선 전력 전송 장치를 설계할 수 있을 것이다.
- [0074] 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있으므로, 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

**도면**

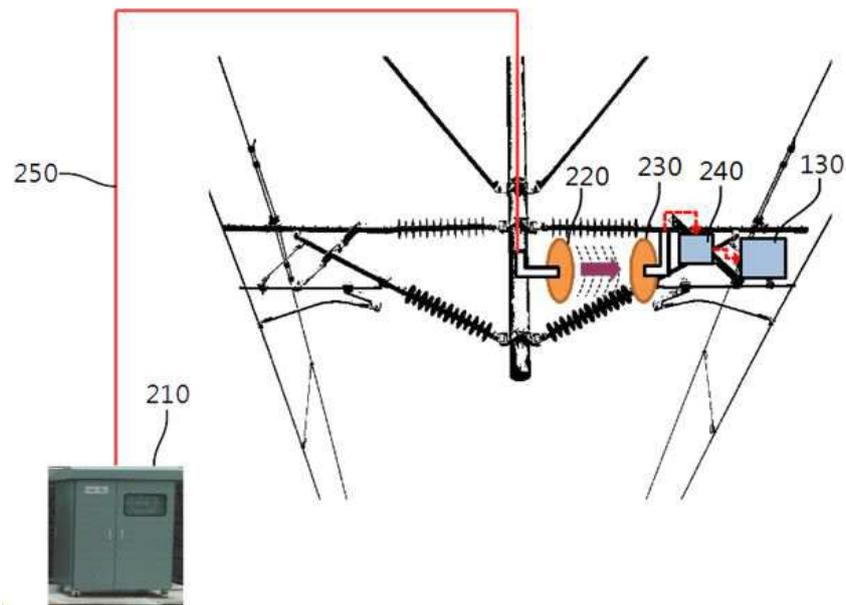
**도면1**



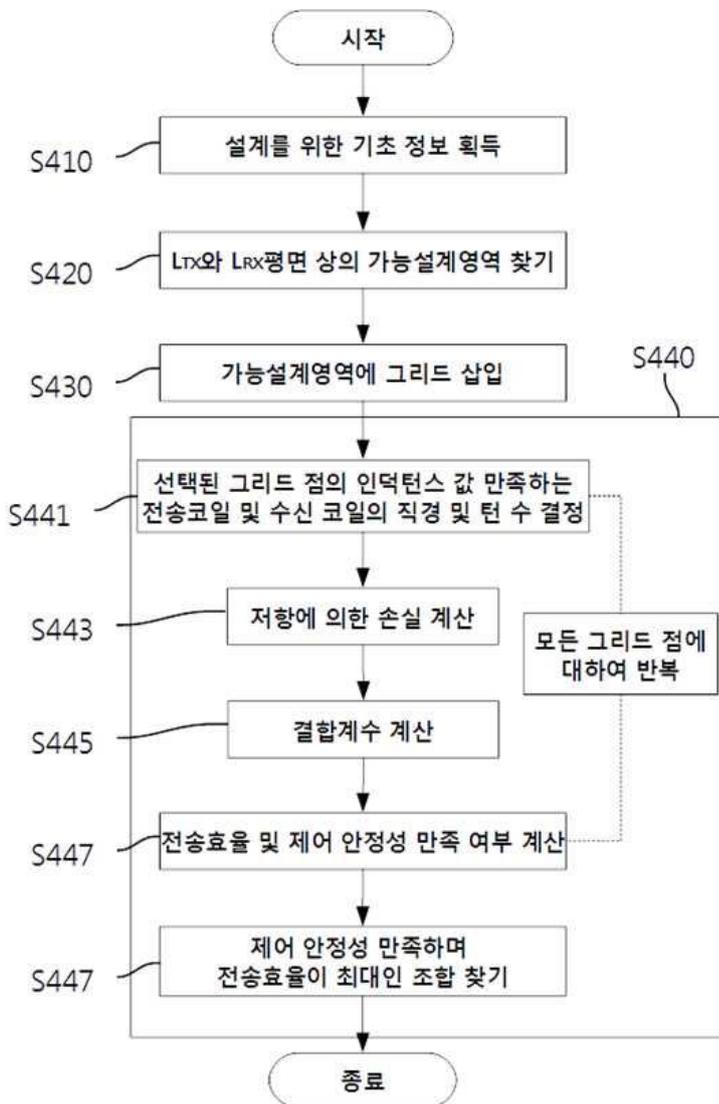
도면2



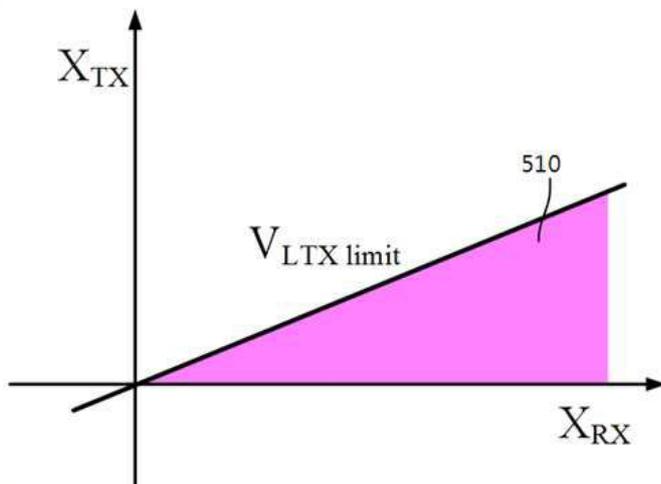
도면3



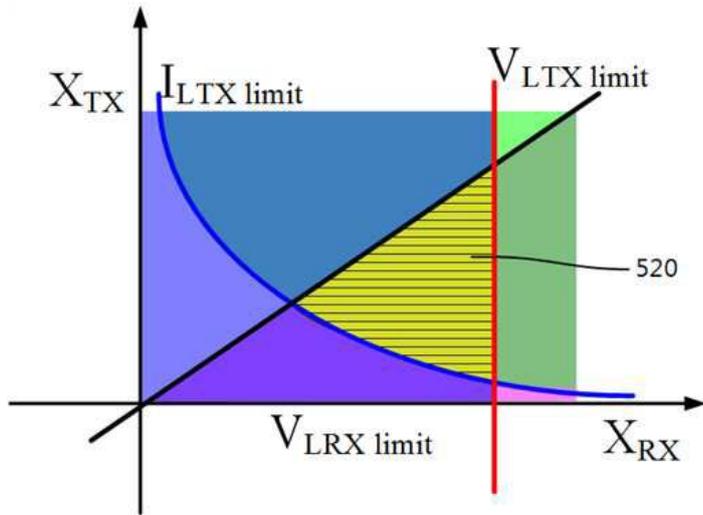
도면4



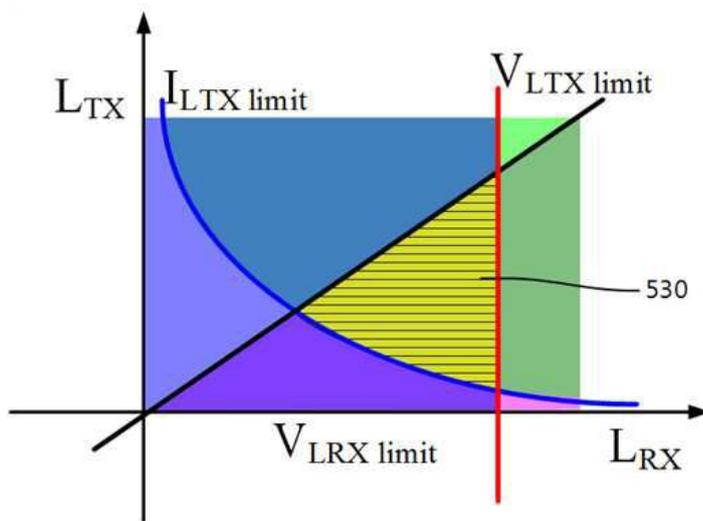
도면5a



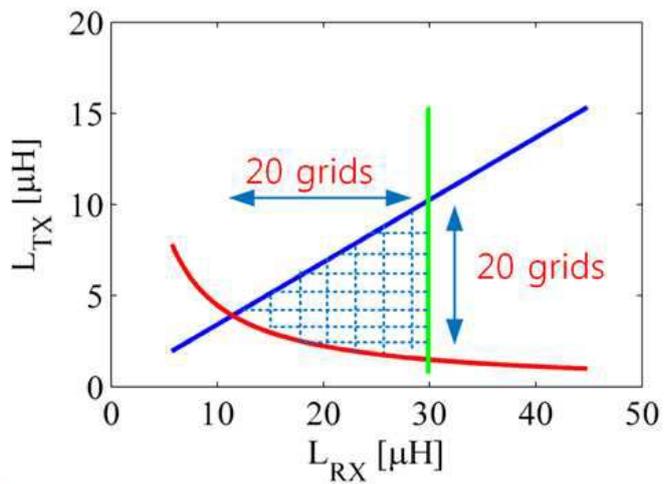
도면5b



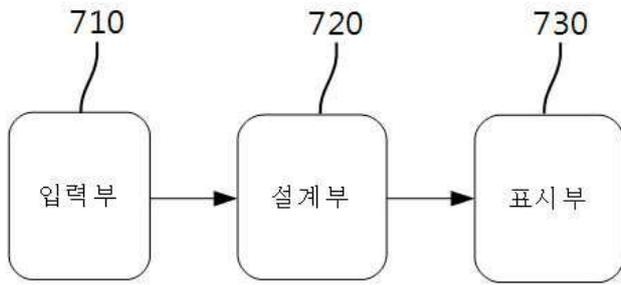
도면5c



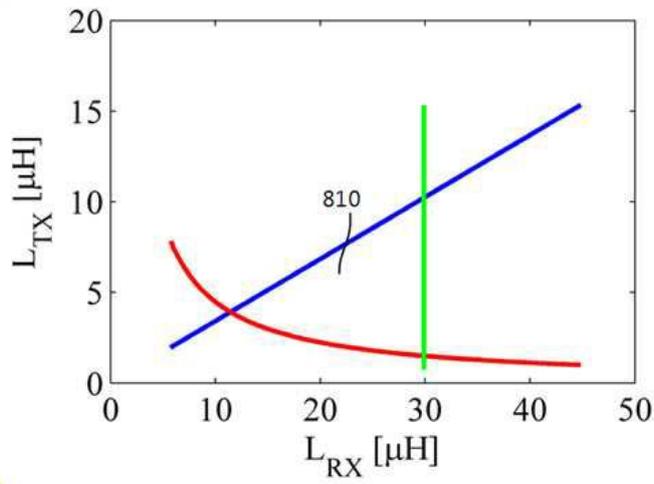
도면6



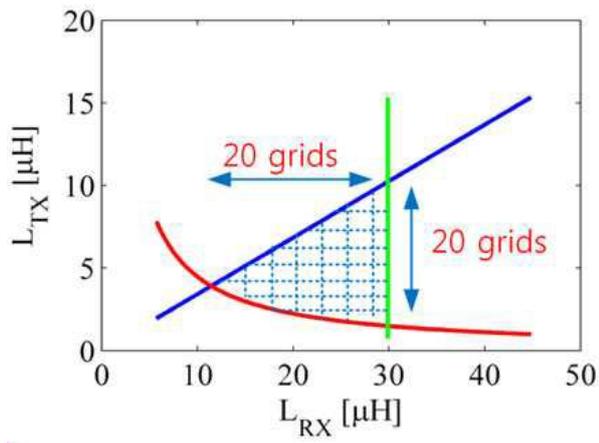
도면7



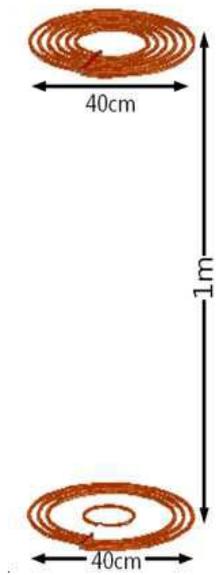
도면8a



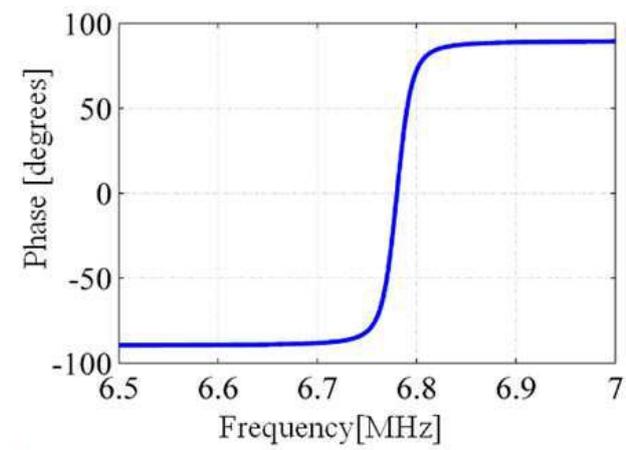
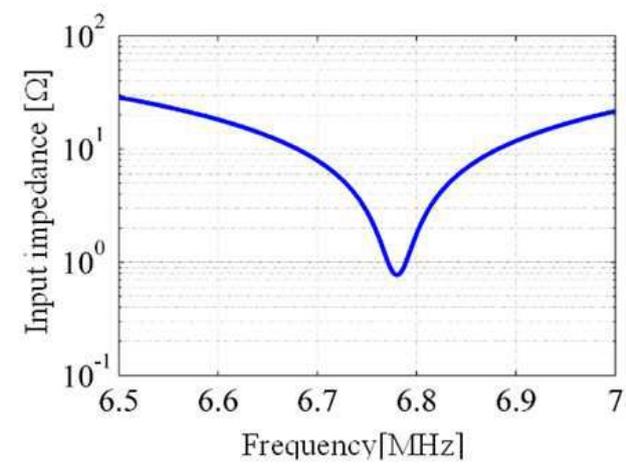
도면8b



도면9a



도면9b



도면9c

