



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0129410
(43) 공개일자 2018년12월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 50/12 (2016.01) H01L 27/28 (2006.01)
H03H 7/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 50/12 (2016.02)
H01L 27/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0065391
(22) 출원일자 2017년05월26일
심사청구일자 2017년05월26일

(71) 출원인
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 (신정
동, 울산신정푸르지오)
(74) 대리인
김중선, 이형석

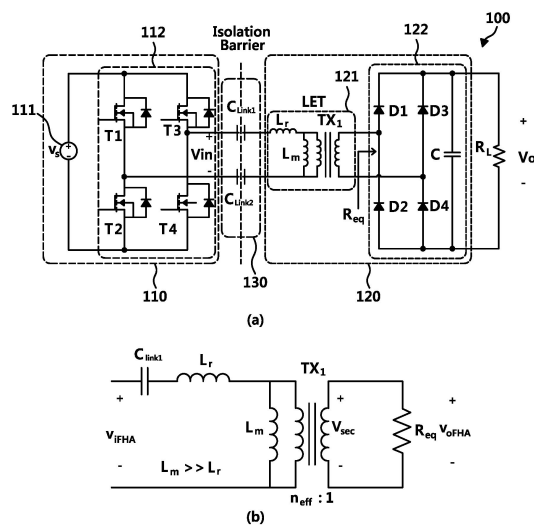
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템

(57) 요약

본 발명은 보다 간단한 회로 구성으로 보다 향상된 성능을 보장할 수 있도록 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템에 관한 것으로, DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 송신 장치; 상기 송신 장치의 AC 전압을 전계결합방식으로 무선 전송하는 한 쌍(pair)의 링크 캐패시터; 및 변압기 기능과 인덕터 기능을 동시 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하고, 상기 링크 캐패시터를 통해 전송되는 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 부하로 전달하는 수신 장치를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H03H 7/38 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345247652

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학개인지초연구지원

연구과제명 전계결합형 면대면 무선에너지 전송시스템 구축을 위한 송수신 회로 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산대학교 산학협력단

연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

링크 캐패시터를 통해 전계 결합방식으로 무선 전송되는 AC 전압을 수신하는 수신 장치에 있어서,

변압기 기능과 인덕터 기능을 동시 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부; 및

상기 임피던스 매칭부를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함하는 수신 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 LET 변압기는

EE 타입의 코어; 및

N:1의 권선비를 가지며, 기 설정 간격 이격된 1차 권선과 2차 권선;을 포함하는 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 LET 변압기는

" $Q = \frac{1}{n_{eff}^2 R_{eq}} \sqrt{\frac{L_r}{C_{link}}}$ "의 식에 따라 계산되는 공진 양호도(Q)와 " $f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r C_{link}}}$ "의 식에 따라 계산되는 공진 주파수(f_o)를 가지며, 상기 n_{eff} 는 유효 권선비, 상기 R_{eq} 는 AC 등가 부하 저항, 상기 L_r 는 누설 인덕턴스, 상기 C_{link} 는 링크 캐패시터인 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 LET 변압기는

" $V_{cap, stress} = \frac{4}{\pi} Q V_{in} \leq V_{cap, maximum}$ "의 조건을 만족시키도록 최대 전압 이득(M)이 결정되며, 상기 $V_{cap, stress}$ 는 캐패시터 전압 스트레스, 상기 $V_{cap, maximum}$ 는 최대 캐패시터 전압 스트레스, 상기 Q는 공진 양호도, 상기 V_{in} 는 입력 전압인 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 LET 변압기는

" $A_e A_w \geq \frac{10^4 P_o}{K_f B_{max} f K_u J_{rms}}$ "의 식에 따라 결정되는 코어 크기를 가지며,

상기 A_e 는 코어 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 A_w 는 권선 영역 또는 코어의 크기(cm^2), 상기 P_o 는 출력 전력, 상기 K_f 는 파형 팩터, 상기 B_{max} 는 최대 자계 밀도, 상기 f 는 스위칭 주파수, 상기 K_u 는 권선 충전율, 상기 J_{rms} 는 전류 밀도인 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 6

제2항에 있어서, 상기 LET 변압기는

$$N = \frac{N_s}{N_p} = \frac{n_{eff}}{k}$$
 "의 식에 따라 결정되는 1차측 권선 수(N_s)와,

$$N_{s\min} \geq \frac{V_{sec}(10^4)}{A_e B_{max} f K_f}$$
 " 내지

$$N_{s\max} \leq \frac{K_u A_w (1-\Delta)/2}{A_{cu}}$$
 "의 범위에서 결정되는 2차측 권선 수(N_p)를 가지며,

상기 N 은 권선비, 상기 n_{eff} 는 유효 권선비, 상기 k 는 0.98~0.99의 상수, 상기 V_{sec} 는 AC 등가 부하 저항(R_{eq}) 양단에 걸리는 전압, 상기 A_e 는 코어 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 B_{max} 는 최대 자계 밀도, 상기 f 는 스위칭 주파수, 상기 K_f 는 파형 팩터, 상기 K_u 는 권선 충전율, 상기 A_w 는 권선 영역 또는 코어의 크기(cm^2), 상기 A_{cu} 는 권선 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 Δ 는 권선 이격율인 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 7

제2항에 있어서, 상기 LET 변압기는

$$L_r = (1+k)\mu_o N_p^2 \frac{l_w h_w}{6b_w} (1+2\Delta)$$
 "의 식에 따라 높이(h_w)와 폭(b_w)이 결정되는 권선 윈도우,

$$\Delta = \frac{s_w}{h_w}$$
 "의 식에 따라 가로 길이(A)와 세로 길이(B)가 결정되는 코어 중앙 다리, 및 "

$$l_w = 2(A+B) + \pi h_w$$
 "의 식에 따라 결정되는 1차측 권선과 2차측 권선간 거리(s_w)를 가지며,
 상기 k 는 0.98~0.99의 상수,
 상기 μ_o 은 공기 투자율,
 상기 N_p 는 2차측 권선 수,
 상기 l_w 는 권선 평균 길이,
 상기 Δ 는 권선 이격율인 것을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 8

DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 송신 장치;

상기 송신 장치의 AC 전압을 전계 결합방식으로 무선 전송하는 한 쌍(pair)의 링크 캐패시터; 및

변압기 기능과 인덕터 기능을 동시 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하고,
 상기 링크 캐패시터를 통해 전송되는 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 부하로 전달하는 수신 장치를 포함하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 송신 장치는

상기 링크 캐패시터를 통해 전계 결합방식으로 무선 전송되는 AC 전압을 수신하고,
 상기 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부; 및

상기 임피던스 매칭부를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 송신 장치는

트랜지스터 기반의 풀-브릿지 컨버터를 통해 DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 스위칭부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

청구항 11

DC 전압을 AC 전압으로 변환하며,
 변압기 기능과 인덕터 기능을 동시 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 송신 장치;

상기 송신 장치의 AC 전압을 전계 결합방식으로 무선 전송하는 한 쌍(pair)의 링크 캐패시터; 및
상기 링크 캐패시터를 통해 전송되는 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 부하로 전달하는 수신 장치를 포함하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 송신 장치는

트랜지스터 기반의 풀-브릿지 컨버터를 통해 DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 스위칭부; 및

상기 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 수신 장치는

상기 링크 캐패시터를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 전력 전송 시스템에 관한 것으로, 특히 보다 간단한 회로 구성으로 보다 향상된 성능을 보장할 수 있도록 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현재 무선 전력 전송 시스템은 다양한 분야에서 사용되고 있는데, 대표적으로 많이 사용되고 있는 분야로는 차량이나 모바일 무선충전이 있으며, 이는 송수신부에 도체로 전극을 형성해 캐패시터가 생성되는 원리를 기반으로 에너지를 전송하는 전계결합 방식 등을 활용한다.

[0003] 도 1은 종래의 기술에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0004] 도 1의 (a)에 도시된 바와 같이, 종래의 무선 전력 전송 시스템은 DC 형태로 받은 에너지를 AC 형태로 변환시켜주는 송신부(10), AC 전압을 다시 DC전압으로 변환시켜주는 수신부(20), 및 링크 캐패시터(30)로 구성된다.

[0005] 도 1의 (b)는 도 1의 (a)의 등가회로로, 이를 참고하면 무선 전력 전송 시스템의 링크 캐패시터가 피코에서 나노 단위로 전압 스트레스가 시스템 공진 양호도Q(Quality factor)의 배수만큼 크게 발생하게 된다.

[0006] 따라서 인덕터나 변압기를 이용해서 캐패시터의 임피던스를 상쇄하는 방법인 도 1의 (c)와 같은 임피던스 매칭 네트워크(matching network)가 송신부(10)와 수신부(20) 양측 모두에 구비되어야 함을 알 수 있다.

[0007] 결과적으로, 종래의 무선 전력 전송 시스템은 임피던스 매칭 네트워크를 송신부와 수신부 양측 모두에 구비해야 하여, 시스템 부피가 증가할 뿐 만이 아니라 시스템 설계도 복잡해지는 단점을 가진다. 또한, 송신측과 수신측 각각에 마그네틱 소자가 구비되어야 하므로, 시스템 역률(system power factor)이 저하되며, 캐패시터 전압 스트레스는 증가되는 단점도 가진다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) 1. Chunting Chris Mi, Giuseppe Buja, Su Y. Choi and Chun T. Rim, "Modern Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway Powered Electric Vehicles," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 63, no.10, pp.6533-6545, Oct. 2016

(비특허문헌 0002) 2. Michael P. Theodoridis, "Effective Capacitive Power Transfer," IEEE Trans. on Power Electronics, vol.27, no.12, pp.4906-4913, Dec. 2012

(비특허문헌 0003) 3. Sung-Jin Choi, "Design Guidelines for a Capacitive Wireless Power Transfer

System with Input/Output Matching Transformers," Journal of Electrical Engineering & Technology, vol.11, no.6, pp.1656-1663, Nov. 2016

(비특허문헌 0004) 4. C. W. T. Mclyman, Transformer and Inductor Design Handbook, 4th ed., CRC Press, 2011

(비특허문헌 0005) 5. E. C. Snelling, Soft Ferrites-Properties and Applications, second ed., London Iliffe Books LTD, pp.337-358, 1969

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 이에 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 송신측과 수신측 중 어느 하나에만 임피던스 매칭 네트워크가 구비되도록 함으로써, 시스템 구성을 보다 간단화할 수 있도록 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 제공하고자 한다.
- [0010] 또한 캐패시터 전압 스트레스는 감소되고 시스템 역률을 증가되도록 함으로써, 시스템 성능은 향상될 수 있도록 하는 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 제공하고자 한다.
- [0011] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 링크 캐패시터를 통해 전계 결합방식으로 무선 전송되는 AC 전압을 수신하는 수신 장치는, 변압기 기능과 인덕터 기능을 동시에 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부; 및 상기 임피던스 매칭부를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 LET 변압기는 EE 타입의 코어; 및 N:1의 권선비를 가지며, 기 설정 간격 이격된 1차 권선과 2차 권선을 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0014] 그리고 상기 LET 변압기는 " $Q = \frac{1}{n_{eff}^2 R_{eq}} \sqrt{\frac{L_r}{C_{link}}}$ "의 식에 따라 계산되는 공진 양호도(Q)와 " $f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r C_{link}}}$ "의 식에 따라 계산되는 공진 주파수(f_o)를 가지며, 상기 n_{eff} 는 유효 권선비, 상기 R_{eq} 는 AC 등가 부하 저항, 상기 L_r 는 누설 인덕턴스, 상기 C_{link} 는 링크 캐패시터인 것을 특징으로 한다.

- [0015] 그리고 상기 LET 변압기는 " $V_{cap, stress} = \frac{4}{\pi} Q V_{in} \leq V_{cap, maximum}$ "의 조건을 만족시키도록 최대 전압 이득(M)이 결정되며, 상기 $V_{cap, stress}$ 는 캐패시터 전압 스트레스, 상기 $V_{cap, maximum}$ 는 최대 캐패시터 전압 스트레스, 상기 Q는 공진 양호도, 상기 V_{in} 는 입력 전압인 것을 특징으로 한다.

- [0016] 그리고 상기 LET 변압기는 " $A_e A_w \geq \frac{10^4 P_o}{K_f B_{max} f K_u J_{rms}}$ "의 식에 따라 결정되는 코어 크기를 가지며, 상기 A_e 는 코어 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 A_w 는 권선 영역 또는 코어의 크기(cm^2), 상기 P_o 는 출력 전력, 상기 K_f 는 파형 팩터, 상기 B_{max} 는 최대 자계 밀도, 상기 f는 스위칭 주파수, 상기 K_u 는 권선 충전율, 상기 J_{rms} 는 전류 밀도인 것을 특징으로 한다.

- [0017] 그리고 상기 LET 변압기는 " $N = \frac{N_s}{N_p} = \frac{n_{eff}}{k}$ "의 식에 따라 결정되는 1차측 권선 수(N_s)와,

" $N_{smin} \geq \frac{V_{sec}(10^4)}{A_e B_{max} f K_f}$ " 내지 " $N_{smax} \leq \frac{K_u A_w (1-\Delta)/2}{A_{cu}}$ "의 범위에서 결정되는 2차측 권선 수(N_p)를 가지며, 상기 N 은 권선비, 상기 n_{eff} 는 유효 권선비, 상기 k 는 0.98~0.99의 상수, 상기 V_{sec} 는 AC 등가 부하 저항(R_{eq}) 양단에 걸리는 전압, 상기 A_e 는 코어 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 B_{max} 는 최대 자계 밀도, 상기 f 는 스위칭 주파수, 상기 K_f 는 파형 팩터, 상기 K_u 는 권선 충전율, 상기 A_w 는 권선 영역 또는 코어의 크기(cm^2), 상기 A_{cu} 는 권선 횡단면 영역의 크기(cm^2), 상기 Δ 는 권선 이격율인 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 LET 변압기는 " $L_r = (1+k)\mu_o N_p^2 \frac{l_w h_w}{6b_w} (1+2\Delta)$ "의 식에 따라 높이(h_w)와 폭(b_w)이 결정되는 권선 윈도우,

" $L_w = 2(A+B) + \pi h_w$ "의 식에 따라 가로 길이(A)와 세로 길이(B)가 결정되는 코어 중앙 다리, 및 " $\Delta = \frac{s_w}{h_w}$ "의 식에 따라 결정되는 1차측 권선과 2차측 권선간 거리(s_w)를 가지며, 상기 k 는 0.98~0.99의 상수, 상기 μ_o 은 공기 투자율, 상기 N_p 는 2차측 권선 수, 상기 l_w 는 권선 평균 길이, 상기 Δ 는 권선 이격율인 것을 특징으로 한다.

[0019] 상기 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 본 발명의 다른 실시 형태에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템은, DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 송신 장치; 상기 송신 장치의 AC 전압을 전계 결합방식으로 무선 전송하는 한 쌍(pair)의 링크 캐패시터; 및 변압기 기능과 인덕터 기능을 동시에 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하고, 상기 링크 캐패시터를 통해 전송되는 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 부하로 전달하는 수신 장치를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 수신 장치는 상기 링크 캐패시터를 통해 전계 결합방식으로 무선 전송되는 AC 전압을 수신하고, 상기 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부; 및 상기 임피던스 매칭부를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 송신 장치는 트랜지스터 기반의 풀-브릿지 컨버터를 통해 DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 스위칭부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 본 발명의 또 다른 실시 형태에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템은, DC 전압을 AC 전압으로 변환하며, 변압기 기능과 인덕터 기능을 동시에 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 송신 장치; 상기 송신 장치의 AC 전압을 전계 결합방식으로 무선 전송하는 한 쌍(pair)의 링크 캐패시터; 및 상기 링크 캐패시터를 통해 전송되는 상기 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 부하로 전달하는 수신 장치를 포함한다.

[0023] 상기 송신 장치는 트랜지스터 기반의 풀-브릿지 컨버터를 통해 DC 전압을 AC 전압으로 변환하는 스위칭부; 및 상기 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기를 통해 임피던스 매칭을 수행하는 임피던스 매칭부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 상기 수신 장치는 상기 링크 캐패시터를 통해 전달되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 출력하는 정류부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명의 무선 전력 전송 시스템은 송신 장치와 수신 장치 중 어느 하나에만 임피던스 매칭 네트워크가 구비될 수 있도록 함으로써, 시스템 구조가 획기적으로 감소될 수 있도록 한다.

[0026] 또한 임피던스 매칭 네트워크가 LET 변압기 하나만으로 구현될 수 있도록 하여, 임피던스 매칭 네트워크의 구조가 간단화될 수 있도록 한다.

[0027] 뿐만 아니라 시스템 공진을 위해 LET 변압기 하나만 사용하므로, 시스템 역률이 높아지고, 시스템 공진 양호도가 LET 변압기의 권선비에 비례하여 감소하여 캐패시터 전압 스트레스도 감소하는 효과도 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 종래의 기술에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도3은 본 발명의 일 실시예에 따른 LET 변압기 구조를 도시한 도면이다.
- 도4는 본 발명의 일 실시예에 따른 LET 변압기의 토폴로지 설계 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도5는 공진 주파수(f_0)와 공진 양호도(Q)에 따른 $1/\text{Gain}$ 곡선을 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7 및 도8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 본 발명에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적인 용어가 본 발명의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에는, 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에서 사용되는 일반적인 용어는 사전에 정의되어 있는 바에 따라, 또는 전후 문맥상에 따라 해석되어야 하며, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.
- [0030] 또한, 본 발명에서 사용되는 단어의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 발명에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계를 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복된 설명은 생략하기로 한다.
- [0032] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.
- [0033] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템을 설명하기 위한 도면으로, (a)는 시스템 구성도, (b)는 등가 회로이다.
- [0034] 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 무선 전력 전송 시스템(100)은 송신 장치(110), 수신 장치(120), 및 링크 캐패시터(130)를 포함하되, 수신 장치(120) 하나만이 임피던스 매칭부(121)를 구비하도록 한다.
- [0035] 송신 장치(110)는 DC 전원(111) 및 스위칭부(112) 등을 포함한다.
- [0036] DC 전원(111)은 소정의 DC 전압(V_s)을 발생 및 제공하고, 스위칭부(112)는 트랜지스터 기반의 풀-브릿지 컨버터(T1~T4)로 구현되어, 4개의 트랜지스터(T1~T4)의 스위치 동작을 통해 DC 전원(111)의 DC 전압을 AC 전압으로 변환한다.
- [0037] 또한, 본 발명의 송신 장치(110)는 제어 회로(미도시)를 추가 구비하고, 이를 통해 4개의 스위치(T1~T4)의 턴온/턴오프 주기를 PWM(Pulse Wide Modulation) 제어하여, 출력 전압값을 능동 가변할 수도 있음은 물론 당연하다.
- [0038] 수신 장치(120)는 임피던스 매칭부(121) 및 정류부(122) 등을 포함한다.
- [0039] 임피던스 매칭부(121)는 인덕터 기능과 변압기 기능을 동시에 제공하는 LET(Leakage-Enhanced Transformer) 변압기(LET)를 구비하고, 이를 통해 캐패시터 임피던스를 상쇄시키는 임피던스 매칭을 수행하도록 한다.
- [0040] 이때의 LET 변압기(LET)는 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이, 링크 캐패시터(C_{link})에 연결되는 1차측과 출력단에

연결된 2차측을 구비하는 변압기(TX1), 변압기 1차측에 직렬 연결되는 누설 인덕턴스(L_r)로 구성되는 등가 회로를 가질 수 있다. 이때, 변압기 1차측에 병렬 연결되는 자화 인덕턴스(L_m)는 누설 인덕턴스(L_r)에 비해 매우 큰 값을 가져, 오픈된 것으로 가정 가능하다. 즉, 본 발명의 LET 변압기(LET)는 누설 인덕턴스(L_r)만으로 LC 시스템 공진시켜, 무효 전력을 최소화시켜 준다.

[0041] 정류부(122)는 다이오드 기반의 풀-브릿지 정류기(D1~D4)와 캐패시터 필터(C) 등을 구비하여, 임피던스 매칭부(121)로부터 출력되는 AC 전압을 정류하여 DC 전압을 생성 및 안정화시키고, 이를 출력 부하(R_L)에 공급하도록 한다.

[0042] 링크 캐패시터(130)는 송신 장치(110)와 수신 장치(120)의 물리적인 분리 구간에서 에너지 전송을 위해 형성되는 전계 결합용 AC-링크 캐패시터 성분을 말하며, 전류 회수 경로의 필요성 때문에 송신 장치(110)의 출력단과 수신 장치(120)의 입력단 사이에 한 쌍(C_{Link1})(C_{Link2})이 구성된다.

[0043] 이와 같이, 본 발명에서는 임피던스 매칭부(121)가 수신 장치(120)에만 구비되도록 함으로써, 송신 장치(110)가 매우 간단히 구성될 수 있도록 한다.

[0044] 또한 임피던스 매칭부(121)가 LET 변압기(LET)라는 하나의 마그네틱 소자를 통해 구현되도록 함으로써, 임피던스 매칭부(121), 더 나아가 수신 장치(120)의 구성도 보다 간단해질 수 있도록 한다.

[0045] 더하여, 마그네틱 소자가 하나이므로 보다 높은 시스템 역률을 얻을 수 있으며, 시스템 공진 양호도(Q)가 변압기 권선비에 따라 캐패시터 전압 스트레스가 종래에 비해 줄어드는 효과도 제공한다.

[0046] 이하, 도3 및 도4를 참고하여 본 발명의 LET 변압기에 대해 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0047] 도3은 본 발명의 일 실시예에 따른 LET 변압기 구조를 도시한 도면으로, (a)는 코어 측면도, (b)는 변압기 측면도(side view), (c)는 변압기 상면도(top view)이다.

[0048] 도3의 (a) 내지 (c)를 참고하면, 본 발명의 LET 변압기(131)는 EE 구조의 코어(310), N:1의 권선비를 가지며, 기 설정 간격 이격되는 1차측 권선(321)과 2차측 권선(322)을 포함할 수 있다.

[0049] 또한, 필요한 경우 1차측 권선(321)과 2차측 권선(322)은 코어(310)에 직접 감겨질 수도 있으나, EE 구조의 코어(310)에 끼워지는 보빈(320)을 추가 구비하고, 이를 통해 1차측 권선(321)과 2차측 권선(322)을 형성할 수도 있도록 한다. 그리고 1차측 권선(321)과 2차측 권선(322) 사이를 물리적으로 격리시키기 위한 에어 갭(330)도 추가 구비할 수 있도록 한다.

[0050] LET 변압기(131)가 이와 같은 구조를 가지는 경우, 1차측 권선(N_p)과 2차측 권선(N_s)의 쇄교 자속수의 차이를 기반으로 누설 인덕터(L_r)가 자연 형성되며, 자화 인덕턴스(L_m)는 별도로 형성되지 않게 된다. 즉, 누설 인덕턴스(L_r)에 비해 매우 큰 값을 가지는 자화 인덕턴스(L_m)가 발생된다고 가정할 수 있게 된다.

[0051] 만약, 자화 인덕턴스(L_m)가 누설 인덕턴스(L_r)에 비해 매우 큰 값(예를 들어, 5배 이상의 값)을 가지게 되면, LET 변압기(131)의 등가 회로에서 자화 인덕턴스(L_m)는 거의 오픈(open)된 것으로 가정될 수 있다.

[0052] 이러한 가정하에 LET 변압기(131)의 등가 회로는 APR(All Primary Referenced) 모델을 기반으로 해석될 수 있으며, 정류기 앞에서 본 AC 등가 부하 저항(R_{eq})과 LET 변압기의 최대 전압 이득(M)은 이하의 수학적식1과 수학적식2를 통해 계산될 수 있다.

[0053] [수학적식 1]

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} R_L$$

[0054]

[0055] [수학적식 2]

$$M = \frac{V_{oFHA}}{V_{iFHA}} = \frac{1/n_{eff}}{1 + Q^2[(f/f_o)^2 - 1]^2}$$

[0056]

[0057] 이때, V_{oFHA} , V_{iFHA} 는 각각 기본 신호(fundamental sine) 입력과 출력이고, n_{eff} , f_o , Q는 수학적식3으로 표현될 수 있

다.

[수학식 3]

$$n_{eff} = kN, f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_{link}}}, Q = \frac{1}{n_{eff}^2 R_{eq}} \sqrt{\frac{L_r}{C_{link}}}$$

이때, f는 스위칭 주파수이고, f_o는 공진 주파수, n_{eff}는 유효 권선비이다.

도4는 본 발명의 일 실시예에 따른 LET 변압기의 토폴로지 설계 방법을 설명하기 위한 도면이다.

먼저, 단계 S1에서는, 출력 전압(V_o), 입력 전압(V_{in}), 링크 캐패시터(C_{link}), 및 부하 저항(R_L)에 대한 정보를 획득한다.

단계 S2에서는, 공진 주파수(f_o)와 최대 전압 이득(M)을 선정하고, 동작상태를 결정한다.

도5는 공진 주파수(f_o)와 공진 양호도(Q)에 따른 1/Gain 곡선을 나타낸 도면으로, 이를 참고하면 일반적으로 Q값이 너무 크면 캐패시터 전압 스트레스(V_{cap, stress})가 커지고 Q값이 1보다 작으면 FHA(Fundamental harmonic approximation)가 성립하지 않음을 알 수 있다.

이에 본 발명에서는 공진 주파수(f_o)와 최대 전압 이득(M)을 캐패시터 전압 스트레스(V_{cap, stress})와 수신 장치 크기를 고려하여 수학식 4를 기반으로 결정하도록 한다. 즉, 캐패시터 전압 스트레스(V_{cap, stress})가 최대 캐패시터 전압 값(V_{cap, maximum}) 보다 작으며, 수신 장치 크기가 너무 커지지 않도록 공진 주파수를 결정하도록 한다.

[수학식 4]

$$V_{cap, stress} = \frac{4}{\pi} Q V_{in} \leq V_{cap, maximum}$$

단계 S3에서는, 스위칭 주파수와 공진주파수가 유사하다는 가정하에서, 수학식5의 영역 산출식을 기반으로 LET 변압기의 코어 크기를 결정하도록 한다.

[수학식 5]

$$A_e A_w \geq \frac{10^4 P_o}{K_f B_{max} f K_u J_{rms}}$$

이때, A_e는 코어 횡단면 영역(core cross-sectional area)의 크기(cm²), A_w는 권선 영역 또는 코어(winding area or core)의 크기(cm²), K_f는 파형 팩터(4: square wave, 4.44 sine wave), B_{max}는 최대 자계 밀도(0.3T: ferrite saturation), f는 스위칭 주파수, K_u는 권선 충전율(winding fill factor(일반적으로, 0.3~0.6), J_{rms}는 전류 밀도(일반적으로, 500A/cm²), P_o는 출력 전력이다.

단계 S4에서는, LET 변압기의 1차측 권선 수(N_p)와 2차측 권선 수(N_s)를 결정한다.

2차측 권선 수(N_s)를 수학식 6과 7의 범위 내에서 결정한다. 이때, 수학식 6는 포화 한계(saturation limit)과 권선 수의 상관관계를 나타내는 식이고, 수학식 7은 최대 권선 윈도우 영역(winding window area)과 권선 수의 상관관계를 나타내는 식이다.

[수학식 6]

$$N_{s min} \geq \frac{V_{sec}(10^4)}{A_e B_{max} f K_f}$$

[0076] [수학식 7]

$$N_{s\max} \leq \frac{K_u A_w (1 - \Delta) / 2}{A_{cu}}$$

[0078] 이때, V_{sec} 는 수신 장치의 AC 등가 부하 저항(R_{eq}) 양단에 걸리는 전압, A_{cu} 는 권선 횡단면 영역의 크기, Δ 는 권선 이격율(winding separation)이다.

[0079] 1차측 턴 수는 LET 변압기의 k값을 아는 경우에 한해 수학식 8에 의해서 결정되며, k값은 일반적으로 0.98~0.99이다.

[0080] [수학식 8]

$$N = \frac{N_s}{N_p} = \frac{n_{eff}}{k}$$

[0081]

[0082] 단계 S5에서는, LET 변압기의 1차측과 2차측 사이의 거리(s_w)를 결정한다.

[0083] 단계 S2에서 선정된 주파수를 이용하면 누설 인덕터(L_r)값을 알 수 있다. 본 발명에서와 같이, EE 코어 구조에 one-above another 구조로 LET 변압기를 제작하는 경우, L_r 값은 이하의 수학식 9를 통해 계산 가능하다.

[0084] [수학식 9]

$$L_r = (1 + k) \mu_o N_p^2 \frac{l_w h_w}{6 b_w} (1 + 2\Delta)$$

[0085]

[0086] 이때, h_w 와 b_w 는 권선 윈도우 영역(winding window area)의 높이와 폭, μ_o 은 공기 투자율이다. 그리고 l_w 는 평균 길이 권선(mean length turn), Δ 는 권선 이격율을 나타내며, 수학식 10을 통해 계산가능하다.

[0087] [수학식 10]

$$l_w = 2(A + B) + \pi h_w$$

[0088]

[0089] 이때, A와 B는 코어의 가로와 세로 길이이다.

[0090] 그리고 권선 이격율(Δ)은 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

[0091] [수학식 11]

$$\Delta = \frac{s_w}{h_w}$$

[0092]

[0093] 그러면, 수학식 11을 통해 계산된 Δ 를 이용해, 1차측 권선과 2차측 권선 사이의 거리 s_w 를 구할 수 있게 된다.

[0094] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명은 EE 타입의 코어와 N:1의 권선비를 가지며, 기 설정 간격 이격된 1차 권선과 2차 권선을 구비하는 LED 변압기를 제안하고, 공진 주파수(f_o)와 최대 전압 이득(M) 등을 고려하여 이의 토폴로지를 최적화시킴으로써, LED 변압기가 감소된 캐패시터 전압 스트레스를 가질 수 있도록 한다.

[0095] 이상의 설명에서는 임피던스 매칭부(121)가 수신 장치(120)에 구비되는 경우에 한해 설명하였지만, 필요한 경우 송신 장치가 수신 장치 대신에 임피던스 매칭 네트워크를 구비하도록 할 수도 있음을 당연할 것이다.

[0096] 즉, 도6에 도시된 바와 같이 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템은 송신 장치(110')가 DC 전원(111), 스위칭부(112), 및 임피던스 매칭부(113)를 포함하고, 수신 장치(120)가 정류부(122)만을 포함할 수 있도록 한다.

[0097] 만약, LET 변압기(LET)의 권선비가 N:1이면, 시스템 공진 양호도(Q)와 공진 주파수(f_o)는 수학식12 및 13에 따라 계산할 수 있다.

[0098] [수학식 12]

$$Q = \frac{1}{NR_{eq}} \sqrt{\frac{L_r}{C_{link}}}$$

[0100] [수학식 13]

$$f_o = \frac{N}{2\pi\sqrt{L_r C_{link}}}$$

[0102] 즉, 수학식 12 및 13을 참고하면, LET 변압기(LET)의 경우, 시스템 공진 양호도(Q)는 권선비(N)만큼 감소하여 캐패시터 전압 스트레스가 감소하고, 공진 주파수(f_o)는 N배 만큼 높아지게 됨을 알 수 있다.

[0103] 반면, LET 변압기(LET)의 권선비가 1:N이면, 시스템 공진 양호도(Q)는 수학식14과 같이 권선비 만큼 증가하여 캐패시터 전압 스트레스가 증가하게 되고, 공진 주파수(f_o)는 수학식15과 같이 N배 만큼 감소하게 된다.

[0104] [수학식 14]

$$Q = \frac{N}{R_{eq}} \sqrt{\frac{L_r}{C_{link}}}$$

[0106] [수학식 15]

$$f_o = \frac{1}{N2\pi\sqrt{L_r C_{link}}}$$

[0108] 이때, C_{link} 는 한쌍의 링크 캐패시터(C_{Link1}, C_{Link2})를 직렬 연결한 값이다.

[0109] 이에 수신 장치의 크기가 중요하고 시스템의 캐패시터 전압 스트레스가 중요하며 높은 주파수를 가진 시스템인 경우에는 변압기의 권선비를 N : 1로 선정하고, 사용하고자 하는 수신 장치의 사이즈가 중요하고 시스템의 캐패시터 전압 스트레스 마진이 크며 낮은 주파수를 적용하고자 하는 시스템인 경우에는 변압기의 권선비를 1 : N로 선정하면 된다.

[0110] 그리고 수학식12 및 13, 또는 수학식 14 및 15의 시스템 공진 양호도(Q)와 공진 주파수(f_o)를 기반으로 도4의 토폴로지 설계 방법을 수행함으로써, 도6의 시스템에 적합한 LET 변압기 또한 설계할 수 있게 된다.

[0111] 도 7 및 도8은 본 발명의 일 실시예에 따른 전계결합 방식 기반의 무선 전력 전송 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면으로, 도 7의 (a)는 시뮬레이션 파형도, 도 7의 (b)는 하드웨어 파형도, 도 8의 (a)는 자계 전체 부피 비교 결과, 도 8의 (b)는 자계 전체 손실 비교 결과이다.

[0112] 출력전력은 5W, 부하저항은 20Ω(10V/0.5A)이고 링크 캐패시터 C_{link} 는 1nF을 커플링 계수는 0.990, 입력전압은 50V이라고 설정하고, 본 발명의 토폴로지를 설계하면, 공진주파수가 약 400KH 이고 공진양호도(Q)가 1일 때, 권선비 N는 약 5가 나오고 L_r 은 약 158.3uF가 나오고, 표1과 같은 스펙을 가지는 LET 변압기가 설계된다.

표 1

[0113]

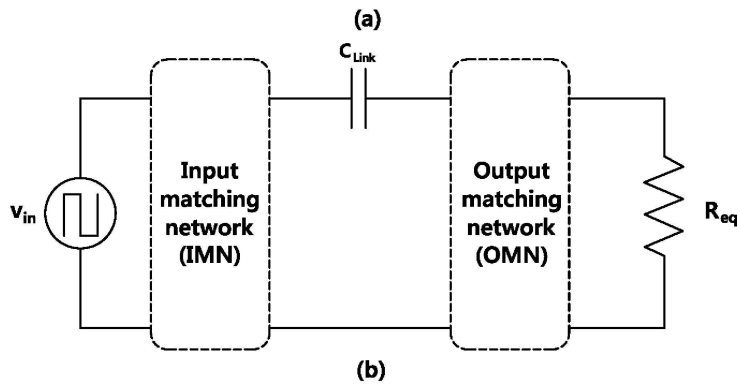
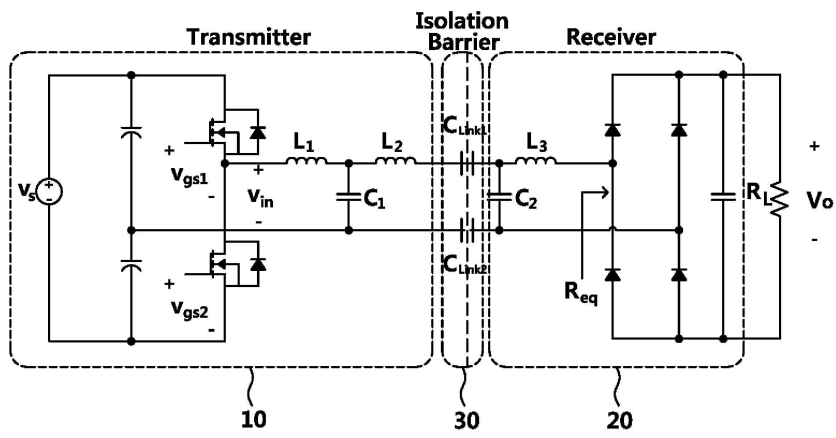
design specification	
core type	EE2519
effective turn ratio (n_{eff})	5
# of turns (pri.)	66
# of turns (sec.)	12
winding separation(s_w)	3.3mm
wire size (pri.)	0.06/20 litz
wire size (sec.)	0.1/40 litz
relative permeability	2400 (PL-7)
measurement results	

series resonant inductor(L_r)	184.48 μ H
parallel resonant inductor(L_m)	10.18mH
effective turn ratio (n_{eff})	5.12

- [0114] 이를 토대로 PISM 시뮬레이션을 수행하면, 도 7의 (a)의 시뮬레이션 파형이 획득된다.
- [0115] 그리고 설계된 스펙에 따라 무선 전력 전송 시스템을 구현하고 구동한 결과, 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, 공진주파수 f_0 는 361.61KHz가 측정되어 시뮬레이션 결과와 약 10% 정도만 상이하고, 최대 전류는 180mA로, C_{link1} 에 걸리는 전압은 최대 32V로 측정되어 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.
- [0116] 더하여, 앞서 설명된 종래 기술에 따른 무선 전력 전송 시스템과 본 발명의 무선 전력 전송 시스템을 동일 조건 하에서 구현한다면, 도 8의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 무선 전력 전송 시스템은 종래에 비해 약 4배 정도 작은 자계 전체 부피와 약 3배 정도 작은 자계 전체 손실을 가지게 됨을 알 수 있다.
- [0117] 상술한 실시예에 설명된 특징, 구조, 효과 등은 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함되며, 반드시 하나의 실시예에만 한정되는 것은 아니다. 나아가, 각 실시예에서 예시된 특징, 구조, 효과 등은 실시예들이 속하는 분야의 통상의 지식을 가지는 자에 의하여 다른 실시예들에 대해서도 조합 또는 변형되어 실시 가능하다.
- [0118] 따라서 이러한 조합과 변형에 관계된 내용들은 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다. 또한, 이상에서 실시예들을 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예들에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부한 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

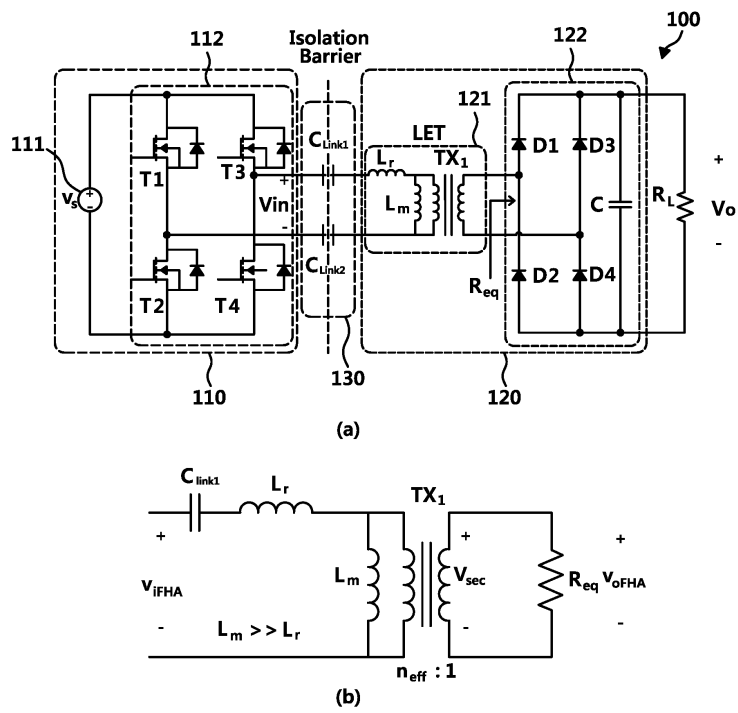
도면1



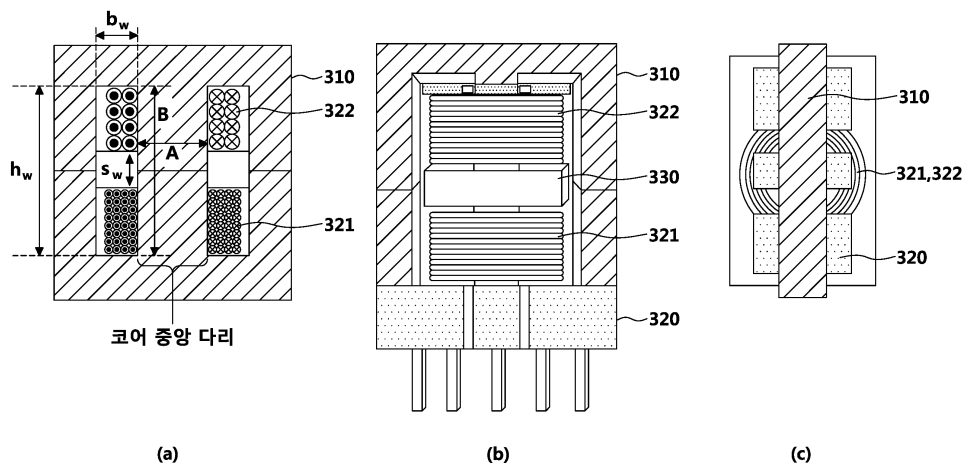
Ref.	IMN	OMN
1		
2		

(c)

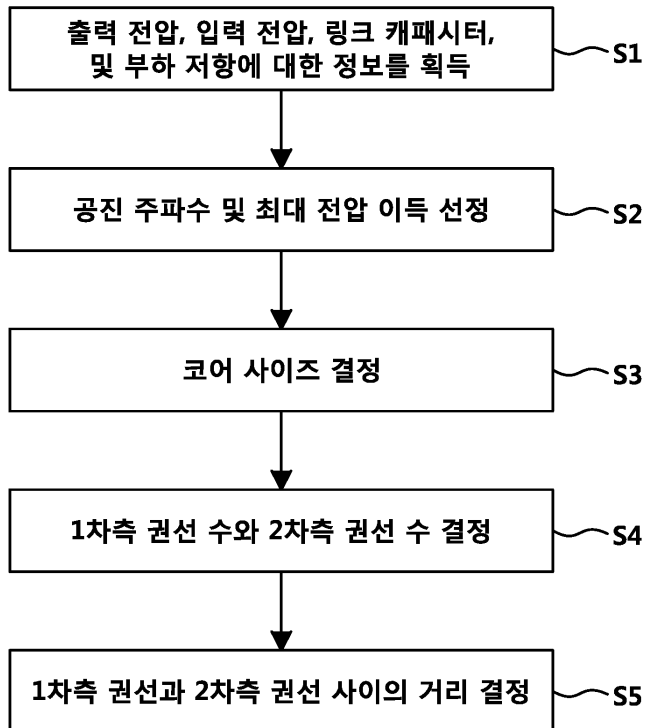
도면2



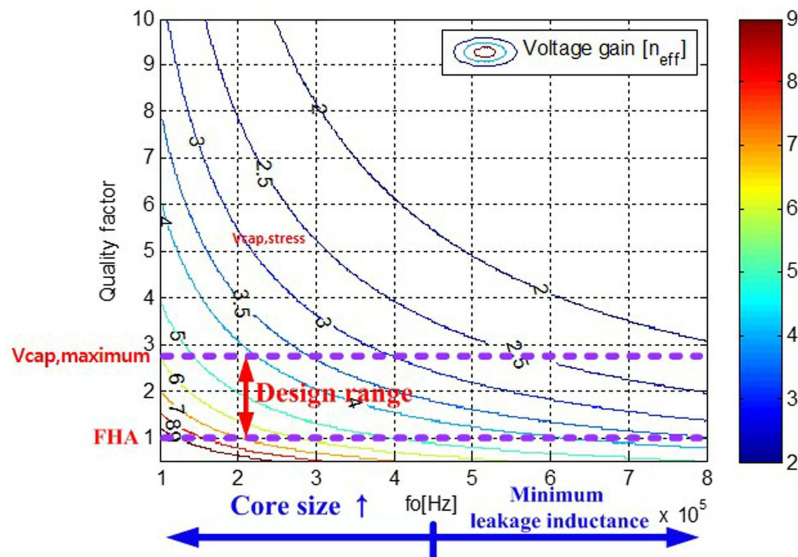
도면3



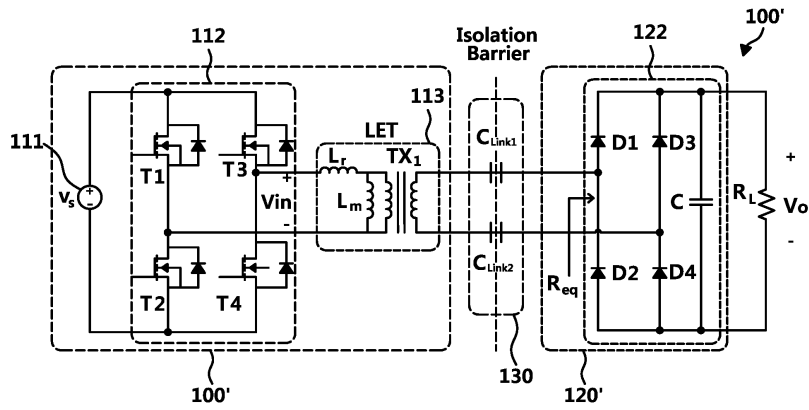
도면4



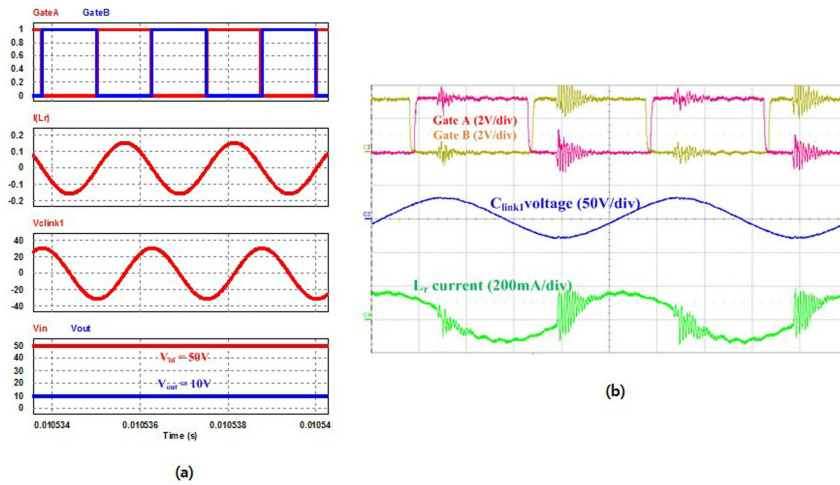
도면5



도면6



도면7



도면8

