

# 무선전력전송을 위한 집전 시스템 설계

이동수, 임동남, 전성준  
부경대학교 전자공학과

## Pickup system design for wireless power transfer

Dong Su Lee, Dong Nam Lim, Seong Jeub Jeon  
Dept of electronics engineering, Pukyong National University

### ABSTRACT

Wireless power transfer (WPT) system studied recently is very attractive because it removes power cables from home appliances, office equipment and battery chargers for electric vehicle. In this paper a pickup design method based on a conventional design method is proposed. A prototype pickup system designed according to the proposed method is constructed and tested, and its validness is verified.

### 1. 서론

최근 들어 전기기기의 편리성과 안전성을 위하여 무선전력전송 시스템이 많이 연구되고 도입되고 있다. 무선전력전송 시스템은 급전 측에서 집전 측으로 직접 전선을 연결하지 않아도 되는 장점이 있다. 이런 장점으로 인해 가전 기기, 사무용 기기나 전기 자동차 등에 무선으로 전기를 공급하는 시스템이 크게 주목을 받고 있다. 무선 전력전송 시스템의 급집전 시스템은 변압기로 해석할 수가 있다. 그러나 일반적인 변압기에 비해 1차와 2차의 이격거리가 큰 특징이 있다. 큰 이격 거리에 따라 자속이 적어져 충분한 기전력을 발생시키지 못하는 문제는 사용 주파수를 높여서 해결을 하고 있으며 이격 거리가 클 때 야기되는 자기 인덕턴스는 크고 상호 인덕턴스가 작은 문제는 공진을 도입하여 해결하고 있다.<sup>[1]</sup>

### 2. 본론

#### 2.1 무선전력전송 시스템의 구성

무선 전력 전송 시스템은 일종의 변압기로 해석할 수 있다.<sup>[1]</sup> 단지 일반적인 변압기와는 달리 1차와 2차가 격리되어 있고 움직일 수 있다는 점이 다르다. 1차와 2차가 분리되어 있으므로 여자 인덕턴스는 매우 작고 누설 인덕턴스는 매우 크다 이런 경우는 이상적인 변압기에 기초한 변압기 모델보다는 상호결합을 하고 있는 인덕터로 표현하는 모델이 다루기가 쉽다. 그림 1은 인덕터 모델에서의 무선전력 전송 시스템의 표현이다.<sup>[2]</sup> 이 모델에서 시스템은 다음의 (1)과 (2) 식으로 표현된다.  $L_1$ ,  $L_2$ 는 각기 1차와 2차의 자기 인덕턴스,  $M$ 은 상호 인덕턴스이다. 상호인덕턴스는 전력전송에 기여하고 자기 인덕턴스는 전류의 흐름을 억제하기 때문에 전력전송에 방해되는 항이다. 이 항은 정현파 동작을 가정하면 캐패시터로 상쇄시킬 수 있다.

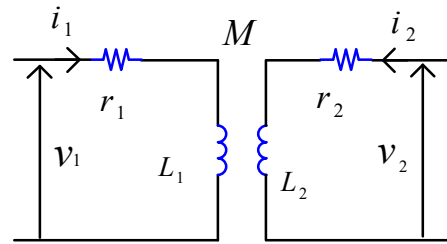


그림 1 무선전력전송 시스템

$$v_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \quad (1)$$

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} + r_2 i_2 \quad (2)$$

무선전력전송시스템은 자기인덕턴스를 상쇄시키는 정도나 방법에 따라 몇 가지로 나눌 수 있다. 그 중 첫째는 무보상형, 둘째는 1차 보상형, 셋째는 양측 보상형, 넷째는 다보상형이다. 무보상형은 보상을 하지 않는 것으로 아주 밀결합된 변압기를 사용하는 경우에 사용되고, 1차 보상형은 밀결합되어 있거나 2차 측을 접근할 수 없는 경우 에너지 전달 능력을 증가시키기 위하여 사용되는데 유도가열 장치나 무전극 lamp는 후자에 속한다. 또 밀결합된 경우에는 전력변환장치의 효율증대를 위하여 사용된다. 양측 보상형이 가장 일반적으로 사용될 수 있는 것이고 본 논문은 이 형태에 대하여 주로 논한다. 다공진형은 권선이 셋 또는 그 이상을 사용하는 것으로 설계 방법이 권선의 설치 목적에 따라 달라진다.

#### 2.2 시스템의 보상

그림 1의 회로에서 정현파 동작을 가정하면 식(1), (2)에서 자기 인덕턴스에 의해 유도되는 항은 캐패시터로 상쇄시킬 수 있다. 이렇게 하면 양측 공진형이 된다. 정현파동작 시에는 페이저로 표현하는 것이 편리하다. 식 (1), (2)에 보상용(공진) 직렬 캐패시터를 추가하여 페이저로 표현하면 다음과 같고 이 표현은 수백 kHz 대까지 사용할 수 있다.

$$\mathbf{V}_1 = \frac{1}{j\omega C_{r1}} \mathbf{I}_1 + j\omega L_1 \mathbf{I}_1 + r_1 \mathbf{I}_1 + j\omega M \mathbf{I}_2 \quad (3)$$

$$\mathbf{V}_2 = j\omega M \mathbf{I}_1 + r_2 \mathbf{I}_2 + j\omega L_2 \mathbf{I}_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} \mathbf{I}_2 \quad (4)$$

식 (3)의 첫 두 항과 (4)식의 마지막 두 항은 상쇄될 수 있다. 두 항이 완전히 사라지면 완전 보상되었다고 하고 1, 2차 각각에는 공진회로가 구성된다. 보상이 이루어져 공진회로가 이루어지면 전력은 1,2차의 저항에 의해 좌우된다. 즉 시스템의 전력 용량은 회로의 손실과 방열 능력에 의해 결정된다.

### 2.3 시스템의 설계

완전 보상하여 공진회로가 구성되면 그 이외의 것은 기존의 전기/전력전자 공학의 설계 방식에 따라 설계하면 된다.

#### 2.3.1 전력변환 회로의 설계

전력변환 회로의 설계는 기존의 설계 방법을 따르면 되는데 주로 사용되는 회로에는 공진형 반브릿지 회로, 공진형 전브리지 회로가 있다. 전력변환 장치 중 급전 인버터는 부하 임피던스가 영에 가까우므로 전류 제어형으로 만들어진다.

#### 2.3.2 급집전 구조체의 설계

무선전력전송시스템의 설계의 핵심은 급집전 구조체의 설계이다. 급집전 구조체란 전기/전력전자 공학에서는 2.1에서 설명한 바와 같이 변압기로 볼 수 있고 변압기 설계 방법을 준용하면 된다. 기존 설계에서와 다른 점은 1차와 2차의 결합계수가 작아 여자인덕턴스는 매우 작으며 누설인덕턴스는 상대적으로 매우 크다는 것과 1차와 2차가 서로 분리되어 있는 것이다. 급집전 구조체가 충분히 보상되어 있다고 가정하면 (공진이 맞추어져 있으면) 설계는 비교적 쉬워진다.

만일 교번 자속의 자속밀도 실효치가  $B$ 인 곳에 놓인 pickup의 단면적이  $A_c$ , 도체부의 단면적이  $A_w$ 일 때 pickup의 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$P = V_2 I_2 = \omega A_c B \zeta_2 J_2 A_w \quad (5)$$

$J$ 는 전류밀도,  $\zeta$ 는 점접촉이다. 식 (5)에 따라 pickup이 놓일 곳의 자속이 주어진 경우의 pickup을 설계할 수 있다.

다음은 비교적 근거리에서 놓인 급집전 구조체를 설계하자. 급집전 구조체가 동일한 도체쌍으로 이루어져 있으면 식 (5)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P = \omega M I_1 I_2 = \omega M \zeta_1 J_1 \zeta_2 J_2 A_w^2 \quad (6)$$

즉 도체쌍의 상호 인덕턴스를 알면 원하는 출력을 내는 급집전 구조체를 설계할 수 있다. 상호인덕턴스는 급집전 구조체가 자유 공간에 놓여 있다고 하면 약간의 계산으로 구할 수 있다. 최근 논의되는 무선전력전송 시스템은 많은 경우 자유 공간에 놓여 있다고 볼 수 있다.

자유공간 내에 두 개의 원형 코일로 구성된 급집전 구조체에서 미소 선분에 흐르는 1차 전류에 의한 2차 코일내 중심에서  $r$ 만큼 떨어진 점의 자계의 세기 중 수직 성분은

$$dH_z = \frac{1 - (r/b)\sin\phi}{2\pi b(1 + (r/b)^2 + (R/b)^2 - 2(r/b)\sin\phi)^{1.5}} d\phi \quad (7)$$

수직 적분을 통하여 수직 성분인  $H_z$ 를 구할 수 있다. 또 왜고 자속을 구할 수 있어 상호 인덕턴스를 구할 수 있다.<sup>[3],[4]</sup>

그림 2의 우상도는 자계의 세기의 수직 성분을 나타내고 우하도는 거리에 따른 상호인덕턴스를 나타낸다. 자계의 세기로부터 자속을 구하면 식 (5)로 설계할 수 있으며 상호 인덕턴스를 알면 식 (6)으로 설계할 수 있다.

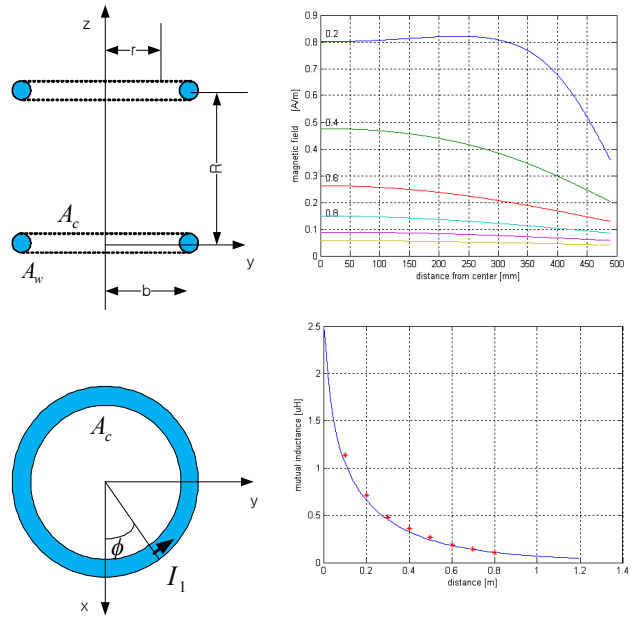


그림 2 공간에 놓인 도체 쌍과 그의 상호 인덕턴스

## 3. 실험 및 고찰

2.3.2에서 제시한 설계 방법에 따라 30cm 간격을 두고 90 kHz로 전력을 전송하는 200W 급의 급집전 구조체를 설계하고 제작하였다. 자기인덕턴스는 22.5uH, 상호인덕턴스는 4.25uH가 얻어졌다. 자기 인덕턴스는 2.2에서 설명한 바대로 보상을 하였다. 본고에서는 제한된 지면상 상세설계와 더 자세한 결과를 생략하고 학술대회 발표 시 제시할 예정이다.

## 4. 결론

무선전력 전송 시스템의 이해와 설계를 위해서는 변압기에 대한 약간의 고정 관념을 바꿀 필요가 있다. 그러면 무선전력 전송 시스템은 기존의 전력변환 회로설계, 변압기 설계 기술로 해결할 수 있다. 본 논문에서는 양측 공진형에 사용될 급집전 구조체의 설계 방법을 제시하고 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] 전성준, '전력전자에서의 무선전력전송기술', 2012 무선전력 전송기술 단기 강좌, pp. 97-128, Apr. 2012.
- [2] 전성준, 송보운, 신재규, 서대원, 손성준, '보상권선이 있는 KAIST OLEV용 pickup', 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 3~4, 2011.
- [3] W. H. Hayt, Jr. and J.A. Buck, Engineering Electromagnetics, McGraw Hill, 6th ed., 2001.
- [4] S.M. Wentworth, Fundamental of electromagnetics with engineering applications, Wiley, 2005.