

# Tx - Rx간 무선통신이 필요 없는 근접 무선전력전송 시스템

김문영, 최신욱, 강정일  
삼성전자 영상 디스플레이 사업부

## Adjacent wireless power transfer system without wireless communication between Tx and Rx

Moonyoung Kim, Shinwook Choi and Jeongil Kang  
Samsung Electronics Visual-Display Division

### ABSTRACT

일반적인 무선 전력 전송에서는 송신부와 수신부의 무선통신을 통하여 전력전달을 제어하나, TV와 같이 배터리가 없어 수신부의 통신모듈의 동작 대기가 어려운 전자 제품에는 적용하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 송신부와 수신부의 공진기를 LLC 트랜스포머 기반으로 설계하여 송/수신부간의 무선통신이 없는 근접 무선전력 전송 시스템을 제안하고자 한다. 제안하는 시스템에서는, 공진 주파수 근처의 설계된 주파수로 동작을 시켜, 수신기의 최소한의 저전압 보호 회로만으로도 약속된 기기간에 전력을 안정적으로 전달 할 수 있다.

### 1. 서 론

AC 벽전원을 사용하는 일반적인 무선전력 전송 시스템은 AC 벽전원으로 부터 전력을 공급 받아 전력을 보내는 송신부와, 송신부로부터 전송 받은 전력을 부하에 전달하는 수신부로 구성 된다<sup>[1-3]</sup>. 송신부는 PFC회로의 DC 출력전압을 고주파 AC 형태의 전력 신호로 바꾸어 주는 인버터 회로와 수신부로부터 무선통신으로 받은 정보를 바탕으로 인버터를 제어하는 인버터 제어부로 구성된다<sup>[1-3]</sup>. 수신부는 송신부로부터 전달받은 고주파 AC 형태의 전력 신호를 다시 DC 전원으로 바꾸어주는 정류기 회로와 수신된 전압 및 전류 정보를 다시 송신부에 전달해주는 수신부 통신모듈로 구성되어 있다<sup>[1-3]</sup>. 일반적으로 부하에 알맞은 형태의 전력을 전달 하기 위해서는 Feedback 제어가 필요하기 때문에, 무선 전력전송 시스템에서는 Feedback 제어를 위하여 송/수신부 사이에 무선 통신 모듈이 필요하다. 하지만 이는 시스템 가격을 상승시키고, 송/수신부 간의 명확한 무선통신 규약이 필요하며, 일시적 통신 장애가 발생 할 경우 전력 전달이 불가능 하다는 단점이 발생한다. 그리고 수신부에는 무선통신모듈의 동작 대기를 위해 배터리가 필요하기 때문에, TV와 같이 배터리를 사용하지 않는 제품에서는 배터리 추가가 불가피하다.

따라서 본 논문에서는 송/수신부간의 무선통신이 없는 근접 무선전력 전송 시스템을 제안하고자 한다.

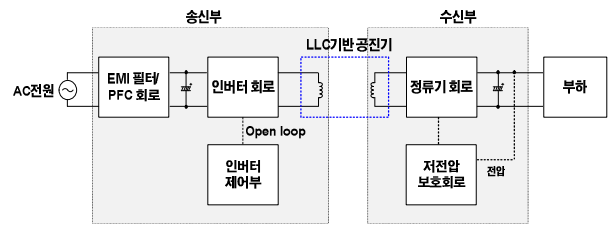


그림 1. 제안하는 전력전송 시스템 구조

### 2. 제안하는 근접 무선 전력전송 시스템 구조

#### 2.1 제안하는 회로 구조 및 동작 원리

제안하는 근접 무선 전력 전송 시스템 구조는 그림 1과 같다. 공진기는 LLC컨버터 기반으로 설계를 하며 인버터회로는 공진주파수 근처에서 설계된 주파수로 feedback 동작 없이 open loop 동작을 한다. 이때 주파수는 하나의 주파수의 고정된 값이 아니라 EMI저감을 위해 공진 주파수 근처에서 Spread spectrum을 가지는 확산 주파수로 동작한다. 그리고 수신부에는 전달된 전압이 일정 이하로 떨어질 경우를 방지하기 위한 저전압 보호회로가 추가 된다.

송/수신기를 둘러싼 외부 케이스로 인하여 공진기는 필연적으로 서로 일정 거리 이상 떨어진 구조를 가지기 때문에 공진에 필요한 충분한 누설 인덕턴스( $L_R$ )를 가지게 된다. 그리고 공진기를 트랜스포머와 비슷한 수준의 자화 인덕턴스( $L_m$ )를 가질 수 있도록 마주보는 면적을 충분히 넓게 만들면, 제안하는 전력전송 시스템의 공진기는 LLC 컨버터의 트랜스포머와 유사한 형태의 등가회로를 가지게 되어 아래 식과 그림 2와 같이 LLC 컨버터와 동일한 출력전압 이득을 가진다. 그림 2와 같이 LLC 컨버터는 공진주파수 근처에서 동작을 할 경우 부하에 무관하게 출력전압 이득이 크게 변하지 않는 특성을 가지는데, 이를 이용 하여 feedback이 없는 시스템을 구현한다.

$$G_{DC} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{G_{AC}}{2n} = \frac{1}{2n \sqrt{\left\{1 + \frac{1}{m} \left[1 - \left(\frac{F_R}{F_S}\right)^2\right]\right\}^2 + \left[\left(\frac{F_S}{F_R} - \frac{F_R}{F_S}\right) \frac{\pi^2}{8n^2} Q\right]^2}}$$

$$n = \frac{N_p}{N_s}, F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_R}}, Q = \sqrt{\frac{L_R}{C_R} \frac{1}{R_o}}, m = \frac{L_m}{L_R}$$

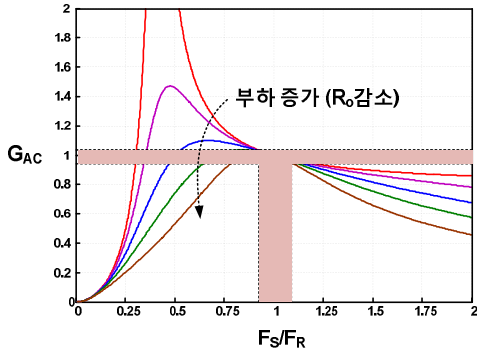


그림 2. 공진주파수근처에서의 부하 변화에 따른 LLC 전압이득

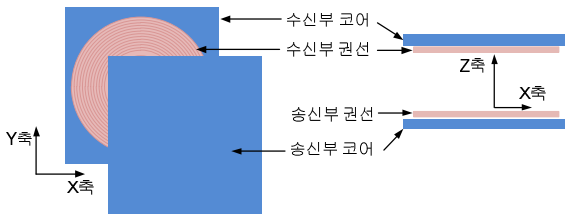


그림 3. 송/수신 공진기의 정렬 방향 축

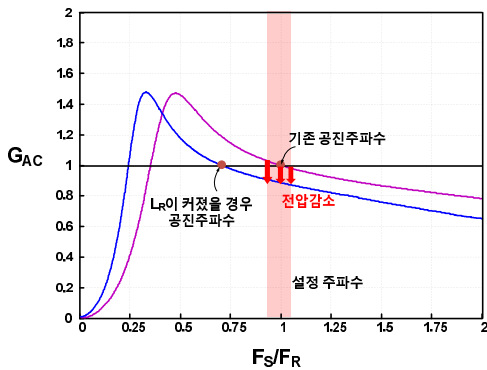


그림 4. LLC 전압이득 및 공진기 위치에 따른 전압이득 변화

그림 3과 같이 송/수신부 공진기의 거리가 z축 방향으로 멀어질수록, 혹은 완벽하게 정렬되지 못하고 x-y축 방향으로 미정렬 되었을 경우, 송/수신부의 권선간의 커플링이 감소하게 되며, 감소된 커플링값으로 인하여 공진에 참여하는 누설 인덕턴스( $L_R$ ) 값이 증가하게 된다. 공진 커패시터( $C_R$ )의 경우 공진기 위치와 무관하게 고정된 값을 가지기 때문에 증가된 누설 인덕턴스에 의해 공진기의 공진 주파수는 낮아지게 되며, 이때 인버터는 특별한 주파수 변동 없이 설정된 주파수 영역으로 동작하게 되면 그림 4와 같이 출력 전압이 낮아지게 된다.

두 공진기가 x-y축으로 완벽하게 정렬되고 z축 간의 거리가 최소거리(송/수신부가 밀착)가 될 때 가장 높은 전압이득을 가지기 때문에 이론적으로는 수신부의 전압이 설계된 전압 이상으로 올라가지 않아 과전압 보호회로가 필요가 없다. 그리고 앞서 설명한대로 송/수신기가 멀어지면 전압이 낮아지는 방향으로 동작하게 되지만, 이는 전달되는 전압이득만 낮아지게 될 뿐 전력전달은 동일한 구조로 무선전력 전송이 가능하다. 특히 LED driver와 같은 Downstream converter가 있는 TV와 같은 제품에서는 무선전력전송의 출력전압의 완벽한 제어 없이도 동작이 가능하다.

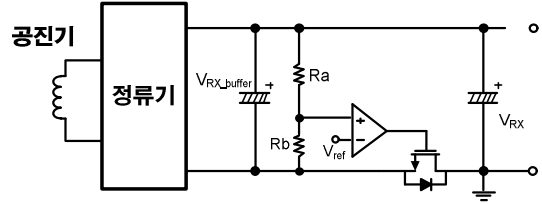


그림 5. 수신부 저전압 보호 회로

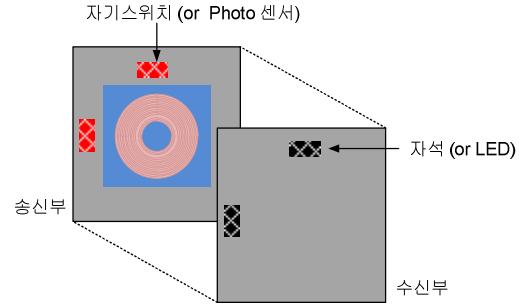


그림 6. 약속된 좌표에 있는 수신기 감지부

## 2.2 수신부 저전압 보호회로

전달된 전압이 일정전압 이하로 떨어지는 경우 같은 동일 소비전력을 전달하기 위해서는 전류가 커지게 되며, 이는 수신부에 사용되는 소자의 전류 스트레스가 필요 이상으로 커지게 된다. 이러한 동작을 방지하기 위해서 일정 거리 이상 멀어지거나 공진기의 정렬에 많이 흐트러질 경우에도 특별한 무선통신 없이 수신부에서 송신부로부터 자동으로 전력을 받아가지 않는 저전압 방지회로가 필요하다.

그림 5는 간단한 반도체 스위칭 소자로 구현할 수 있는 저전압 보호회로의 한 예이다. 예로 제시된 회로는 수신된 전압( $V_{RX\_buffer}$ )이 일정이상 올라가면 FET를 동작시켜 수신단 측에 전압( $V_{RX}$ )이 전달 되는 회로이다. 이 때  $R_a$  및  $R_b$ 는 대기전력을 고려하여 충분히 큰 값으로 설계 되어야 한다.

## 2.3 수신부 감지회로

수신부가 미장착 되었을 경우에도 송신부 코일이 계속 동작할 경우 불필요한 전력 손실을 야기하기 때문에, 송신부는 수신부 구조물이 주변에 있는지 없는지를 감지하여 송신부 인버터를 ON/OFF 해주는 동작이 필요하다. 특히 자성체를 가진 일반적인 다른 무선전력전송 기기의 수신부가 근처에 오면 문제가 발생 될 수 있기 때문에 송신부에서 약속된 수신부에게만 선택적으로 전력을 전달 하는 동작이 필요하다.

위와 같은 약속된 수신부 확인 유무는 그림 6과 같이 약속된 좌표에 있는 자석과 자기 스위치를 이용하여 구현할 수 있다. 또는 특정 파장을 내는 LED와 이를 감지하는 photo 센서를 이용하여 구현 할 수 있다. 자석 같은 경우에는 사용자가 실수로 자석을 임의의 지점에 둘 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해서는 복수개의 감지부를 둘 수 있으며 이 때 두 감지부가 모두 감지 되었을 때 동작한다.

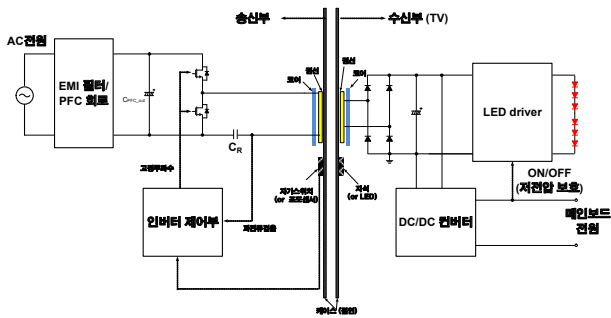


그림 7. TV용 무선전력시스템 적용 예

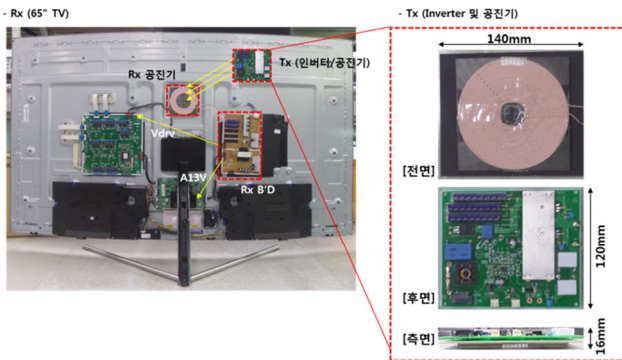


그림 8. TV용 무선전력 전송 시스템 및 테스트 샘플 사진

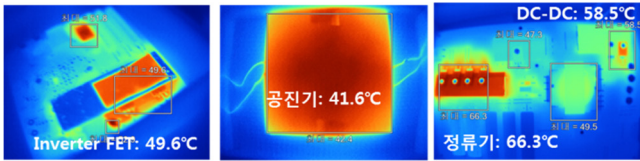
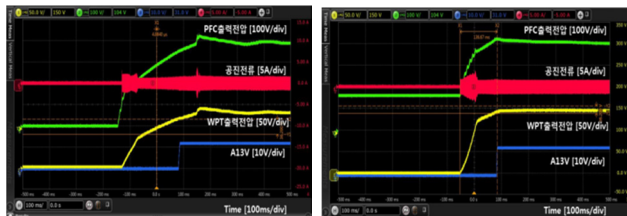


그림 9. 인버터 및 공진기 온도 (@300W)



[수신부 부착 후 AC 전원인가] [AC전원 입력 후 수신부 부착]  
그림 10. 제안된 시스템 동작 파형

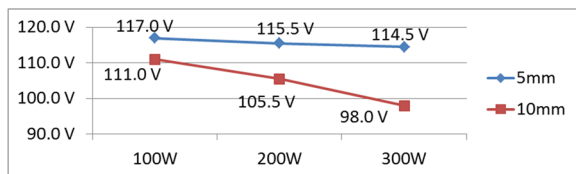


그림 11. 공진기 거리에 따른 출력 전압

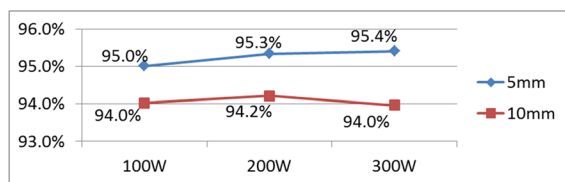


그림 12. 공진기 거리에 따른 효율

### 3. 시스템 구현 및 실험 결과

그림 7은 앞서 설명한 무선전력전송 시스템이 TV에 적용 되었을 경우 구현할 수 있는 회로의 예이다. 자석과 자기스위치를 통하여 약속된 수신부 장착 여부를 판단한 뒤 인버터를 고정주파수 영역으로 동작을 시킨다. 인버터 제어부는 송신부의 과전류를 감지하여 회로 동작을 ON/OFF한다. 송신부가 동작된 뒤 수신부에 일정전압 이상 인가 될 때 수신부 DC-DC컨버터가 동작을 하게 되고 메인보드에 전원을 인가되며, 메인보드의 전원이 인가되면 LED driver를 동작시켜 TV Backlight를 위한 LED 전류를 제어하는 구조이다. 그림 8은 위와 같이 구현된 테스트 샘플이며 그림 9는 주요 부품의 온도 측정 결과이다.

그림 10은 제안된 시스템 동작 개시 파형이다. 왼쪽 그림은 수신부가 부착된 상태에서 AC 전원을 인가한 파형이며, 오른쪽 그림은 먼저 AC 전원이 입력되고 대기상태에서 수신부를 기다리다가 수신부가 연결되었을 경우 동작을 시작하는 파형이다.

그림 11은 공진기 거리에 따른 부하별 출력전압이다. 앞서 설명한 바와 같이 5mm 이격거리에서는 별다른 Feedback이 없어도 부하가 증가하더라도 출력전압 변화가 거의 없으며, 거리가 멀어질수록 누설 인덕터가 커져 공진 주파수가 낮아지기 때문에 거리가 멀어질수록, 출력전압이 부하가 증가할수록 다소 감소한다. 그러나 그림 12와 같이 어느정도 거리에서는 출력전압 감소하더라도 충분히 높은 효율로 동작이 가능하다.

### 4. 결론

무선전력 시스템에서 송신부와 수신부의 공진기를 LLC 트랜스포머 기반으로 설계하고 부하 변동이나 외부 요인과 무관하게 동작 주파수 변동 없이 공진 주파수 근처의 설계된 주파수 영역으로 동작을 시키는 무선전력 전송 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템에서는 송/수신기간 어느 정도의 미정렬이 발생한다 하더라도, 송/수신기간 무선통신이 없이 수신기의 최소한의 저전압 보호회로만으로 약속된 기간에 전력을 안정적으로 전달 할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] C. S. Wang, O. H. Stielau, and G. A. Covic, "Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 5, pp. 1308-1314, Oct. 2005.
- [2] J. W. Kim, H. C. Son, D. H. Kim, and Y. J. Park, "Optimal design of a wireless power transfer system with multiple self-resonators for an LED TV," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol.58, no.3, pp.775-780, Aug. 2012.
- [3] L. Chen, S. Liu, Y. C. Zhou, and T. J. Cui, "AN optimizable circuit structure for high-efficiency wireless power transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 1, pp. 339-349, Jan. 2013