

투명전극을 이용한 전기자동차 유리를 통한 커패시티브 커플링 무선전력전송에 관한 연구

유영수*, 이강현**

대구대학교 전자공학과*, 대구대학교 전자전기 공학부**

A Study on Capacitive Coupling Wireless Power Transfer using Transparent Electrodes through electric vehicles glasses

Young Soo You and Kang Hyun Yi

Daegu University

ABSTRACT

본 논문은 투명전극을 이용한 커패시티브 커플링 무선전력 전송에 관한 연구이다. 기존의 연구에서 유리를 유전체로 하여 큰 커플링 커패시터를 얻을 수 있었으며 이를 통해 전기자동차 무선전력 전송이 가능했었다. 하지만 동판을 이용하여 커패시터를 생성하는 경우 유리를 사용하는 응용분야에서는 시야확보의 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방식으로 전기전도성이 높은 투명전극 사용방식을 제안한다. 제안하는 방식의 타당성 검증을 위해 모의실험을 통한 손실과 효율을 분석했다. 또한 실험의 타당성 검증을 위해 동판만으로 구성된 커패시터, 투명전극과 동판으로 구성된 커패시터를 이용해 실제 200W급 송 수신 회로를 설계 및 제작하여 비교 분석 하였다

1. 서론

무선전력전송의 방식중 하나인 커패시티브 커플링 방식을 이용해 대전력을 전달하기 위해서는 접촉 면적과 유전율이 크고 전극사이의 거리가 좁은 물질을 사용하여야 한다. 기존의 연구에서는 전기자동차 충전을 위한 대 전력 전송을 위해 유리를 유전체하여 커플링 커패시터를 얻었다. 하지만 구리동판을 이용하여 시야를 확보할 수 없는 문제점을 가졌다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 가시성 확보가 가능한 전극을 이용하여야 한다.^[1] 투명전극은 통산 80% 이상의 높은 투명도와 면저항 $500\Omega/\text{sqm}$ 이하의 전도도를 가지는 전자 부품으로 LCD 전면 전극, OLED전극 등 디스플레이 터치 스크린 등 가시성 확보가 필요한 응용분야에 많이 사용되고 있다.^[2]

본 논문은 투명전극을 이용한 커패시티브 커플링 무선전력 전송에 관한 연구이다. 앞서 언급한 시야확보의 문제점을 해결하기 위하여 가시광 영역에서 높은 투자율과 높은 전도도를 가지는 투명전극을 이용한다. 투명전극을 이용한 무선전력전송이 가능함을 검증하기 위하여 그림 1과 같이 동일한 크기와 두께의 유전체에 동판과 투명전극을 이용하여 커플링 커패시터를 구성하였다. 투명전극의 경우 유리에 Sputter반도체 공정장비를 통하여 두께 10\AA 로 증착하였으며 200W급 송 수신 회로를 제작하여 실험 하였다. 실험 결과를 통해 투명전극을 이용한 전력전달이 가능함을 검증 하였으며 커패시티브 커플링 무선전력전송 방식을 이용한 다양한 응용분야에 사용 가능성이 예측 된다.

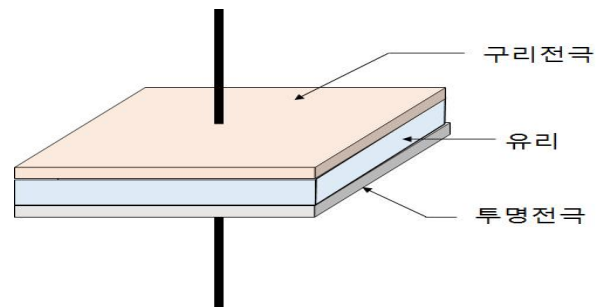


그림 1 실험에 사용한 커패시터 구성

Fig. 1 Capacitor composition used in experiment

2. 커플링 커패시터 손실

이상적인 커패시터 경우 에너지의 손실이 없는 소자이다 하지만 유전체에 전기가 충전, 방전 될 때 발생하는 전기적인 손실이나 커패시터를 구성하는 도체가 가지고 있는 고유저항에 의해 손실이 발생된다. 따라서 커패시터에서 발생하는 손실은 도통 손실과 유전손실의 합으로 정의 할 수 있다.

2.1 도통 손실

유전체를 통해 전하가 흐를 때 생기는 손실을 말한다. 도통 손실의 경우 전도도, 전극면적, 전극간의 거리로 손실률이 정의 된다. 따라서 전극간 거리를 줄이고, 큰 전극 면적을 이용하여 손실을 감소 할 수 있다.

$$R_{die} = \frac{1}{\sigma_{die}} \frac{d}{b} \quad (1)$$

(σ_{die} : 유전체 전도도, b : 전극 면적, d : 전극간 거리)

$$R_{copper} = \frac{1}{\sigma_c} \frac{b}{a} \quad (2)$$

(σ_c : 도체의 전도도, a : 도체의 면적 b : 도체의 두께)

2.2 유전 손실

유전 분극으로 인한 유전체내에서 발생하는 전력손실을 말한다. 유전 손실의 경우 주파수와 유전율, 전도도 값에 의해 손

표 1 실험에 사용한 파라미터값
Table 1 Parameters of Experiment

입력전압	200V	공진 인덕터	152uH
출력전력	200W	ITO 커플링 커패시턴스	1.1151nF
동작 주파수	126kHz	ITO 커플링 유효직렬저항	26.3Ω
1차측 자화인덕턴스	86m	동판 커플링 커패시턴스	1.0798nF
2차측 자화인덕턴스	1000uH	동판 커플링 유효직렬저항	27Ω

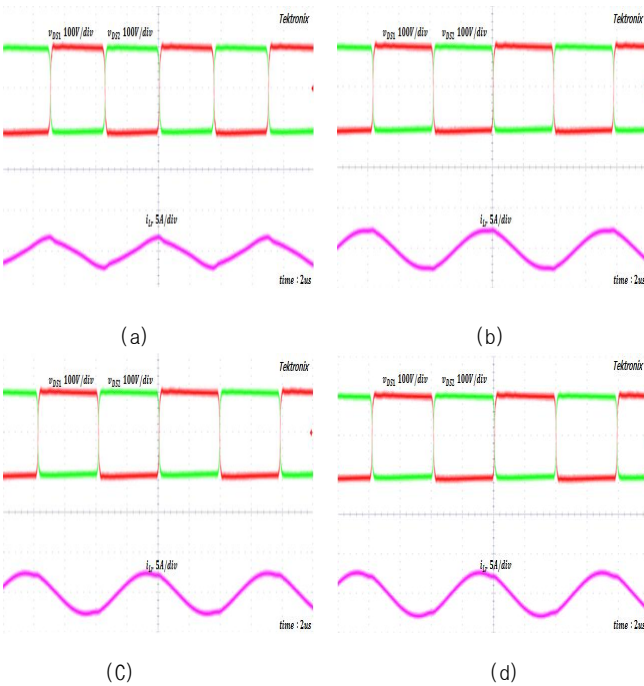


그림 2 중요 실험 파형
(a) 10% 부하조건 파형
(b) 50% 부하조건 파형
(c) 80% 부하조건 파형
(d) 100% 부하조건 파형

Fig. 2 Key waveform of Experience
(a) Waveform of 10% load condition
(b) Waveform of 50% load condition
(c) Waveform of 80% load condition
(d) Waveform of 100% load condition

실률이 정의 된다. 따라서 주파수가 높아짐에 따라서 유전율이 낮은 유전 물질을 사용함으로써 주파수에 따른 손실을 감소할 수 있다.

$$\tan\theta = \frac{\sigma}{w\epsilon} \quad (3)$$

(σ : 전도도, ϵ : 유전율, w : 주파수)

3. 실험결과

제안하는 시스템 성능을 검증하기 위해 표 1에 나타나 있는 사양으로 LLC 직렬공진 토폴로지로 시작품을 제작하여 실험

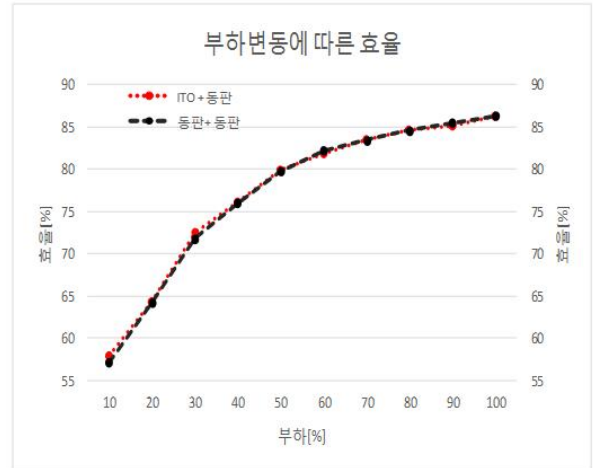


그림 3 부하변동에 따른 효율 그래프

Fig. 3 Efficiency vs Output load

하였다. 그림 2(a),(b),(c),(d)는 제안한 회로의 10%,50%,80% 100%의 부하 값 변화에 따른 드레인 소스(v_{ds1} , v_{ds2}) 파형과 공진 인덕터(i_{Lr}) 파형을 보여준다. 그림 2의 파형에서 알 수 있듯이 제안하는 회로는 LLC 직렬공진 컨버터와 유사한 동작을 함을 확인 할 수 있다. 또한 그림 3 부하변동에 따른 효율 그래프를 통해 일반적인 동판으로 구성된 회로와 투명전극과 동판으로 구성된 회로가 유사한 효율로 동작함을 확인 할 수 있다.

4. 결론

기존 연구에 사용한 불투명 전극을 이용한 커패시티브 방식의 경우 가시성이 필요한 응용분야에는 사용할 수 없다는 문제점을 가진다. 이를 해결하기 위하여 본 실험에서는 투명전극을 이용한 커패시티브 커플링 무선 전력전송 방식을 제안하였다. 투명전극의 경우 높은 전도도와 가시광 영역에서 우수한 투과도를 나타내기 때문에 시야확보가 필요한 다양한 응용분야에 사용가능함이 예측 된다. 본 실험의 타당성 검증을 위하여 모의 실험을 통한 손실분석과 동판과 투명전극으로 형성한 커플링 커패시터와 동판으로만 형성한 커플링 커패시터를 200W급 송수신 회로를 이용하여 결과 값을 얻었다. 본 실험에 타당성 확인을 위해 효율 비교를 하였으며 본 논문의 가능성과 유용성을 확인하였다.

이 논문은 2015년 한국연구재단 신진연구자 지원 사업에 의해 지원되었음. (과제번호: NRF 2015R1C1A1A02036689)

참고 문헌

- [1] 유영수, 이강현. (2016.7). 전기자동차 전후면 유리를 이용한 커패시티브 커플링 LLC 무선전력 전송 컨버터. 전력전자 학술대회논문집, 193-194.
- [2] 정문현, 김세열, 유도혁, & 김중현. (2014). 차세대 투명전극 소재의 종류와 특성. 공업화학, 25(3), 240-246.