

두 개의 송신코일을 갖는 위상 천이 자기 공진 무선 전력 전송 시스템

정재엽*, 이병희**, 이강현*[‡]

대구대학교 대학원 전자공학과*, 한밭대학교 전자제어공학과**

Phase Shifted Magnetic Resonance Wireless Power Transfer System with two transmit coils.

Jae Yup Jung*, Byung Hee Lee** and Kang Hyun Yi*[‡]

Dept. Electronics Engineering, Graduate School, Daegu University*,

Dept. Electronics and Control Engineering Hanbat National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 자기 공진형 무선 전력 전송 시스템을 제안한다. 송신부 2개를 배치하여 기존의 1 대 1 자기 공진보다 더욱 넓은 범위를 확보하여 실용성을 높이고자 한다. 동일한 송신부 2개를 배치하여 자기장의 세기를 높임으로써 수신부에 전송되는 전력의 크기 및 거리를 증대시킬 수 있다. 또한, 송·수신코일의 위치에 따라 서로 다른 출력 전력을 위상 제어를 통하여 다양한 범위의 일정한 전력을 제어할 수 있다. 이때 위상천이를 하지 않을 시에 고정된 입력 전류가 흐르게 된다. 하지만 위상천이, 즉 2개의 송신코일에서 전달하는 전류 조절을 시도함으로써 수신 측으로 전달하여 일정한 전력을 얻을 수 있었다. 실험을 통해, 기존의 방식보다 높은 성능을 가짐을 확인하였다.

1. 서론

최근 스마트폰이 기존의 플러그인 방식에서 무선 충전 방식으로 바뀌는 추세이다. 무선 전력 전송(Wireless Power Transfer) 기술에 대한 관심과 함께 다양한 전자제품에도 무선 전력 전송을 접목시키기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 시중에 나와 있는 무선 충전 방식은 자기 유도 방식(Inductive Coupling)으로써 높은 전송 효율을 가지나, 전송거리가 짧아 충전 영역이 매우 제한적이며, 코일의 중심이 일치하지 않을 경우 효율이 급격하게 감소하므로 적용할 수 있는 분야가 적다는 문제점을 가진다. 자기 공진 방식(Magnetic Resonance)은 송·수신부의 주파수를 일치시킴으로써 공진 결합을 통한 무선으로 수 미터까지 전력을 전달할 수 있다. 또한 방향성이 없으므로 충전 위치가 일치하지 않더라도 전력을 전송할 수 있다는 장점이 있다.^[1]

본 논문에서는 자기 공진 방식을 기반으로 여러 수신부에 필요한 다양한 소오 전력을 전송하여 효율을 높이는 것을 목적으로 한다. 기존의 전력제어 방식에는 동작 주파수를 제어함으로써 출력 전력을 제어하는 방식이 있다. 하지만 이와 같은 방식은 EMI(전자파 간섭, Electromagnetic Interference) 특성이 좋지 않다.^[2] 연구에서는 하나의 송신코일이 아닌 2개의 송신코일을 사용하여 추가적인 자기장으로 서로의 자기장의 영향을 통해 증가된 전력 및 효율을 얻고자 한다. 또한, 주파수 조절이 아닌 PWM 파형의 위상 제어를 통해 각 송신코일에 흐르는

전류량을 조절함으로써 다른 방식으로 제어할 수 있는 방안을 제시한다.

2. 제안하는 회로 시스템

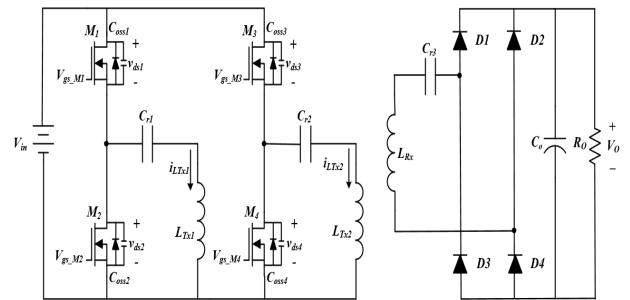


그림 1 2-송신기 무선전력전송 회로

Fig. 1 Two-transmitter wireless power transfer circuit

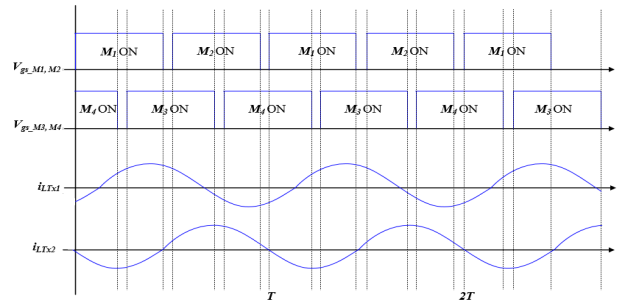


그림 2 게이트 - 소스 전압 파형 및 송신코일 전류 파형

Fig. 2 V_{gs} & Transmitter coil current waveform

송신부에는 Fig. 1과 같이 AC 전압을 만들기 위한 2개의 동일한 조건의 Half bridge 토폴로지 및 송신코일을 구성하였으며, 수신부에는 1개의 수신코일과 Full bridge 정류기를 이용하여 회로를 설계하였다. 송·수신부 코일에 직렬로 연결된 커패시터는 높은 양호도를 갖는 수동소자를 사용하였다. 본 연구에서는 송신코일에 전류가 흐르면 그 전류를 따라 주위에 자기장이 발생한다. Biot Savart의 법칙에 준하여 원형 코일을 사용하였을 경우 자계의 세기 H는 다음 식으로 나타낸다.

$$H = \frac{nI r^2}{2(r^2 + l^2)^{3/2}} [A/m] \quad (1)$$

(n : 권선수, r : 코일의 반지름, l : 원형 중심에서의 거리)

그러므로 각 코일의 자계를 H_1, H_2 라 가정하면 총 자계의 세기 H는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H = H_1 + H_2 = \frac{ni_{LTx1}r^2}{2(r^2+l^2)^{3/2}} + \frac{ni_{LTx2}r^2}{2(r^2+l^2)^{3/2}} = \frac{n2i_{LTx}r^2}{2(r^2+l^2)^{3/2}}$$

자계의 세기는 전류에 비례한다. 송신코일에서 수신코일로 전력을 전달할 시, 송신 측에서는 전류에 의해 자기장이 생기지만 수신 측에서는 자기장에 의해서 전류가 흐를 수 있게 된다.

$$B = \mu_0 H = \frac{\Phi}{S} \quad (2)$$

(B : 자속밀도, μ_0 : 투자율, Φ : 자속, S : 단위면적)

Ampere 법칙에서 증가된 자계의 세기에 대하여 단위 면적당 자계를 통과하는 자속이 증가하여 자속밀도 또한 비례한다. 그러므로 1 송신코일보다 2 송신코일일 경우 더 높은 전력을 전달할 수 있게 된다. 2 송신코일을 이용하여 자계의 세기를 증가하여, 전력의 크기를 증대하였고, 하나의 송신코일을 위상천이를 통하여 전류 조절을 시도하여 일정한 전력을 얻고자 수식으로 나타내었다. 각 코일에 흐르는 전류를 i_{LTx1}, i_{LTx2} 이라고 하면 정현파로 나타내었을 때 다음과 같다.

$$i_{LTx1} = A \sin(\omega t), i_{LTx2} = A \sin(\omega t + \theta) \quad (3)$$

M_1, M_2 는 위상을 고정하고, M_3, M_4 만을 위상천이하였을 때, 두 전류의 합성 진폭 값은 위상천이를 시도함에 따라 증가되거나 감소함을 알 수 있다. 그러므로 하나의 송신코일의 위상을 조절함으로써, 수신 측으로 보내는 전류 레벨을 변화시킬 수 있다.

3. 실험결과

표 1 실험 스펙

Table 1 Experimental Specifications

V_{in}	100V	Coil	Litz Wire
f_r	140kHz	Coil Diameter	120mm
T_x		R_x	
L_{Tx1}, L_{Tx2}	101.65 μ H	L_{Rx}	113.96 μ H
R_{Tx1}, R_{Tx2}	0.118 Ω	R_{Rx}	0.141 Ω
C_{r1}, C_{r2}	14.85nF	C_{r3}	11.371nF

본 실험에서는 Table 1과 같은 사양으로 2개의 Half bridge 자기 공진 회로를 설계하였다.

3.1 1-송신기와 2-송신기의 출력 전력 비교

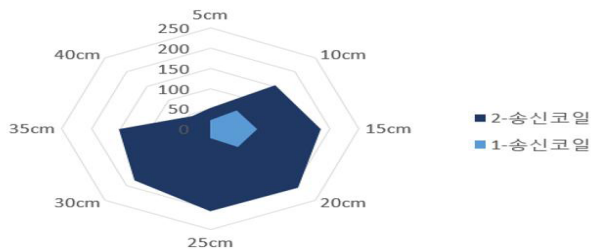


그림 3 전송거리에 따른 출력 전력

Fig. 3 Output power depends on transmission distance

송신코일을 정렬한 상태에서 수신코일을 좌에서 우로 5cm씩 평행이동을 하며 각 평행 이동된 위치마다 송·수신코일의 간격을 0cm에서 10cm까지 2cm마다 거리를 두고 실험을 하였

으며, 2 송신코일의 경우 송신코일 간격을 0cm로 고정하여 배열 후 총 가로 길이는 30cm인 상태로 실험을 한 것이다. Fig. 3의 차트에 측정된 값(최대 출력 전력)의 분포를 나타내었다. 송신코일 2개를 나란히 배열할 경우, 1개일 때보다 자기장의 세기는 강해진다. 자기장의 세기는 전류에 비례하므로 수신코일 쪽에서 보면 전류의 양이 더 높아졌으므로 출력 전력이 커지게 된다. 즉, 2 송신코일에서 증가된 출력 전력 및 효율을 확인할 수 있다. 또한 송·수신 코일의 간격이 동일할 경우 2개일 때가 더 높은 출력을 가짐으로써 거리 또한 증대하는 효과를 가질 수 있다.

3.2 위상천이를 통한 일정한 전력 제어

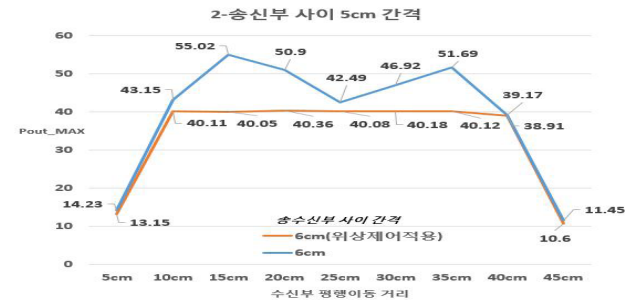


그림 4 위상제어에 의한 위치에 따른 40W 일정전력

Fig. 4 40W steady power depends on distance by a phase control

Fig. 4에는 2개의 송신코일 간격을 5cm로 띄우고, 송·수신코일의 거리를 6cm에서 측정된 최대 전력을 그래프로 나타내었다. 수신코일의 평행이동 거리에 대하여 최대 55W, 최소 11.45W 범위 내로 출력이 측정된다. 2개의 송신부에서는 자기장에 의해서 유도전류를 전송하게 되는데, 이때 수신부 측에서는 주파수를 가진 2개의 전류파형이 서로 간섭을 일으키게 되어, 전류를 조절할 수 있게 된다. 그러므로 수신부 거리마다 다양한 출력 전력이 나오며 이는 위상 제어를 통해 수신코일로 전달되는 전류를 조절함으로써 각 거리마다 40W 일정한 전력을 획득할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 2개의 송신기가 가지는 효과에 대해서 분석하였다. 기존의 1:1 자기 공진과 같이 거리에 따른 출력저하는 있지만 서로의 자기장 영향을 통하여 보다 높은 출력 전력을 얻을 수 있었다. 또한 위상 제어를 통하여 출력 전력 값을 범위 내에서 조절됨을 검증할 수 있었다. 최근 무선 충전의 적용 범위를 다양한 전자제품으로 넓히는 추세이다. 하나의 충전기로 다양한 제품에 적용하기 위해서는 서로 다른 정격전력을 맞춰야 하므로 본 연구에서 분석한 연구가 무선 충전 시스템으로 적용 가능성이 예측된다.

이 논문은 2015년 한국연구재단 신진연구자 지원 사업에 의해 지원되었음. (과제번호: NRF 2015R1C1A1A02036699)

참고 문헌

- [1] 최종호, 정봉식, "무선전력전송용 자기공진코일의 특성 분석", 대한전기학회 학술대회 논문집, p15 15, 2015
- [2] 안태원, "주파수 제어에 의한 무선 충전 최적화 기법", 대한전자공학회 논문지 50권, 제7호, p275 280, 2013