가변 임피던스 정합기를 이용한 전자기유도방식의 무선전력전송에서의 최적전송에 대한 연구

김대욱*, 임은석*, 최상돈*, 이종식*, 최대규*, 정윤도**
(주)뉴파워프라즈마*, 수원과학대학교**

The Study on optimal transfer regarding Wireless power transmission using a variable impedance matcher

Dae Wook Kim*, Eun Suk Lim*, Sang Don Choi*, Jong Sik Lee*, Dae Kyu Choi*, Yoon-Do Chung**
New Power Plasma Co.LTD*, Suwon Science College**

ABSTRACT

본 논문에서는 400kHz 10kW RF Source와 최대전력전달을 하기 위해 가변임피던스 정합기를 이용하여 파워 소스를 준비하였고, 송수신코일은 EE71형태의 페라이트코어에 테프론 와이어를 결선하여 구성하였다. 본 연구에서는 MF대역의 주파수를 이용하므로 자기유도방식을 채택하였다. 무선전력전송에서는 최대로 전력이 전달하기 위하여 송수신 코일과 부하간에 임피던스 매칭이 필수적으로 필요하다. 매칭이 원할하지 않을 경우 RF Source에 반사전력이 반사되어 심각한 손상을 발생할 수 있으며, 수신부 코일의 부하단에 최대로 전력이 전달되지 않을 뿐만 아니라 전체 시스템 효율이 나빠지게 된다
본 연구에서는 임피던스 정합기를 이용하여 자기유도방식에서 최적의 송수신 전송 조건을 도출하였다

1. 서 론

무선전력전송에 대한 기초이론이 100년 전 테슬라에 의해 정립이 되었고, 끊임없는 기술발전을 통해 자기유도방식의 무선전력전송이 근래에 이르러 전동칫솔 및 무선충전패드 등에 상용화되었다[1]. 무선전력전송 방식의 대표적인 방식중 활발히 연구되고 있는 방식에 자기유도방식과 자기공명 방식이 있는데, 현재의 기술에서 상용화가 먼저 되고 있는 방식은 자기유도방식이다.

자기유도방식이 공명방식에 비해서 거리의 제약은 다소 있으나 전자파 장애 문제가 적고, 가전제품에 대해서 현재 상용화가 추진되고 있어, 향후 디지털 무선기기에서 무선 충전 시스템이 적용되리라 본다. RF 전력을 전원부에서 부하단으로 공급할 때 상호간의 임피던스가 다를 경우 공급파워는 모두 전달되지 않고 일부 전원부로 돌아오게 되는데 이를 전력손실이라고 한다. 이러한 전력손실 발생시 여러 문제점을 발생하게 되는데 대표적으로 전원효율의 감소, 부하에 공급되는 전력이 감소되며 전원단의 동작이 불안정하게 되며 심하게는 시스템의 절연파괴 및 시스템의 고장으로 이어지게 된다[2]. 이와 같이 임피던스 정합은 RF전력을 전달하는 시스템에서는 필수적인 시스템이며, 무선전력전송도 RF 전력을 송신단에서 수신단으로 최대전력을 고효율로 전달하는 것이 관건이므로 임피던스 정합 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 400kHz의 RF 전력을 발생시키는 10kW Generator, 10kW급 임피던스 정합기, 투자율 μi≒1000정도의 EE71 형태로 되어진 코어로 구성되어진 송수신 코일, 부하단으로 구성하여 실험을 진행하였다.

2. 임피던스 정합기를 적용한 시스템

전자기 유도방식은 무선전력전송기술 중 가장 기본적인 기술로써 Michael Faraday에 의해 발견되었다. 자기유도방식은 우리가 흔히 이용하는 변압기와 같은 구조로 되어 있으며 동작원리도 유사하다. 제안하는 시스템에서는 그림 1과 같이 등가회로로 나타낼 수 있으며, 다른 시스템과 달리 임피던스 정합기를 추가하였다.

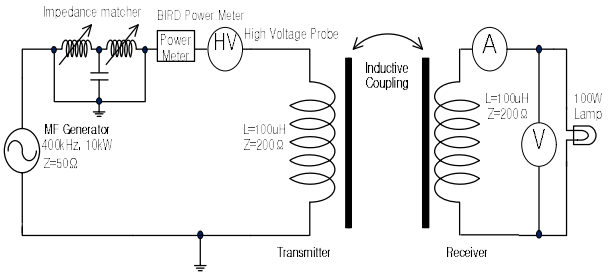

그림 1 실험 구성도
Fig. 1 Block diagram of Experimental setup

2.1 임피던스 정합기

본 실험에 사용된 임피던스 정합기는 반도체 공정에 사용되는 장비인데, RF 전력을 효율적으로 전달하는 것은 무선전력전송에도 동일하게 적용되므로 본 실험에 적용하였다. 기본 개념은 다음과 같다. RF Generator의 고유 저항값은 일반적으로 50Ω으로 부하단의 저항값도 50Ω이 될 때 Generator에서 공급되는 파워가 최대로 부하단에 전달될 수 있다. 그런데 부하단의 임피던스와 Generator의 임피던스가 다를 경우 공급 파워는 모두 전달되지 않고 일부 Generator로 돌아오게 된다. 이를 흔히 Reflect power라 하고 손실되는 전력이다. 부하 임피던스 공진이라고 하는 것은 부하단의 임피던스를 50Ω으로 맞추기 위해 Matching Network나 다른 매개체로 임의의 임피던스를 보상하여 부하단에 최대의 에너지를 전달한다.

임피던스 정합기의 기본 원리는 RF 파워로부터 들어오는 RF 의 전압값과 전류값을 측정하여 두 신호를 비교한다. 즉 50Ω이 되려면 전압값과 전류 파형의 위상값이 '0'이 되어야 하고, 그 크기의 비가 V:I=50:1이 되어야 된다. Matching Network에서는 센서에서 읽어 들인 위상차 신호를 이용하여 Series Inductor를 이용하여 Phase가 0이 되게 하고, 반대로 크기 신호를 이용하여 Shunt Inductor를 이용하여 Magnitude가 50:1이 되게 한다.

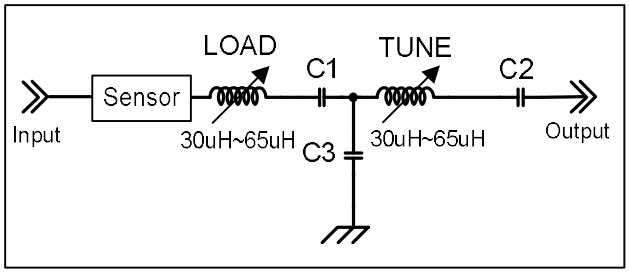

그림 2 임피던스 매처 내부구성도
Fig. 2 Inner schematic of Impedance matcher

그림 2는 본 논문에 적용되어진 400kHz, 10kW 급 임피던스 정합기의 내부회로도이다. Load와 Tune 값이 가변되면서 정합을 맞추게 되는데 가변되는 L 값의 범위는 30uH에서 65uH까지 가변된다. Load와 Tune값의 변경은 상단부의 스위치를 이용하여 Load, Tune 값을 세팅하여 내부의 가변 인덕터의 값을 조정할 수 있다. Load, Tune Key 스위치는 2.2~7.5까지 가변되며 Key 값이 올라갈수록 인덕터의 값은 증가하게 된다. 사용자는 키 값을 변화시킴으로써 파워 메터의 반사 전력값을 확인하며 최적의 매칭 조건을 찾을 수 있게 된다.

2.2 실험 및 고찰

전체 실험은 그림 3과 같이 구성하였다. RF Generator의 출력을 측정하기 위해 RF POWER METER(BIRD Inc, MODEL 4421)을 이용하여 순방향 전력과 역방향 전력을 측정하였다. 또한 임피던스 변환기를 통해 증폭된 전압을 측정하기 위해 고전압 프로브(Lecroy PPE20kV)를 이용하여 송신코일에 전달되는 전압 값을 측정하였고, 수신부 안테나 측에는 전달된 전력을 측정하기 위해 차동전압 프로브(Lecroy ADP300)와 전류프로브((Lecroy CP150)를 이용하여 전압, 전류를 측정하였다. 수신안테나에 연결된 부하원으로는 100W 백열전구를 사용하였다

100W 백열전구를 400kHz 대역의 LCR Meter로 점등 전에 측정하였을 때 인덕턴스는 150uH, 임피던스는 35Ω으로 측정되었다. 물론 점등이 되면 필라멘트에 열이 가해져 임피던스는 증가하리라 예상된다.

그림 4와 같이 실험은 송신코일과 수신코일을 마주보게 하고, 임피던스 정합기를 사용하지 않을 경우와 임피던스 정합기를 사용했을 때 수신부에 전달된 전력 효율을 측정하였다.

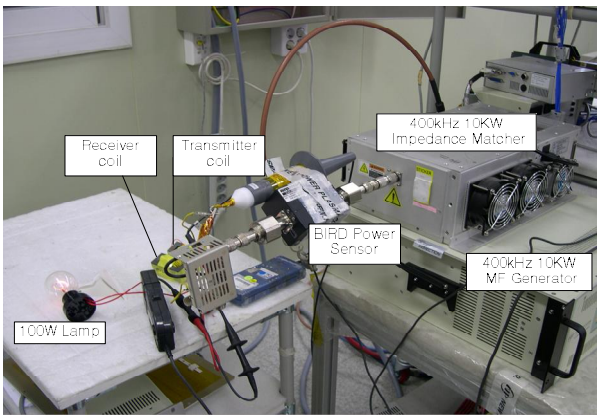

그림 3 임피던스 매처를 적용한 실험
Fig. 3 Experimental set up applied Impedance matcher

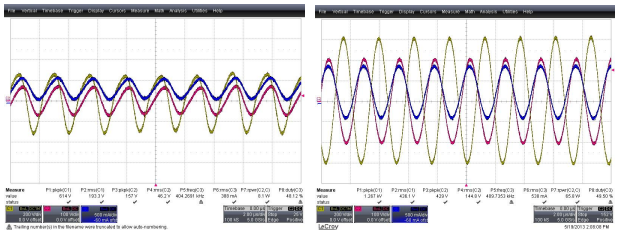

그림 4-a 매처 적용 전 그림 4-b 매처 적용 후
그림 4. 송수신단 전압, 전류 파형
Fig. 4 Waveform for transmitter, Receiver of voltage, current

표 1은 매처의 적용 유무에 따른 수신부측 파워 값을 나타내는데 임피던스 정합기를 적용하였을 때가 적용전보다 5~10배 가까이 RF Power 전달이 우수하다는 것을 보여준다. 송수신 코일간 20mm 간격일 때 적용전에는 Lamp가 점등이 되지 않았으나 적용 후에는 점등이 되었다. 이 때 임피던스 정합기에 설정된 Load 값은 7.2, Tune 값은 7.5이다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 정합기 적용시 송신부와 수신부의 위상도 180도 쉬프트된 것을 알 수 있다. RF Source에서 보내주는 RF 전압값도 같이 상승했음을 알 수 있었다.

표 1 Marcher 적용 유무에 따른 수신부측 파워 측정
Table 1 Power of Receiver coil according to applied Matcher

	Case 1= 간격 2mm		Case 2= 간격 10mm		Case 3= 간격 20mm	
	송신부 Vrms	수신부 Power	송신부 Vrms	수신부 Power	송신부 Vrms	수신부 Power
적용 전	191.5V	24.1W	193.5V	8.1W	195.5V	1.2W
적용 후	379V	**130W**	436V	**66W**	440V	**13W**

※ Generator Set Power =200W
수신부 코일에서 Real Power 측정 (Lecroy WaveRunner 64Xi A 제공)
100W 백열전구 1개 직렬연결
Case 1, 2, 3: 송신부 코일과 수신부 코일간의 거리

3. 결 론

본 논문에서는 반도체 공정에 사용되어지는 임피던스 정합기를 이용하여 자기유도방식의 무선전력전송에 적용하여 임피던스 매칭이 되었을 경우와 아닐 경우의 전력효율을 측정하였고, 임피던스 매칭의 효과를 입증하였다.

본 시스템을 kW급의 대용량 무선전력전송에 적용한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 여기며, 자기공명방식의 임피던스 매칭 시스템에도 또한 적용이 가능하리라 본다. 자기공명방식은 공진점이 민감하게 변하므로 자기 유도방식에 비해 실시간적으로 정합기능이 필요하리라 보고, 향후 정합방법에 대한 연구가 더 필요하리라 여겨진다.

참 고 문 헌

[1] N. Tesla, Apparatus for transmitting electrical energy, US patent number 1,119,732, issued in December 1914.
[2] 이해영, “안테나공학”, 한울출판사, 1998.