

초전도 수신 코일의 무선전력전송 특성

정인성, 최효상, 정병익, 이유허
조선대학교

Characteristics of wireless power transmission by superconductor receiver coil

In-Sung Jeong, Hyo-Sang Choi, Byung-Ik Jung, Yu-kyeong Lee
Chosun University

Abstract - 본 논문에서는 자기공명 방식 무선전력전송 시스템의 공진기 제작에 따른 전송 특성을 분석하였다. 12.74MHz의 공진 주파수를 갖는 무선전력전송 시스템을 구현하여 공진 코일에 초전도 코일을 적용하였으며, 비교를 위해 구리를 이용한 공진 코일을 제작하였다. 이 때 network analyzer를 이용하여 S-parameter S₁₁을 측정하였다. 실험결과, 초전도 공진 코일을 적용하였을 때 구리코일보다 반사계수가 높은 것을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

무선 통신기술의 발달로 휴대용 IT기기를 이용하는 사용자가 급증하고 있으며, 무선으로 정보전달을 자유롭게 하고 있다. 그러나 IT기기들의 전원 공급이 유선으로 이루어지면서 사용장소 및 이동의 제한이 따를 뿐만 아니라 휴대용 배터리 이용시 용량의 한계성, 수명 저하등의 문제를 겪고 있다. 이로인해 무선으로 전원공급 및 충전이 가능한 무선전력전송 기술의 연구가 요구되고 있다.

무선전력전송은 다양한 주파수 대역에서 기술이 개발되었으나 자기유도방식을 제외하고 상용화에 어려움을 겪고 있다. 하지만 자기유도방식을 이용한 무선충전방식도 코일의 배열 상태에 따라 효율의 변화가 크며 전송 거리가 수 mm로 짧은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 MIT에서 제안한 자기공명 무선전력전송 방식은 수 m에서 전력전송이 가능하고 효율도 우수하여 각광받고 있다. 이러한 자기공명 방식은 연구 초기단계의 기술이기 때문에 여러 방면의 연구가 필수적으로 진행되어야 한다. 본 연구팀에서 자기공명 방식의 효율을 증가시키기 위해 초전도 코일을 제안하였고, 효율 개선을 이루었다.[1]-[3]

본 논문에서는 자기공명 무선전력전송의 수신부 공진 코일에 초전도 코일을 적용하였다. 일상생활에서는 송·수신부의 공진 코일의 재질이 다를 경우가 발생한다. 그렇기 때문에 송신부의 공진 코일에는 구리 코일을 적용하고 수신부의 공진 코일에는 초전도 코일을 적용하여 전송 특성을 비교하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

수식적 해석을 통한 공진현상은 L과 C가 존재하는 임피던스의 허수부가 0이 되어야 주파수에서 에너지 손실이 없다. 식 (1)을 통해 무선전력전송 시스템의 임피던스 허수부가 0이 되는 주파수를 찾을 수 있다.

$$Z = R + jX = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (1)$$

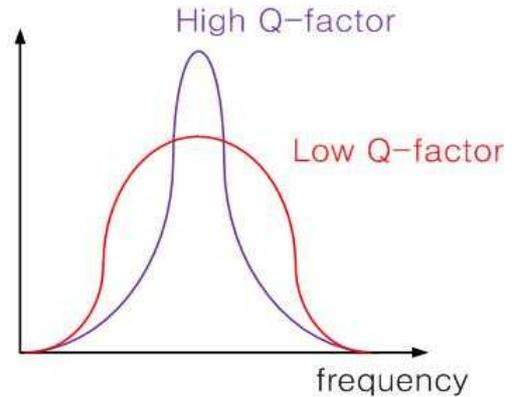
식 (1)에서 Z, X, j, R, L, C는 각각 임피던스, 리액턴스, 허수부, 저항, 인덕턴스, 커패시턴스이다. 위 식에서 리액턴스가 0이되면 공진이 발생하며 이때 식 (2)를 통해 공진주파수를 구할 수 있다.

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} = 0 \quad (2)$$

식 (2)를 통해 식 (3)과 같이 무선전력전송 시스템의 공진주파수를 도출할 수 있다.

$$\text{공진 주파수} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

2.2. Quality-factor



<그림 1> Quality-factor

공진 주파수에 의해 설계된 시스템의 특성은 Quality-factor (Q-factor)에 의해 결정된다. Q-factor 값은 식 (4)와 같이 한주기 동안에 손실되는 에너지에 대한 시스템에 저장되는 전체 에너지의 비로서 정의가 된다.

$$Q\text{-factor} = \frac{\text{저장된 총에너지}}{\text{한주기 동안 소모되는 에너지}} \quad (4)$$

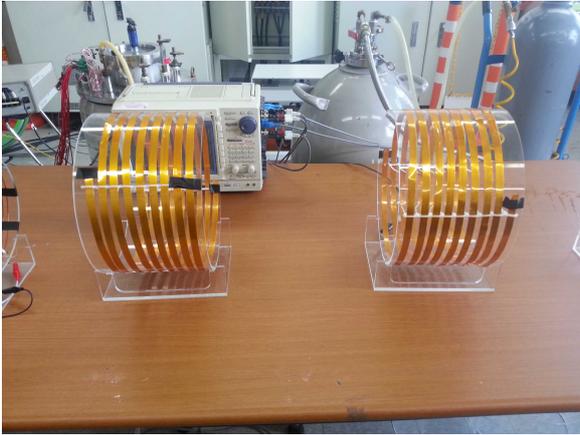
이러한 Q-factor를 향상시키기 위해서는 한주기 동안 소모되는 에너지는 작아야하고 저장된 총 에너지는 커야 한다. 에너지는 코일의 저항 R에 의해 소모되기 때문에 R은 작고, 에너지를 저장하는 L값은 높아야 한다. 그림 1은 Q-factor를 나타낸다. Q-factor가 높을수록 주파수 선택특성은 높아지고 Q-factor가 낮으면 주파수 선택특성 또한 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

2.3 S-Parameter

자기공명 무선전력전송에서 L과 C는 공진주파수를 결정할 뿐만 아니라 S-parameter는 입·출력단의 짧은 주기의 신호를 실시간으로 나누어 절대적인 신호값으로 나타냄으로써 특정 주파수에서의 동작 특성을 알 수 있다. S-parameter의 S₁₁ 특성은 포트1에서 포트1까지 신호전달을 산란행렬도 풀이한 값으로써 반사손실이라고 한다. 입력신호값을 돌려받다 얼마나 전력이 전송되었는가를 나타내기 때문에 dB값이 낮을수록 전송 효율이 높다.

2.4 실험구성

그림. 2는 본 연구팀에서 설계한 무선전력전송 시스템이다. 송·수신 코일의 거리는 약 700mm이며, Network analyzer를 통하여 S-parameter와 smith chart를 측정하였다. 코일은 helical type으로 권선하였고 수신부 공진 코일에는 초전도 코일을 적용하였으며, 공진 주파수는 12.74MHz이다. 비교를 위해 양쪽에 모두 구리코일을 적용하였을 때의 경우도 실험하였다.

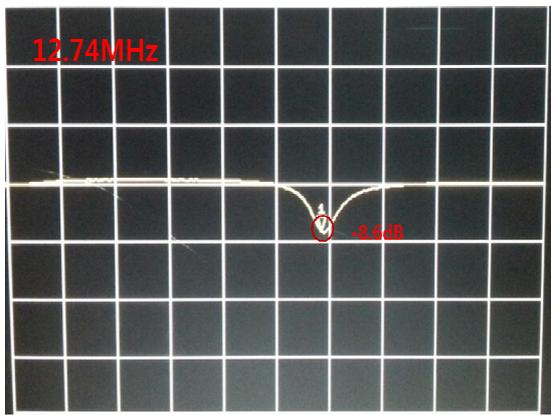


<그림 2> 실험구성

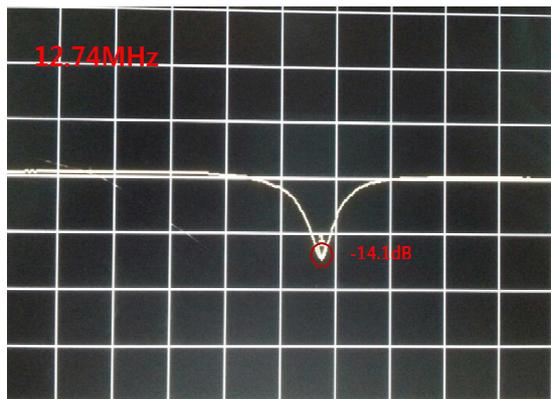
12.74MHz로 구성하였으며, 무선전력전송의 특성을 알아보기 위해 network analyzer로 S11 특성을 보았다. 공진 코일이 모두 구리로 구성 되어있을 때 S11은 약 -8.6dB를 나타내었으나 수신 공진 코일에 초전도 코일을 적용하였을 경우 약 -14.1dB를 나타냈다. 이는 초전도 공진 코일 특성에 의해 반사계수가 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 초전도 코일은 무선전력전송 효율 증가할 수 있는 방법 중에 하나로써 지속적인 연구가 수반될 경우 실생활 적용도 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] I.S.Jeong, H.S.Choi, "Characteristics of Wireless Power Transmission applying the Superconducting coil", KIEE, Vol. 62, No.6, pp. 762~766, 2013.
- [2] Andre Kurs, Aristlidis Karalis, J. D. Joannopoulos and Marin Soljagic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances", Science, pp. 83~86, 2007.
- [3] M.R.Lee, S.U.Kang, Y.H.Kim, S.H.Cheon, T.H.Jung, "wireless transfer", KIEE, vol. 59, no. 1, 2010.



(a)



(b)

<그림 3> S-Parameter (a) 구리코일 (b) 구리&초전도 코일

2.5 실험결과

그림 4 (a)는 공진코일에 모두 구리를 이용하였을 때 S-parameter의 S₁₁이다. 약 -8.6dB를 나타내고 있다. 그림 4 (b)는 수신부 공진 코일에 초전도 코일을 적용하였을 때 S-parameter이다. S₁₁은 약 -14.1dB를 나타내고 있다. 수신부 공진 코일에 초전도 코일을 적용하였을 때 S₁₁ 특성이 약-6dB정도 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 초전도 공진 코일은 낮은 저항과 높은 인덕턴스를 가지기 때문에 저장되는 에너지값도 더 높기 때문이다.

3. 결 론

본 논문에서는 무선전력전송 시스템에 초전도 코일을 적용하였다. 초전도 코일은 일계온도에서 낮은 저항 특성을 가지기 때문에 높은 Q-factor를 가질 수 있다. 코일의 L과 C를 고려하여 공진주파수는