Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.52, NO.12, December 2015 http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2015.52.12.041
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2015-52-12-5

자기공진방식 이중대역 무선전력전송 공진기 설계

(Design of The Dual-band Resonator for Magnetic Resonance Wireless Power Transfer)

윤 나 내*, 서 철 헌**

(Nanae Yoon and Chulhun Seo©)

요 약

본 논문에서는 이중대역에서 동작하는 자기공진 방식 무선전력전송 공진기를 제안하였다. 제안한 공진기는 MF-대역과 HF-대역에서 동작하도록 설계하였다. 제안한 공진기는 20턴의 코일과 사각형 모양의 코일, 양면의 정합회로, 집중소자, 하나의 포트로 구성되어있다. 정합회로의 양면은 비아 홀을 이용하여 연결하고 하나의 포트에서 동작하도록 하였다. 같은 구조의 공진기 두 개를 이용하여 무선전력전송 특성을 모의실험 하였다. 그리고 모의실험결과를 기반으로 효율 식을 이용하여 전력전송 효율 또한 계산되었다. 제안한 두 공진기는 거리 100 mm 에서 모의실험 하였고, 전력전송 효율은 MF와 HF-대역 모두 60 % 이상의 효율을 가지는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the single port dual-band resonator for magnetic resonance wireless power transfer is proposed. The proposed dual-band resonator is consists of 20 turns spiral coil, a single loop, matching circuit, lumped elements, and a single port. The two sides of the matching circuit are connected to via holes. The spiral coil is operated at MF-band and single loop is operated at HF-band, respectively. We use two of the same structure resonators and simulated and the power transfer efficiency was calculated. The efficiency of simulation and measurement is above 60% at the MF and HF bands, and the distance is 100 mm.

Keywords : 무선전력전송, 이중대역, 자기공진방식, MF-대역, HF-대역

Ⅰ. 서 론

무선전력전송 기술은 전기에너지를 전선을 사용하지 않고 무선전송이 가능한 전자기파로 변환시켜서 전달하는 전력전송시스템으로 새로운 개념의 전기 공급 및 이용기술이다. 무선전력전송 기술은 전기에너지를 전선을 사용하지 않고 무선전송이 가능한 전자기파로 변환시켜서 전달하는 전력전송시스템으로 새로운 개념의 전기 공급 및 이용기술이다. 기술의 발전에 의해 스마트폰, 가전기기, 로봇, 센서 등이 개발되면서 요즘의 우리 생활은 매우 편리해 지고 있으며, 또 위험한 사고를 예방할 수도 있게 되었다. 최근 개발되고 있는 모바일 장치 및 전기자동차 등의 배터리는 장기수명과 기기의 소형화, 경량화를 위해 무선전력전송기술을 이용한 무선충전 기술이 많은 관심을 받고 있다. 이것은 이들 기기를 충전하는 편리성, 안전성 및 효율성과 이동성면에서 비용절감 및 안전성을 향상할 수 있기 때문이다[1~4].

이처럼 무선전력전송에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 많은 사람들은 이러한 무선전력전송 기술에

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (Soongsil University)
※ 본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행한 연구(No.2015056354)입니다.
※ 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.20144030200600)입니다.
© Corresponding Author(E-mail: chulhun@ssu.ac.kr)
Received ; November 12, 2015 Revised ; November 17, 2015
Accepted ; November 26, 2015

흥미를 가지고, 이것은 여러 분야에서 사용되었다. 본 논문에서는 여러 어플리케이션에서 동시에 사용 할 수 있도록 이중대역 무선전력전송용 공진기를 제안하였다. 두 개의 대역에서 동작하는 두 개의 공진기는 각각 두 개의 분리된 회로를 필요로 한다. 또한 두 개의 공진기는 크기 및 무게가 증가하고 비용이 많이 들고 복잡하다는 단점이 있다[5]. 이러한 문제를 해결하기 위해 우리는 두 개의 공진기를 한 개의 정합회로에 적용하였다. 이러한 제안한 시스템은 다양한 상업용 전기기기, 산업용 어플리케이션 등에서 널리 쓰일 수 있다[6].

본 논문에서는 자기공진 방식을 사용한 두 개의 대역에서 동작하는 공진기를 제안하였고, Medium - frequency band (MF-band, 300 kHz~3 MHz) 코일과, High-frequency band (HF-band 3 MHz~30 MHz)에서 동작하는 코일과 정합회로, 단일 포트를 이용하였다. MF와 HF-대역에서 동작하는 이중대역 공진기의 거리 100 mm에서의 모의실험 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 이용하여 두 공진기 사이의 전송 효율 또한 계산하였다.

Ⅱ. 이중대역 무선전력전송 공진기 설계

이중대역에서 동작하는 자기공진 방식의 무선전력전송 공진기 구조의 회로는 그림 1과 같다. 이중대역 공진기는 서로 다른 모양인 코일과 루프를 사용하여 이중대역에서 각각 동작하도록 설계하였다. MF-대역과 HF-대역에서 동작하는 코일과 루프, 정합회로를 사용하여 동작 주파수를 조절하였다. 이 구조들은 하나의 포트에 연결되어있다. 정합회로 기판은 Taconic사의 TLC 32 (ε_r=3.2)를 사용하였고, 기판의 크기는 80 mm × 50 mm × 0.787 mm이다. 이중대역에서 동작하는 공진기를 설계하기 위해 각각 대역에서 공진기를 설계하고, 두 개의 공진기를 하나의 포트에 결합하여 이중대역 공진기를 설계하였다.

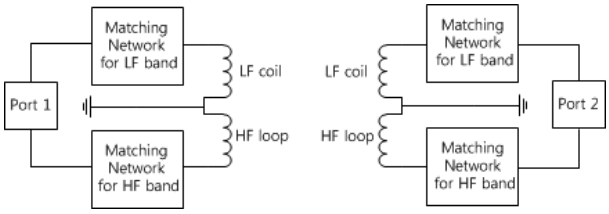

그림 1. 제안한 이중대역 무선전력전송 공진기 회로도
Fig. 1. Schematic of the proposed dual-band resonator.

1. MF-대역 공진기 설계

그림 2는 MF-대역에서 동작하는 공진기 구조를 나타내었다. MF-대역에서 동작하는 공진기 구조는 구리 재질의 얇은 여러 가닥으로 구성되어있는 리츠 와이어를 이용한 20 턴의 스파이럴 코일과 정합회로로 구성되어있다. 리츠 와이어가 얇기 때문에 고정시키기 위하여 뒷면에 기판을 이용하여 고정하였다. 고정한 기판의 크기는 290 mm × 190 mm × 0.787 mm 이며, 리츠 와이어의 두께는 1 mm이다. 정합회로는 집중소자를 이용하여 정합 하였고, 주파수 및 특성을 조절하였다. 그림 3은 그림 2의 공진기를 모의실험 결과이다. 모의실험 결과 MF-대역인 1.01 MHz에서 S_{11}이 -11.06 dB의 특성으로 - 10 dB이하의 특성을 나타내었다. 따라서 제안한 20 턴의 스파이럴 코일은 MF-대역에서 동작하는 것을 확인하였다.

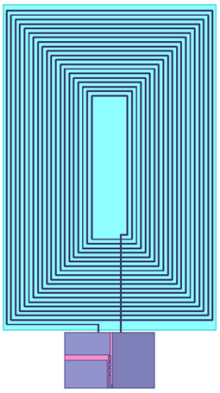

그림 2. MF-대역 공진기 구조
Fig. 2. Structure of the MF-band.

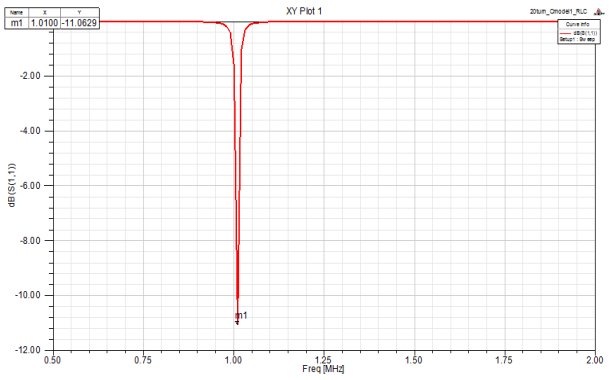

그림 3. MF-대역 공진기 모의실험 결과
Fig. 3. Result of the proposed MF-band resonator.

2. HF-대역 공진기 설계

그림 4는 HF-대역에서 동작하는 공진기 구조이다. HF-대역에서 동작하는 공진기 구조는 지름 5 mm인 구리를 이용하여 사각형 모양으로 설계하였고, 정합회로와 연결하였다. 루프의 크기는 100 mm × 200 mm이다. HF-대역 정합회로 또한 집중소자를 이용하여 주파수를 조절하였다. 그림 5는 HF-대역 공진기의 모의실험 결과이다. 모의실험 결과 6.75 MHz에서 -13.43 dB의 특성으로 HF-대역에서 동작하는 것을 확인하였다.

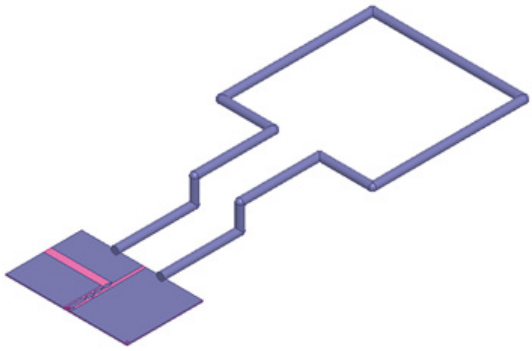

그림 4. HF-대역 공진기 구조
Fig. 4. Structure of the HF-band.

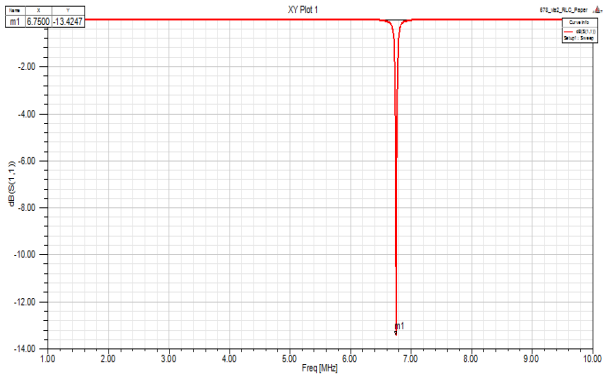

그림 5. HF-대역 공진기 모의실험 결과
Fig. 5. Result of the proposed HF-band resonator.

3. 이중대역 공진기 설계

그림 6은 이중대역 공진기의 구조이다. MF-대역 공진기 코일은 정합회로인 기판의 아랫면에, HF-대역의 공진기 코일은 정합회로의 기판 뒷면에 각각 결합하였다. 결합한 정합회로는 비아를 통해 윗면과 아랫면을 연결하였고, 앞면과 뒷면에 집중소자를 이용하여 동작주파수를 조절하기 위해 각각 정합을 하였다. 또한 두 대역의 특성을 갖는 공진 코일과 정합회로를 통한 영향을 고려하여 집중소자를 이용하여 정합하였다. 정합회로는 하나의 포트로 연결되어있다. 제안한 이중대역 공진기의 전체 크기는 190 mm × 342 mm × 73 mm 이다. 그림 7은 공진기의 모의실험 결과이다. 모의실험 결과 1.01 MHz와 6.8 MHz에서 - 10 dB이하의 값을 가진다. 두 개의 대역에서 -10 dB이하이므로 제안한 공진기의 구조는 이중대역인 두 개의 대역에서 동작하는 것을 확인하였다.

제안한 공진기를 같은 구조로 두 개의 공진기를 하나는 송신기 (포트 1), 하나는 수신기 (포트 2)로 설정하였다. 두 개의 공진기 사이의 거리를 100 mm의 거리를 두어서 전송특성을 모의실험 하였다. 그림 8은 두 개의 공진기를 거리 100 mm에서 모의실험 한 결과이다. 모의실험 결과 S_{21}이 MF-대역인 1.03 MHz와 HF-대역인 6.27 MHz에서 각각 -0.73 dB와 -1.67 dB를 나타내는 것을 확인하였다.

무선전력전송 공진기의 효율은 S_{21}을 이용한 다음 식 (1)으로 구할 수 있다.

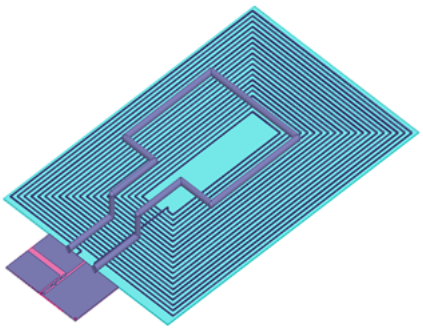

그림 6. 이중대역 공진기 구조
Fig. 6. The structure of the dual-band.

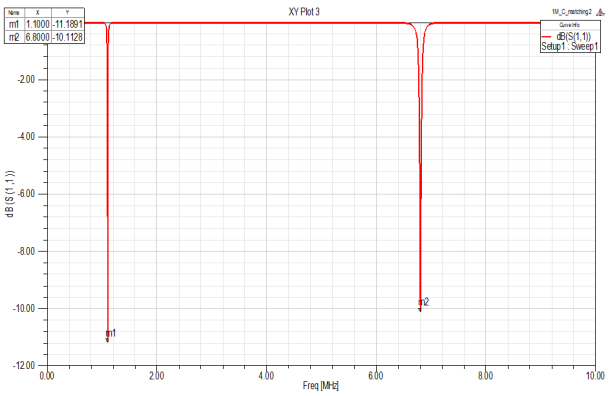

그림 7. 이중대역 공진기 모의실험 결과
Fig. 7. Result of the proposed dual-band resonator.

$$efficiency = 10^{\frac{S_{21}}{10}} \times 100(\%) \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 계산한 결과 MF-대역은 84.47 %이고 HF-대역은 68.18 %로 모두 60 %의 이상의 효율을 나타내는 것을 확인하였다.

제안한 이중대역 무선전력전송 공진기 사이의 거리를 50 mm에서 150 mm까지 거리를 두어 모의실험 및 효율을 계산하였다. 결과는 표 1에 나타내었다. 150 mm 일 때 효율이 두 개의 대역에서 각각 7.9 %와 16.7 %로 100 mm의 효율과 비교하였을 때 더 낮아지는 것을 확인하였다. 거리가 멀어질수록 효율은 낮아지게 된다. 그리고 거리가 50 mm 이었을 때도 효율이 더 낮아졌는데 150 mm의 결과와는 다른 이유로 효율이 더 낮아졌다. 50 mm의 경우에는 over coupling에 의해서 주파수가 분리되는 현상에 의해서 효율이 더 낮아지게 된다. 따라서 제안한 이중대역 공진기 구조는 100 mm에서 가장 높은 효율을 갖는 것을 확인하였다.

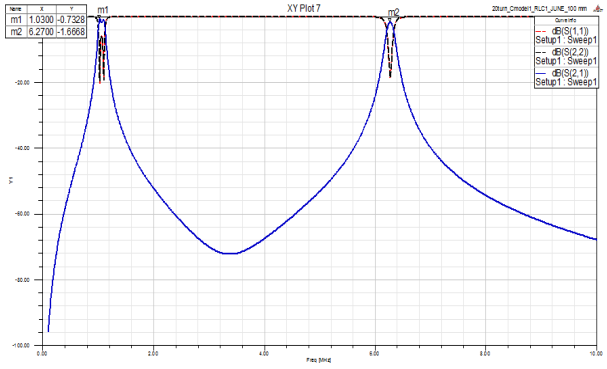

그림 8. 이중대역 공진기 거리 100 mm 모의실험 결과
Fig. 8. Result of the proposed dual-band resonator, when the distance is 100 mm.

표 1. 제안한 이중대역 무선전력전송 공진기 거리별 모의실험 결과
Table 1. The simulation result of the dual-band resonators.

거리	MF-대역 S_{21} / 효율	HF-대역 S_{21} / 효율
50 mm	-4.3879 dB / 36.4% (over coupling)	-5.3578 dB / 29.1% (over coupling)
100 mm	-0.7328 dB / 84.5%	-1.6668 dB / 68.1%
150 mm	-11.0132 dB/ 7.9%	-7.7806 dB / 16.7%

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 여러 어플리케이션에서 활용할 수 있는 이중대역 공진기를 이용한 무선전력전송 시스템을 제안하였다. 제안한 이중대역 공진기는 하나의 포트와 정합회로의 양면성을 이용하여 설계하였으며, 기존의 공진기의 경우에는 각각의 포트와 정합회로를 이용하였기 때문에 제안한 공진기는 기존의 공진기와 비교하였을 때, 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 제안한 공진기의 구조는 20턴의 스파이럴 코일과 사각형 모양의 구리 루프 형태를 하나의 정합회로 기판 앞면과 뒷면에 각각 연결하였고, 정합회로는 비아를 통하여 연결되었다.

제안한 이중대역 공진기는 모의실험 하였고, 그 결과 MF-대역과 HF-대역에서 동작하는 것을 확인하였다. 같은 구조의 이중대역 공진기 2 개를 이용하여 거리 100 mm에서의 전력전송특성을 확인하였다. 그 결과 MF-대역인 1.03 MHz와 HF-대역인 6.27 MHz에서 S_{21}이 각각 -0.73 dB와 -1.67 dB를 나타내는 것을 확인하였다. 효율 계산식을 이용하여 효율을 구한 결과 두 개의 대역에서 모두 60 % 이상의 효율을 갖는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1] T. W. Bae, J. W. Lee, S. Y. Ha, Y. C. Kim, S. H. Ahn, and K. I. Sohng, “An Occupant Sensing System using Single Video Camera and Ultrasonic Sensor for Advanced Airbag”, *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 13, No. 1, pp. 66~75, 2010.

[2] E. S. Kim, “The Effects of Antenna Type and Frequency on Wireless Power Transmission”, *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 541~545, April 2015.

[3] T. Y. Eom, C. S. Oh, and S. J. Park, “Wireless Power Transfer Technologies Trends”, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp.174~178, 2015.

[4] H. J. Kim, and C. H. Seo, “Resonant Wireless Power Transfer System with High Efficiency using Metamaterial Cover”, *IEIE Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 51, No. 1, pp. 47~51, 2014.

[5] Dionigi, M. and Mongiardo, M, “Multi Band Resonators for Wireless Power Transfer and

Near Field Magnetic Communications", *Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications (IMWS), 2012 IEEE MTT-S International*, pp. 61~64, May 2012.
[6] Low. Z. N, Chinga, R. A, Tseng, R, and Lin. J, "Design and test of a high-power high-efficiency loosely coupled planar wireless power transfer system", *IEEE Trans. Ind. Electron*, pp. 1801~1812, 2009.
[7] N. Tesla, "Apparatus for transmitting electrical energy", U.S. patent 1,119,732, 1914.
[8] J. M. Fernandez, J. A. Borras, "Contactless battery charger with wireless control link", U.S. patent 6,184,651, February 2001.

저 자 소 개

윤 나 내(학생회원)
2011년 강남대학교 전자공학과 학사 졸업.
2013년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.
2013년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사 과정.
<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, Oscillator, RF Power Amplifier, 안테나, 무선 전력 전송>

서 철 헌(정회원)
1983년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1993년~1995년 MIT 연구원
1993년~1997년 숭실대학교 정보통신학과 조교수
1999년~2001년 MIT 방문교수
1997년~2004년 숭실대학교 정보통신 전자공학부 부교수
2004년~현재 숭실대학교 정보통신 전자공학부 교수
<주관심분야 : 이동 및 위성통신 Microwave 부품 및 시스템, PBG를 이용한 RF부품, RF power Amplifier, RFIC 등>