

높은 Q 값을 갖는 공진코일 모델링 방법

한민석*, 이경학, 김지민, 손훈

*(재)스마트IT융합시스템연구단 (한국과학기술원), 한국과학기술원

*mshan1024@kaist.ac.kr

Method of Resonance Coil Modeling with High Q Factor

Min Seok Han*, Kyung Hak Lee, Ji Min Kim, Hoon Sohn

*Center for Integrated Smart Sensors (KAIST), KAIST

요 약

본 논문에서는 자기공진형 무선전력전송 시스템 구현을 위해 필요한 핵심요소 중에 하나인 높은 Q 값을 갖는 공진코일 구현을 위한 모델링 방법을 제안하고 이를 실제로 스마트 위치 형태의 프로토타입에 적용한 사례에 대해서 기술하고자 한다. 본 논문에서 제안한 높은 Q 값을 갖는 공진코일 모델링 방법을 이용해서 실제 구현된 Tx, Rx 공진코일은 각각 180, 50 의 높은 Q 값을 갖고, 6.78 MHz 에서 15 dB 이상의 반사손실 특성을 나타내었으며, Rezence에서 제시하고 있는 자기공진형 충전환경에서 코일 간 전송효율을 측정한 결과 70 % 이상의 효율을 나타내었다.

I. 서 론

스마트폰, 태블릿 PC, 스마트워치, 블루투스 헤드셋, 무선키보드 등 현대인이 일상 속에서 사용하는 IT 디바이스의 수는 점차 증가하고 있으며, 이에 따른 잦은 충전 횟수도 증가해 사용자들에게 불편함을 주고 있다. 이를 해결하기 위해서 최근 전자기기의 편리성과 안전성을 위하여 무선전력 전송 시스템이 많이 연구되어 도입되고 있다. 그 중 스마트폰과 바로 연계하여 사용할 수 있는 스마트워치 시장에 다수의 기업이 진출하면서 시장 규모가 급증하고 있다. 스마트워치는 스마트폰과 연계해 편리한 기능을 제공하고, 심박수 체크, 음성 인식 등 다양한 부가 기능을 통해 소비자들의 수요를 창출하고 있다. 또한, 초기 스마트워치 시장은 단순 모니터링 기능, 피트니스 기능을 통해 일부 소수 메니아 층을 대상으로 판매를 해왔으나 휴대폰 제조사들이 본격적으로 시장에 진출하면서 스마트폰과 연계된 다양한 추가적 기능과 사용의 편리함을 통해 시장이 확대되고 있으며 무선충전 기술에 대한 필요성은 갈수록 증대되고 있는 상황이다.

무선전력전송은 전송되는 거리에 따라 전자파 전파 특성이 다르기 때문에 전송방식을 구분하고 있으며, 자기유도, 자기공진, 그리고 RF방식이 있다[1]. 근거리에서는 낮은 주파수의 전기나 자기장 결합에 의한 자기유도 방식이 사용되며, 원거리에서는 방사형 전력전송 방식이 사용된다. 현재 상용화가 가장 많이 된 무선전력전송 방식은 자기유도 방식으로 Galaxy S6를 포함해서 현재 750개 이상의 Qi 인증 제품이 출시되어 있다. 자기유도 방식은 공급전력 대비 충전전력의 효율이 최고 90 % 이상이다. 하지만, 충전 위치의 변화에 따라 충전 효율이 크게 달라지며 발열이 많다는 단점이 있다[2]. 특히 전력전송 가능 거리가 수 mm로 매우 짧아 적용 가능한 분야가 적다는 것이 가장 큰 단점으로 지적된다. 자기공진방식은 비교적 큰 전력을 수 미터까지 보낼 수 있다는 장점이 있으나, 높은 공진 특성(High Quality Factor)을 요구한다[3].

본 논문에서는 자기공진형 무선전력전송 시스템 구현을 위해서 가장 중요한 요소 중에 하나인 높은 Q 값을 갖는 공진코일 구현을 위한 모델링 방법을 제안하고 이를 실제로 스마트 위치 형태의 프로토타입에 적용한 사례에 대해서 기술하고자 한다. 본 논문에서 제안한 High Q 공진코일 모델링 방법을 이용해서 실제 구현된 Tx, Rx 공진코일은 각각 180, 50 의

높은 Q 값을 갖고, 6.78 MHz 에서 15 dB 이상의 반사손실 특성을 나타내었으며, Rezence에서 제시하고 있는 자기공진형 충전환경에서 코일 간 전송효율을 측정한 결과 70 % 이상의 효율을 나타내었다.

II. 본론

무선 전력 전송의 성능을 나타내는 중요한 요소는 Q-factor이다. Q-factor는 주파수의 선택적 특성을 나타내는 값으로 값이 클수록 그 주파수에서 공진 특성이 좋다고 할 수 있다. 특히 자기 공진형 무선전력 전송에서는 송·수신 공진코일의 거리가 멀어지면서 자기 결합 정도가 감소할지라도 Q-factor를 증가시킴으로써 전송 거리를 확보할 수 있게 된다.

직렬 공진회로에서의 Q-factor는

$$Q = \frac{f_r}{\Delta f} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0 L}{R_0 + R_r} \quad (1)$$

이다. 여기에서 f_r 은 공진주파수, R_r 은 방사 저항, R_0 는 전도 저항을 나타낸다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 높은 Q 값을 갖기 위해서는 코일의 저항이 작다는 것을 의미하므로 높은 Q 값은 고효율 전력전송에 필수적이다.

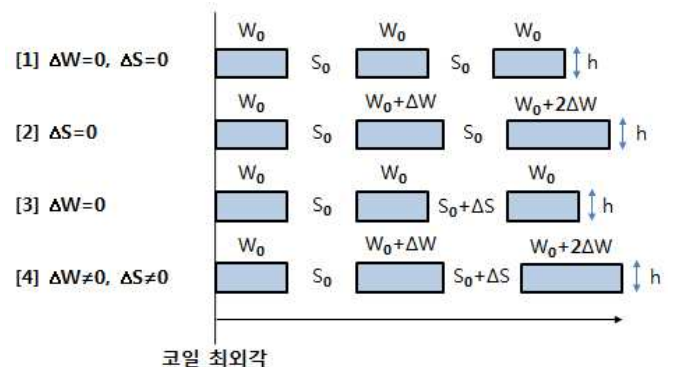
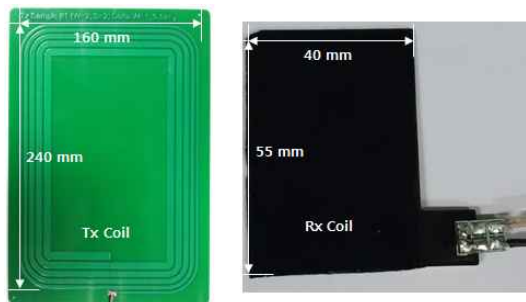
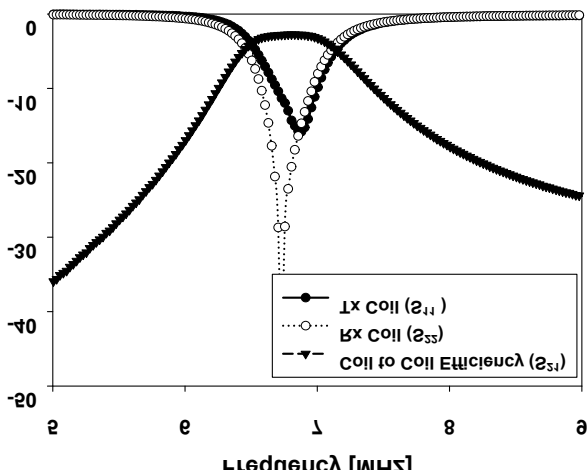


그림 1. 높은 Q 값을 갖는 4가지 서로 다른 Topology를 갖는 공진 코일 모델링

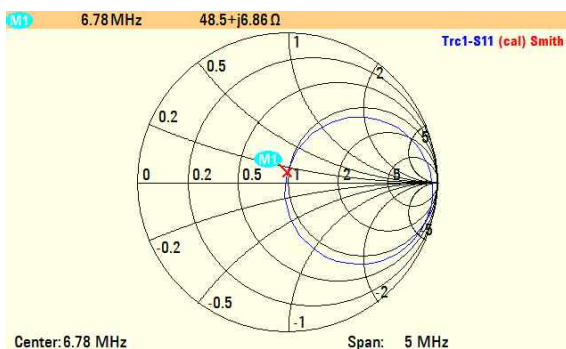
그림 1은 본 논문에서 제안한 높은 Q값을 갖는 공진코일 모델링을 위한 4가지 서로 다른 Topology에 대해서 정의하고 있다. 선 폭($W_0 + \Delta W$), 선 간격($S_0 + \Delta S$)에 따른 4가지 타입 Parameter를 정의하고 이를 최적화함으로써 높은 Q 값을 갖는 공진코일을 모델링을 할 수 있다. Conductive trace의 width와 spacing 변화에 따른 Q 값 변화 특성을 분석하면 Turn 수가 동일한 경우, spacing이 증가함에 따라서 Q값이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, Coil의 인접한 conductive track 에서 발생하는 근접효과를 최소화 시킬 수 있다. 위에서 제시한 서로 다른 topology에 대해서 최적의 조합 (Conductive trace의 width와 spacing 최적화)을 통해 6.78 MHz에 실제 적용했을 때, 120% 까지 Q값을 높일 수 있다. 6.78 MHz 자기공진의 경우, 근접효과(Proximity Effect) 최소화를 통한 R_{ac} 를 줄이는 것이 중요하고 이를 위해서 선 간격을 증가시키면 근접효과 최소화 가능한 것을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 실제 제작된 높은 Q 값을 갖는 스마트 위치용 무선전력전송 시스템; (a) Tx 및 Rx 공진코일, (b) S-parameter 특성, (c) 스미스 차트 임피던스 매칭 특성

그림 2는 본 논문에서 제안한 높은 Q값을 갖는 공진코일 모델링 방법을 이용하여 실제 제작된 스마트 위치용 무선전력전송 시스템의 Tx, Rx 공진코일 및 S-parameter 특성을 나타내주고 있다. 그림 2에서와 같이 6.78 MHz에서 Rx 반사손실 특성은 35 dB를 나타내었고 코일 간 전송효율은 70 % 를 나타내었다. 임피던스 매칭을 위해서 병렬 Capacitor 150 pF, 직렬 Capacitor 43 pF을 사용해서 임피던스 매칭을 하였고 그 결과, 스미스차트 임피던스 매칭 특성을 통해 나타난 바와 같이 50 Ω 임피던스 매칭이 잘 된 것을 알 수 있다.



그림 3. 스마트위치용 6.78 MHz 자기공진형 무선전력전송 시스템 전 송효율 측정 환경 및 측정 결과

그림 3은 Rezence에서 제시하고 있는 스마트폰 3대를 동시에 충전 가능한 20 W 출력으로 성능을 Test 한 결과 실제 수신단 정류회로를 통해 출력된 전압은 1.86 V 이고, 이때 LED 가 점등되는 것을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 높은 Q 값을 갖는 4가지 서로 다른 Topology를 갖는 공진 코일 모델링 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 높은 Q값을 갖는 공진코일 모델링 방법을 이용해서 실제 구현된 Tx, Rx 공진코일은 각각 180, 50 의 높은 Q 값을 갖고, 6.78 MHz 에서 15 dB 이상의 반사손실 특성을 나타내었으며, Rezence에서 제시하고 있는 자기공진형 충전환경에서 코일 간 전송효율을 측정한 결과 70 % 이상의 효율을 나타내었다. 향후 실제 스마트 위치에 장착 후 Battery 영향을 고려한 효율에 대한 성능 검증이 추가적으로 진행 될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2014년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 (재)스마트 IT융합 시스템 연구단(글로벌프론티어사업) 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설기술 A01)의 지원을 받아 수행된 연구임 ((재)스마트 IT 융합 시스템 연구단-2012M3A6A6054193)

참 고 문 헌

- [1] W. C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", IEEE Trans. micro. theory tech., Vol. MTT-32, No. 9, pp. 1230-1242, Sep. 1984.
- [2] M. S. Han, R. H. Park, "Wireless power transfer technology of industry", The Magazine of the IEEK, vol. 38, no. 9, pp.31-36, 2011.
- [3] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljagic, "Wireless Power Transfer via strongly coupled magnetic resonances", Science, vol. 317, no. 83, pp.83-86, 2007.