

자기공명 무선전력전송용 100 W급 수신기 설계 및 제작

Design and Implementation of a 100 W Receiver for Wireless Power Transfer Using Coupled Magnetic Resonance

김성민^{*,**} · 조인귀^{*} · 최현철^{**}

Seong-Min Kim^{*,**} · In-Kui Cho^{*} · Hyun-Chul Choi^{**}

요약

본 논문에서는 자기공명 방식의 무선전력전송 시스템용 100 W급 수신기를 설계, 제작하였다. 제안된 수신기는 1.8 MHz 대역, 100 W급 full-bridge 다이오드 정류기와 정전류 충전기로 구성되어 있다. 특히 정류기에는 30 V 이상의 과전압으로부터 수신기를 보호하는 과전압 보호회로와 수신기에 입력되는 여분 전력을 자동으로 소모하여 수신기의 입력임피던스를 부하변동에 관계없이 일정하게 유지시키는 능동 더미 부하가 내장되어 있다. 정전류 충전기는 최대 1 A의 충전 전류로 배터리를 충전할 수 있도록 설계, 제작되었으며, 충전전류를 제어할 수 있도록 구성되었다. 구성된 수신기를 이용하여 자기공명방식 무선충전 시스템을 구성하였다. 시스템은 130 W 송신기, 1.8 MHz 대역 송수신 공진기, 그리고 제안된 수신기로 구성되어 있으며, 자기공명방식으로 48 V 리튬-이온 배터리를 충전하도록 설계되었다. 시스템 측정 결과, 30 cm의 전송거리에서 약 54 %의 시스템 효율을 나타내었다.

Abstract

In this paper, a receiver for wireless power transfer is proposed. The receiver consists of a 100 W rectifier in 1.8 MHz frequency band, and a constant current charger. In particular, two kinds of protection circuits are installed in the rectifier. They are a over-voltage protection circuit which block the input voltages greater than 30 V and a active-dummy load which maintains the receiver input impedance by automatically consuming the remaining input power. The constant current charger is designed to charge the battery with a charging current of up to 1 A. A wireless charging system is fabricated using the proposed receiver. The system is composed of a 130 W transmitter, two magnetic resonator, and proposed receiver for charging a 48 V Li-Ion battery using the coupled magnetic resonance method. By the measurement result, the system efficiency is about 54 %.

Key words: Wireless Charging, Magnetic Resonance, Full-Bridge Receiver, Constant Current Charger

I. 서론

스마트폰, 웨어러블 기기의 등장으로 개인 휴대전력에

대한 요구가 커지면서 쉽게 전력을 공급할 수 있는 무선 전력전송 기술에 대한 요구도 같이 커지고 있다. 무선전력전송기술은 자기유도와 자기공명, 두 가지 방향으로 발

「이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.」

「본 연구는 미래창조과학부와 ETRI의 2015년 ICT R&D 프로그램으로 수행되었음.」

*한국전자통신연구원 전파기술연구부(Radio Technology Research Department, ETRI)

**경북대학교 전자공학부(Graduate School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

· Manuscript received September 25, 2015 ; Revised November 20, 2015 ; Accepted November 26, 2015. (ID No. 20150925-09S)

· Corresponding Author: Hyun-Chul Choi (e-mail: hcchoi@ee.knu.ac.kr)

전되고 있다. 자기유도는 근접거리에서 높은 시스템 효율을 나타내지만, 전송거리와 공진기 사이의 정렬에 따라 전송효율이 크게 변하는 단점이 있다. 자기공명은 상대적으로 전송거리가 크고, 공진기의 정렬에 상대적으로 덜 민감한 특징이 있으나, 전송효율이 나쁜 단점이 있다^[1]. 자기공명의 또 하나의 단점은 부하 변동에 민감하다는 점이다. 특히 부하가 배터리인 경우, 배터리의 잔량과 충전 정도에 따라 배터리의 임피던스는 수 옴에서 수백 옴까지 변화하는 특성을 나타낸다. 이러한 부하의 변동은 수신부의 입력 임피던스 변동으로 나타나고, 이는 시스템 효율 변화로 나타난다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법이 제시되고 있지만, 실제 적용에는 문제점이 있다^[2]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 수신기를 설계, 제작하였다. 제안된 수신기는 1.8 MHz 대역에서 최대 100 W의 전력을 수신하여 48 V, 10 Ah의 리튬-이온 배터리를 충전할 수 있도록 구성되었다. 수신기는 100 W급 full-bridge 다이오드 정류기와 정전류 충전기로 구성되어 있다. 특히 정류기에는 여분의 전력을 자동으로 소모하여 수신기의 입력 임피던스를 일정하게 유지시켜 주는 능동 더미 부하를 내장하고 있다. 정전류 충전기는 최대 1 A의 충전전류로 배터리를 충전하도록 구현되었으며, 송신기와의 통신을 수행하기 위한 통신기능, 수신기 전체의 동작을 제어하는 제어기능이 내장되어 있다. 제안된 수신기의 성능을 검증하기 위해, 1.8 MHz 대역의 무선충전 시스템을 구성하였다. 시스템 측정결과, 부하인 배터리 충전량에 관계없이 약 54%의 전송효율을 유지하였다.

II. 수신기 설계 및 제작

부하변동에 의한 수신기 임피던스 변동 및 시스템 효율저하 문제를 해결하기 위하여, 부하변동에 관계없이 수신기 입력 임피던스를 유지할 수 있도록 100 W급 정류기와 정전류 충전기를 이용하여 자기공명 무선전력 수신기를 설계하였다^{[3],[4]}. 그림 1은 제안된 수신기의 구성을 나타낸다. 그림 1에 나타난 것과 같이 정류기는 정합회로, 정류회로, 능동 더미 부하, 그리고 과전압 보호회로로 구성되어 있고, 정전류 충전기는 정전류변환회로, 제어기 및 FSK 통신기로 구성되어 있다.

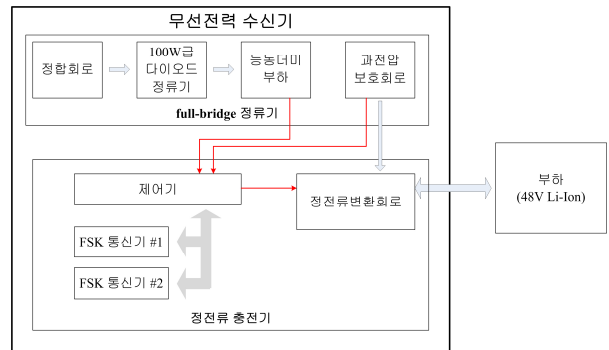


그림 1. 100 W급 수신기 블록도
Fig. 1. The block diagram of 100 W receiver.

정류기내의 정합회로는 수신기의 입력 임피던스가 50 옴에 정합되도록 인덕터와 캐패시터를 이용하여 구성하였다. 다이오드 정류기는 1.8 MHz의 주파수에서 최적의 효율을 갖도록 설계되었다. 특히 정류기에는 수신기를 보호할 수 있는 두 가지 형태의 보호회로가 내장되어 있다. 첫 번째 보호회로는 30 V 이상의 과전압으로부터 수신기를 보호하도록 구성된 과전압보호회로이고, 두 번째 보호회로는 입력되는 전력 중에서 부하가 소모하는 전력을 제외한 여분의 전력을 자동으로 소모하여 전체 입력전력이 항상 완전히 소모되도록 하는 능동 더미 부하이다. 능동 더미 부하의 이러한 동작을 다르게 표현하면, 부하에서 소모되는 전력량이 변화하더라도 능동 더미 부하에서 소모되는 전력량이 자동으로 조정되어 전체 수신기에서 소모되는 전력이 일정하게 유지되는 동작이다. 이러한 동작을 통하여 일정한 입력전력 조건에서 수신기의 입력 임피던스는 부하의 임피던스에 관계없이 항상 일정하게 유지된다. 이렇게 부하의 변동에 관계없이 수신기의 입력 임피던스가 일정하게 유지되고, 송신기의 송신전력제어 기능을 통하여 수신기가 요구하는 최적의 전력을 수신기로 전달하면 부하의 변동에 관계없이 시스템의 전송효율을 유지할 수 있다. 정전류 충전기는 정류기로부터 정류된 dc 전력을 공급받아 정전류 변환회로를 이용하여 정전류 신호로 변환하여 부하인 배터리를 충전하는 기능을 수행한다. 충전기의 입력전압 범위는 설계된 수신기의 특징을 바탕으로 10~30 V로 설정되었다. 충전 전류는 최대 1 A까지 0.1 A 단위로 설정할 수 있으나, 실제 시스템 구

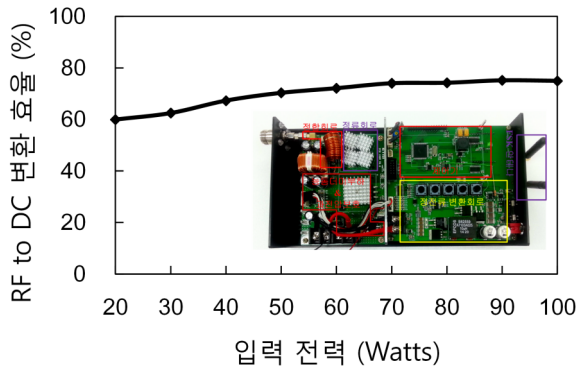


그림 2. 100 W급 수신기 RF/dc 효율 측정 결과
Fig. 2. The RF/dc efficiencies of 100 W receiver.

성에 있어서는 0.9 A로 설정되었다. 충전기 내부에는 제어기와 두 개의 frequency shift keying(FSK) 통신기를 내장하여 송신기 및 외부 컴퓨터와 통신을 수행하고, 그 결과에 따라 수신기의 동작을 제어할 수 있도록 구성하였다. FSK 통신기 #1은 송신기와의 통신을 수행하여 수신기에 최적의 입력전력이 유지될 수 있는 송신전력제어가 이루어질 수 있도록 구성하였다. FSK 통신기 #2는 외부 컴퓨터 혹은 제어기와 연결되어 전체 무선충전 과정을 제어할 수 있도록 한다. 각각의 FSK 통신기는 424 MHz 대역에서 9.6 kb/s의 속도로 통신을 수행한다.

그림 2는 제작된 수신기와 RF/dc 변환 효율을 나타낸다. 그림 2에 나타난 것과 같이 수신기는 하나의 합체로 제작되었다. 수신기의 성능을 확인하기 위해 1.8 MHz 대역에서 입력 전력에 따른 RF/dc 변환 효율을 측정하였다. 측정에서는 부하로 배터리 대신 6.25옴의 저항을 이용하였다. 그림 2에 나타난 것과 같이 수신기의 효율은 20~100 W에서 60 % 이상의 효율과 최대 90 W의 입력에서 약 75.2 %의 효율을 나타내었다.

III. 송신전력제어 기능

부하변화에 관계없이 시스템 효율을 유지하기 위한 또 하나의 필수 기능은 송신전력제어 기능이다. 송신전력제어 기능은 부하가 요구하는 최적의 전력이 항상 수신기로 입력될 수 있도록 송신기가 전송전력을 제어하는 것이다. 본 논문에서는 FSK 통신기 #1을 이용하여 송신기

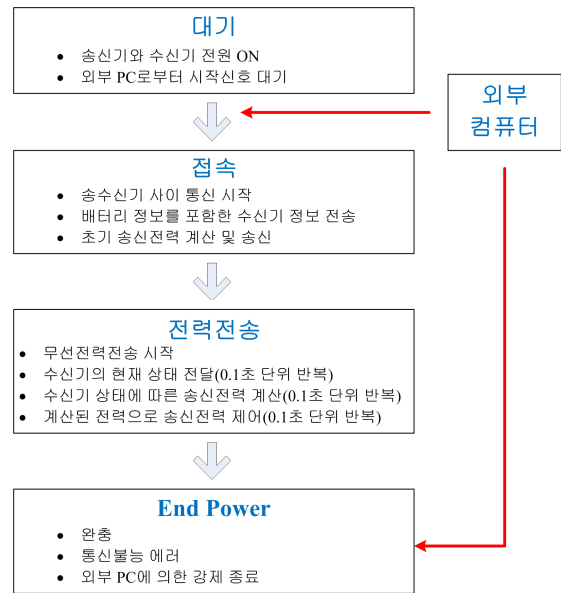


그림 3. 전력제어를 포함한 무선충전 절차
Fig. 3. Wireless charging procedures including power control.

와 수신기가 통신을 수행하고, 그 결과에 따라 송신기가 송신전력제어 기능을 수행한다. 그림 3은 송신전력제어 기능을 포함한 전체 무선충전 절차를 나타낸다. 그림 3에 나타난 것과 같이 본 논문에서 무선충전 절차는 크게 4가지로 나뉘어진다⁵⁾.

송신전력제어 기능은 세 번째 단계인 전력전송 단계에서 수행된다. 본 논문에서의 송신전력제어의 목표는 수신기의 능동 터미 부하에서 소모되는 전력을 일정하게 유지하는 것이다. 앞에서 설명한 것과 같이, 능동 터미 부하에서 소모되는 전력은 입력되는 전력 중에서 부하에서 소모되는 전력을 제외한 여분의 전력이므로 이 값을 일정하게 유지하면 부하가 요구하는 전력이 충분히 수신기로 입력되기 때문이다.

IV. 무선충전 시스템 구현

제안된 수신기와 전력제어기능을 검증하기 위해 48 V 배터리 충전을 위한 1.8 MHz 대역의 무선충전 시스템을 구현하였다. 무선충전 시스템은 최대 출력 130 W 송신기, 1.8 MHz 대역 직경 30 cm 급의 송수신 공진기, 그리고 제

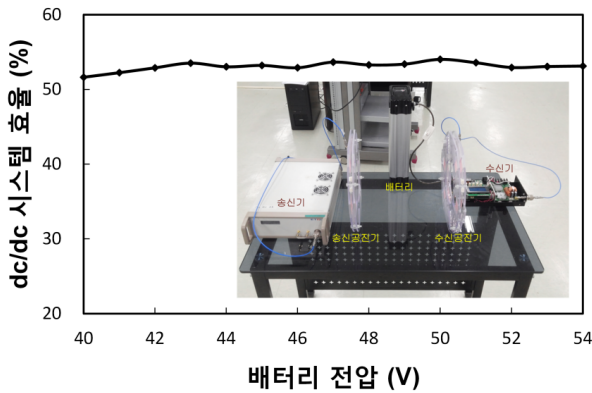


그림 4. 무선충전 시스템 효율 측정 결과
 Fig. 4. The system efficiencies for the wireless charging system.

안된 수신기로 구성되어 있다. 송신기는 출력단의 return loss를 측정하고, 이를 이용하여 최적 주파수 탐색 기능 및 송신기 보호 등의 기능을 수행한다. 자기공명 무선전력전송을 위해 송수신 공진기를 스파이럴 구조로 제작하였다. 또한, 회로와의 임피던스 정합을 위해 외부 루프코일을 이용하였다.

그림 4는 제안된 기능의 효용성을 확인하기 위한 1.8 MHz 대역 무선충전 시스템과 부하인 배터리의 충전 정도, 즉 배터리 전압 변화에 따른 시스템 dc/dc 효율 변화를 나타내고 있다. 그림 4에 나타난 것과 같이 제안된 수신기를 이용한 시스템의 효율은 부하인 배터리의 충전 정도에 따라서 약 2 % 내로 유지되어 제안된 기능을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 부하변동에 따른 시스템 효율 저하 문제를 해결할 수 있는 100 W급 수신기를 설계, 제작하였다. 제안된 수신기에는 능동 더미 부하를 내장하여 부하에서 소모되는 전력을 제외한 여분 전력을 자동으로 소

모하게 하여 수신기의 입력 임피던스를 부하에 관계없이 일정하게 유지되도록 하였다. 또한, 이러한 임피던스 유지기술과 함께 송신전력제어 기능을 통하여 부하 변동에 관계없이 시스템 효율을 유지할 수 있는 기능을 제안하였다. 제안된 기능을 확인하기 위해 1.8 MHz 대역, 무선충전 시스템을 구성하였다. 무선충전 시스템은 직경 30 cm의 송수신 공진기를 이용하여 30 cm의 전송거리에서 부하인 배터리 충전 상태에 관계없이 약 54 %의 시스템 효율을 유지하여 제안된 기술의 효과를 확인할 수 있었다. 측정 결과를 통하여 제안된 기술은 중전력 자기공명 무선전력전송분야에 응용이 가능함을 확인하였다. 향후 중전력 무선전력전송분야의 팽창과 함께 제안된 기술의 수요도 같이 증가할 것으로 예상된다.

References

- [1] A. Kurs et al., "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances", *Science*, vol. 317, pp. 83-86, Jul. 2007.
- [2] Dukju Ahn, Songcheol Hong, "Wireless power transfer resonance coupling amplification by load-modulation switching controller", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 62, no. 2, pp. 898-909, Feb. 2015.
- [3] Andrew H. Bushnell, "Interfacing pulsed power systems to switching power supplies", *IEEE International Power Modulator Conference*, Jul. 2002.
- [4] IRC Corp., "Resistors for power supply applications", http://www.newark.com/pdfs/techarticles/irc/irc_powerSupplyStudy.pdf
- [5] S. Kim et al., "System level power control algorithm in wireless power transmission for reducing EMF", *Proc. IEEE WPTC 2014*, pp. 193-196, May 2014.