

IoT 센서 노드 충전용 RF 에너지 하베스팅 회로 구현

최 경 준*, 최 세 영°, 오 장 훈°°

Implementation of RF Energy Harvesting Circuit for Wireless Charging of IoT Sensor Nodes

Kyeongjun Choi*, Seyeong Choi°, Janghoon Oh°°

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 동작 수명 연장을 위해 필수적인 RF 에너지 하베스팅 회로를 설계 및 구현하고, 이의 동작을 검증한다. 제안된 에너지 하베스팅 회로는 고주파 AC 입력 전력을 충전용 DC 전력으로 변환하는 정류 회로와 나노 파워 부스트 충전기 및 벡 컨버터 집적회로를 채용한 DC-DC 부스트 충전 칩셋으로 구성된다. 정류 회로는 90 MHz RF 입력 전력 기반으로 동작하며, 충전 회로 구동을 위한 정류회로 출력 전압 확보를 위해 전압 증폭 기능을 제공한다. 충전 회로는 저전력 환경에 적합한 칩셋을 채용하였고 저온 환경을 고려한 슈퍼 커패시터를 이용하여 에너지를 저장한다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Energy Harvesting Circuit, Rectifier Circuit, Charging Circuit, Voltage Multiplier

ABSTRACT

In this paper, we design and implement a low-power RF energy harvesting circuit that is essential for the extended operational lifetime of wireless sensor networks and verify its operation.

The proposed energy harvesting circuit consists of a rectifier circuit which converts high frequency AC input power to DC charging power and a low-power DC-DC boost charging chipset which employs a nano-power boost charger and a buck converter integrated circuit. The rectifier circuit is based on a 90 MHz RF input power and provides voltage amplification to ensure the output voltage of rectifier circuit for the charging circuit operation. The charging circuit employs a chipset suitable for a low power environment and stores energy by using a supercapacitor considering a low temperature environment.

I. 서 론

최근 사물 인터넷(Internet of things, IoT) 개념을 기반으로 하는 다양한 연구가 이루어지고 있다^{1,2}. 사물 인터넷은 각종 사물에 센서 및 통신 기술을 접목하여 인간의 관여 없이 데이터를 송수신 및 처리하는 통신 환경을 말한다. 사물 인터넷에 필요한 네트워크 기술로는 무선 센서 네트워크(Wireless sensor network), RFID (Radio-frequency identification) 및 IP기반 센서 네트워크 등이 잘 알려져 있다. 그 중 무선 센서 네트워크는 무선 통신이 가능한 다수의 초소형, 저전력 센서를 네트워크로 구성하여 각종 센서 데이터를 전송 및 처리하는 기술이다. 무선 센서 네트워크는 데이터 측정용을 위한 센서 노드, 센서 노드의 측정 정보를 수집하는 싱크 노드, 수집된 정보를 저장 및 관리 하는 소프트웨어로 이루어져 있으며, 다양한 사물 인터넷 구축에 적용되고 있다^{3,4}.

본 논문에서는 일상적인 전파 환경 및 외부 송신기가 존재하는 입력 신호 환경에서 무선 센서 네트워크용 센서 노드의 동작 수명 연장을 위한 무선 에너지 하베스팅 회로를 설계 및 구현한다. 제안된 에너지 하베스팅 회로는 정류 회로와 DC-DC 부스트 충전 회로를 함께 설계하여 AC 전압을 DC 전압으로 정류시킴과 동시에 슈퍼 커패시터를 충전할 수 있도록 한다.

* 본 연구는 한국연구재단 논문연구과제 (NRF-2017R1D1A1B03027926) 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0001-7484-1740)Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang University, rudwns1306@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1888-9165)Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang University, sychoi@wku.ac.kr, 중신회원

°° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-0071-4228)Dept. of Info. and Comm., Kyungmin University, janghoh@kyungmin.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201903-480-D-LU, Received February 28, 2019; Revised March 29, 2019; Accepted March 29, 2019

II. 본 론

2.1 정류 회로 설계

교류인 RF 신호를 기반으로 하는 에너지 하베스팅 회로에 필요한 정류 회로는 정류 소자를 이용하여 교류 전력을 직류 전력으로 변환하는 역할을 한다. 본 논문에서 구현한 정류 회로는 고주파 입력 포트, 정합 회로 및 정류 회로로 구성 되어 있다. 고주파 입력 포트에는 특성 임피던스 50 Ω의 SMA 커넥터를 사용하며, 정류 회로는 Valentina Palazzi가 제안한 형태와 동일하다⁵⁾. 정합 회로는 90 MHz에 최적화 되도록 임피던스 정합 회로를 설계 하였으며, 측정된 반사 계수의 크기는 -17.9 dB이다.

그림 1은 정류 회로의 회로도이다. 정류 소자인 D1-D4에 Panasonic Electronic 사의 DB2J31400L을 사용하고, C1 = C4 = 10 pF, C2 = C5 = 5.7 pF, C3 = C6 = 3 pF, C7 = 10 pF, C8 = 10uF, L1 = L2 = 560 nH, LOAD = 887 kΩ을 사용하여 고전압 발생 기인 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier 형태로 구성한다^{6,7)}.

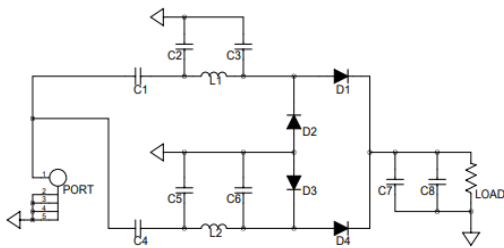


그림 1. 정류 회로 회로도
Fig. 1. Rectifier Circuit Topology

2.2 충전 회로 설계

그림 2는 설계한 충전 회로의 회로도이다. 본 연구에서 충전 회로는 TI사의 BQ25570 칩셋 기반으로 정류 회로의 출력 전압을 받아 슈퍼 커패시터 충전 및 3.0 V의 충전 회로 전압을 출력하도록 설계하였다. 사용 칩셋의 경우 VSTOR 핀은 충전 상태 감시용으로 사용하며 VBAT 핀에 슈퍼 커패시터를 연결하여 충전한다. BQ25570 칩셋의 동작을 위해서는 cold start 를 위한 최소 입력 전압으로 0.6 V가 필요하며, cold start 완료 후에는 0.1 - 5.1 V 사이의 입력 전압으로 동작한다. 정류 회로는 0 dBm 입력 전력으로 출력 전압은 3.2 V가 되며, 이는 BQ25570 칩셋의 입력 전압 조건에 부합하여 VBAT 핀에 연결된 슈퍼 커패시터

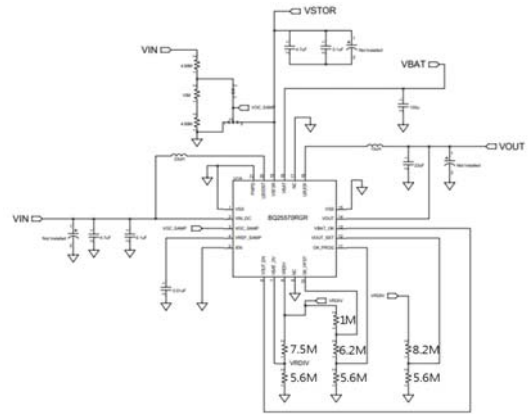


그림 2. RF 에너지 하베스팅 회로도
Fig. 2. RF Energy Harvesting Circuit Diagram

를 충전한다.

그림 3은 시험용 회로 기판 구성을 보여주는 사진이다. 설계된 충전회로는 VBAT_OK 핀에 1 MΩ, 6.2 MΩ, 5.6 MΩ의 저항을 연결하여 VBAT_OK 핀의 전압이 2.55 V 이하일 때 충전이 시작되도록 한다. VBAT_OV 핀에는 7.5 MΩ, 5.6 MΩ를 연결하여 VBAT_OV 핀이 4.24 V 이상이 되면 충전을 중지하고 VOUT에 전압이 출력된다. 이때 필요한 출력 전압 3.0 V가 나오도록 VOUT 핀에 8.2 MΩ, 5.6 MΩ의 저항을 연결한다. 슈퍼 커패시터는 LS Mtron사의 LSUC 003R0L 0480F EA (Max. Stored Energy = 0.6 Wh, Rated Voltage = 3.0 V, C = 480 F)를 사용하였다.



그림 3. 시험용 회로 기판 구성
Fig. 3. Configuration of Circuit Boards for Test

III. 시험 결과

그림 4(a)는 정류 회로 입·출력 전압의 90 MHz, 0 dBm에서의 측정 결과이며, CH1은 정류 회로의 입력 전압, CH2는 출력 전압을 나타낸다. 입력 전압(Vpp = 0.4 V)에 비해 출력 전압(Vout = 3.2 V)이 상대적으로 높게 측정된 것으로 보아 고전압 발생기 및 정류

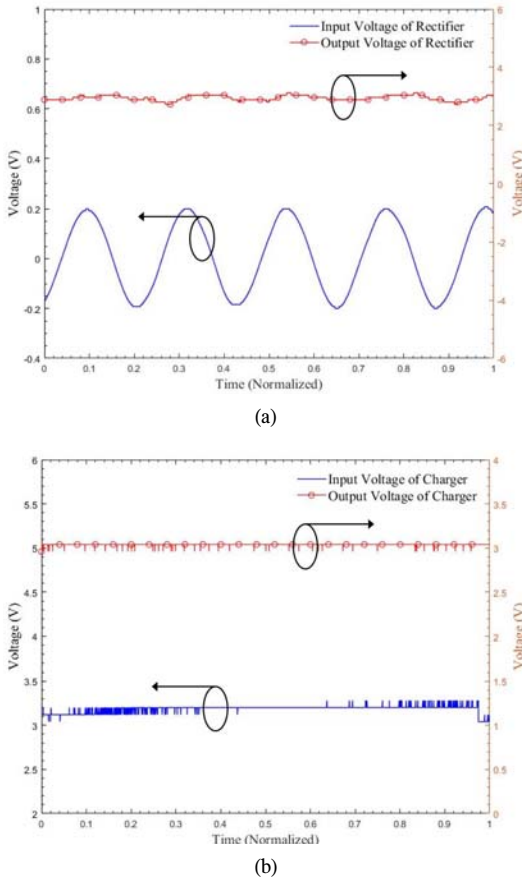


그림 4. (a) 정류 회로 입·출력 전압 측정 결과, (b) 충전 회로 입·출력 전압 측정 결과
 Fig. 4. (a) Measurement of Input & Output Voltage of Rectifier Circuit, (b) Measurement of Input & Output Voltage of Charging Circuit

회로가 설계대로 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 충전 회로 입·출력 전압 측정 결과이며, CH1과 CH2는 각각 입력 전압 과 출력 전압이다. 충전 회로의 cold start 완료 후 입력 전압이 3.12 V로 정류 회로의 출력 전압과 큰 차이 없이 입력 전압으로 들어가고 있음을 확인하였고, 충전 회로 출력 전압 또한 3.0 V가 출력 되는 것을 측정 결과를 통해 확인함으로써, 충전 회로 역시 정확하게 동작하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 일상적인 전파 환경 및 외부 송신기가 존재하는 입력 신호 환경에서 무선 센서 네트워크용 센서 노드의 동작 수명을 연장하기 위하여 저전력

센서 디바이스에 효율적인 무선 에너지 하베스팅 회로를 구현하였다. 제안한 회로는 정류 회로와 충전 회로로 구성되어 있으며, 정류와 충전 및 전압 출력이 동시에 가능하도록 설계하였다. 정류 회로는 90 MHz에 최적화 되어 고전압 출력이 가능하도록 하였고, 충전 회로는 TI사에서 제작한 BQ25570 칩셋 기반으로 슈퍼 커패시터를 충전하면서 출력 전압에 3.0 V가 나오도록 하였다. 실제 무선 전력 전송을 위한 시스템 구성 시 필수 요소인 안테나로는 위상 배열 안테나를 활용한 지향성 안테나 또는 유도성 공진 커플링 (inductive resonant coupling) 송수신기를 고려할 수 있다. PCB 제작 및 시험으로 회로의 정상 동작을 확인함으로써 사물 인터넷 센서 네트워크의 센서 노드 동작 수명을 연장하기 위해 사용이 가능함을 보였다.

References

- [1] J. W. Park, D. S. Kim, and N. K. Joo, "Indoor environment monitoring and controlling system design and implementation based on internet of thing," *J. KICS*, vol. 20, no. 2, pp. 367-374, Feb. 2016.
- [2] J. H. Noh and H. H. Tack, "The implementation of the fine dust measuring system based on internet of things," *J. KICS*, vol. 21, no. 4, pp. 829-835, Apr. 2017.
- [3] T. H. Yang, S. D. Kim, C. Y. Kim, H. C. Cho, and S. H. Kim, "Wireless sensor network construction based on wi-fi for internet of things services," *KIISE - Korea Computer Congress 2016*, pp. 513-515, Jeju Island, Korea, Jun. 2016.
- [4] L. Mainetti, L. Patrono, and A. Vilei, "Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey," *SoftCOM 2011 19th Int. Conf. IEEE*, pp. 1-6, Split, Croatia, Sep. 2011.
- [5] V. Palazzi, M. D. Prete, and M. Fantuzzi, "Scavenging for energy: A rectenna design for wireless energy harvesting in UHF mobile telephony bands," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 18, no. 1, pp. 91-99, Jan.-Feb. 2017.
- [6] L. Muller and J. W. Kimball, "High gain DC-DC converter based on the cockcroft-walton multiplier," *IEEE Trans.*

Power Electron., vol. 31, no. 9, pp. 6405-6415, Sep. 2016.

- [7] C. R. Valenta and G. D. Durgin, "Harvesting wireless power: Survey of energy-harvester conversion efficiency in far-field, wireless power transfer systems," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 15, no. 4, pp. 108-120, Jun. 2014.