

태양전지를 전원으로 사용하는 무선센서 노드를 위한 전원관리회로

강성묵*, 박경진*, 김호성*, 박준석**
 중앙대학교*, 국민대학교**

Power Management Circuit for Solar cell Powered Wireless Sensor Nodes

Sungmuk Kang*, Kyungjin Park*, Hoseong Kim*, Junseok Park**
 Chung-Ang University*, Kookmin University**

Abstract - This paper describes a novel power management circuitry for reducing the sleeping mode power dissipation. Based on the proposed power management circuitry, the sensor module can be activated by RF wakeup signal, perform designated process and deactivate itself. There is absolutely no power dissipation at the sleeping mode which takes almost time of the operation. The temperature sensor module using solar cell as energy source has been fabricated and tested. Experimental results show that the sensor module with 3300 uF for storage capacitor can transmits RF temperature data to a receiver at a distance of 20 m every 15 second in a normal indoor light condition and keep the capacitor voltage over 9 V. And the sensor module can operate 100 times with a single charging, that means it is possible for the sensor module to transmit every 5 minute for 8 hours without light or any other power input during the night time.

1. 서 론

최근 들어 무선 센서 네트워크(WSN)에 대한 연구가 활발해지고 있다 [1]. 무선 센서 네트워크는 통신이 가능한 범위 내의 어디에나, 심지어는 구조물 내부까지도 부착하여 사용할 수 있다는 장점이 있다 [2]. 현재 대부분의 무선 센서들은 전원장치로서 배터리를 사용하고 있지만 일정 주기마다 수많은 배터리들을 교체하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 많은 사례에서 무선 센서 장치의 수명이 배터리의 용량에 의해서 결정된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 주변 환경에서 에너지를 수집하여 무선 센서의 전원으로 사용하는 유휴에너지 수집(energy scavenging, energy harvesting) 기술을 통해 자가발전 유비쿼터스 무선 센서 네트워크 기술을 개발하려는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 태양전지를 전원으로 사용하는 자가발전 무선 센서를 위한 고효율의 전원관리회로를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 전원관리회로는 센서에 RF wakeup signal이 들어오면 회로에 전원을 공급하여 주고, 센서가 측정한 data를 전송하면 자동으로 전원을 끊어주어 대기모드에서 전력을 전혀 소비하지 않도록 하여줌으로써 한번 저장된 에너지를 가지고도 센서가 여러 번 동작할 수 있게 하여준다. 또한 RF wakeup signal의 ID를 판별하여 동작을 수행하도록 함으로써 여러 개의 센서노드에서 보내는 데이터가 충돌을 일으키지 않도록 하여준다. 이 회로를 기반으로 태양전지를 전원으로 사용하는 무선 온도센서 모듈을 제작하고 실험하여 배터리 없이 센서를 동작시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 전원관리회로의 동작

본 연구에서 제안하는 전원관리회로를 적용한 온도센서 모듈의 회로도들 그림 1에 도시하였다.

이 회로의 동작 순서는 먼저 off상태인 Q2에 의해서 저장캐패시터 C_s와 regulator 이하 회로의 접지가 분리되어있어서 유휴에

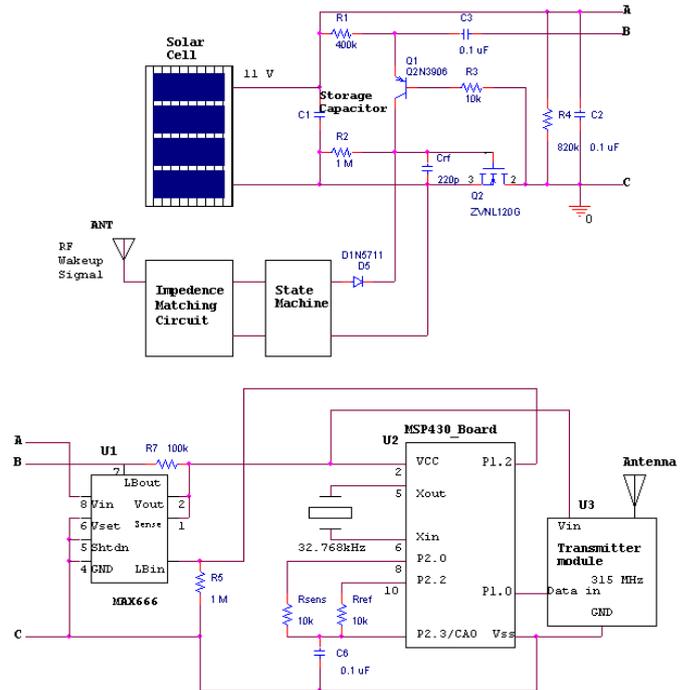


그림 1. 태양전지를 전원으로 사용하는 무선 온도센서를 위한 전원관리 및 데이터 처리 회로

너지를 전압으로 변환하여 저장캐패시터에 충전하게 된다. C_s에 충분한 전압이 충전된 상태에서 자신의 ID를 가진 RF wakeup signal이 들어오게 되면 RFID와 같이 RF를 정류하여 이 전압으로 state-machine이 pulse(1.5V, 100μs 이상)를 출력하게 되어 C_{rr}의 전압이 올라간다. C_{rr}의 전압이 Q2의 threshold 전압보다 커지게 되면 Q2는 on 상태가 되고 R3를 통하여 Q1의 base-current가 흐르면서 Q1도 on 상태가 된다. Q1의 collector로 흐르는 전류로 인하여 C_{rr}의 전압이 올라가게 되어, RF wakeup signal이 들어오지 않아서 state-machine의 출력이 유지되지 않더라도 Q2가 on 상태가 되도록 한다. 이로 인하여 C_s와 regulator 이하 회로의 접지가 연결이 되면서 regulator U1이 마이크로컨트롤러(MCU) U2와 RF-transmitter U3에 5 V의 안정된 전압을 공급하게 된다. 그리고 U1의 LBout 단자도 5 V의 전압을 띄게 된다. MCU가 켜지면 프로그램에 의해서 P1.2 단자를 high 상태가 되게 한다. P1.2를 high로 만들어 주는 이유는 이 단자와 연결된 U1의 LBin 단자가 “low battery”를 결정하는 기준전압인 1.6 V보다 높게 해주기 위한 것이다. 그리고 MCU는 P2.0 단자에 연결되어 있는 NTC thermistor를 이용하여 온도 데이터를 수집, 처리하여 RF-transmitter로 전송하고 온도 데이터가 RF-transmitter로 전달되면 315 MHz의 RF carrier에 ASK 방식으로 실려서 약 20 m 떨어진 receiver로 보내진다. 데이터가

전송된 직후에는 P1.2 단자가 low 상태가 되게 하여 U1의 LBin 단자의 전압을 1.6 V보다 낮아지게 만든다. 그러면 U1은 “low battery” 상태가 되어 LBO 단자를 접지시킨다. 이 전압강하가 C3을 통하여 넘어가서 Q1의 emitter 전압을 떨어뜨려 Q1이 off 상태가 된다. 그러면 C4의 전압이 R2를 통하여 방전되고 Q2의 gate-source 전압이 떨어져서 Q2도 off 상태가 된다. 이로 인하여 C_s와 regulator 이하 회로의 접지가 다시 분리되어 C_s가 방전을 멈추게 된다.

2.2 실험 결과

먼저 본 연구에서 사용한 태양전지는 55 mm × 27 mm의 크기로 사무용 계산기에 들어있는 태양전지 5개를 이어 붙여서 제작하였으며, 실내조명을 이용하는 환경에서 부하가 1 MΩ일 때 11 V의 전압이 나오도록 구성하였다. 이 태양전지를 이용하여 약 1분정도 100 μF의 커패시터에 충전하면 9.5 V까지 충전이 된다. 충전이 된 상태에서 RF wakeup signal이 들어오게 되면 그림 2(a)와 같이 커패시터의 전압이 방전이 되면서 그림 2(b)와 같이 regulator에서 5 V의 출력이 나온다. 그림 3에 회로가 한번 동작할 때 regulator의 출력전압과 센서에서 보낸 온도 데이터를 디지털 신호로 복원한 파형을 나타내었다. Regulator의 출력전압의 끝부분을 보면 출력이 요동치는 부분이 있는데, 이 부분은 RF transmitter가 신호를 내보내기 위해서 비교적 큰 전력을 소모하기 때문에 생긴다. 또한 온도 데이터를 전송한 직후에 전원관리회로를 통해서 저장커패시터와의 연결이 끊어지기 때문에 regulator의 출력전압이 떨어지는 것을 볼 수 있고, 그림 2의 (a)와 같이 커패시터 전압은 유지된다.

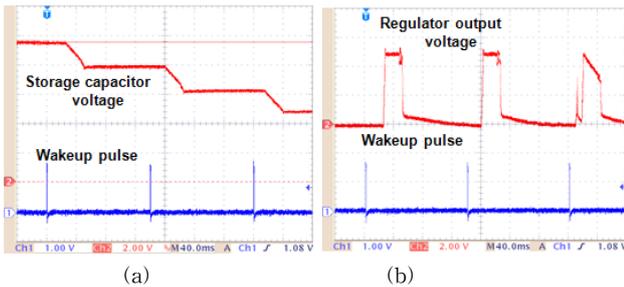


그림 2. 센서모듈의 동작에 따른 저장 커패시터의 전압 (a)과 regulator 출력전압 (b)

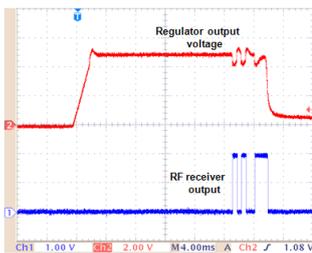


그림 3. regulator의 출력파형 (위 파형)과 RF receiver에서 받은 온도 데이터 (아래 파형)

그림 4에 사무실 환경의 조명을 이용하여 센서를 동작시킬 때 저장 커패시터의 충·방전 파형을 나타내었다. 센서가 한번 동작하여 소모한 전력을 다시 충전하는데 약 13 초가 걸린다는 것을 볼 수 있으며, 이를 통해서 1분에 4번 정도의 온도 데이터를 계속 보낼 수 있다는 것을 알 수 있다.

이 결과를 통하여 데이터를 1분에 4번 이하의 비율로 보내고, 저장 커패시터의 용량을 키우게 되면 실내조명이 켜있는 동안에는 충전되는 양이 소모량 보다 많기 때문에 저장커패시터 전압은 9.5 V 이상으로 유지할 수 있고, 조명이 꺼져서 충전을 할 수 없는 환경에서는 충전되어 있는 전압을 이용하여 센서가 동작 할 수 있음을 알 수 있다. 3300 μF의

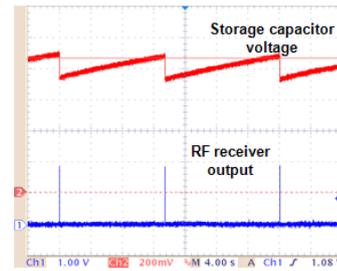


그림 4. 커패시터의 충·방전 파형 (위 파형)과 receiver에서 받은 온도 데이터 (아래 파형)

저장커패시터에 충전된 10.5 V의 전압만을 사용하여 200 ms의 간격으로 100번의 온도를 측정하여 데이터를 전송하는 실험을 하여 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 저장 커패시터의 전압이 오실로스코프의 내부저항을 통하여 방전되는 양을 줄이기 위하여 10 MΩ의 저항으로 분압 하여 측정하였다. 이 결과는 약 8시간 동안 충전하지 않고도 매 5분마다 온도를 측정하여 보낼 수 있다는 것을 의미한다.

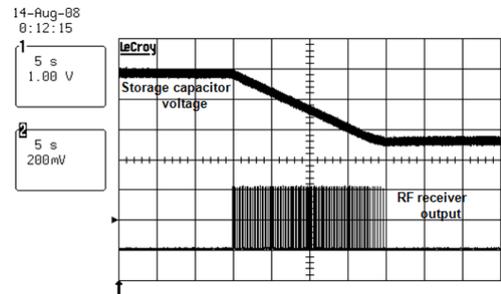


그림 5. 저장 커패시터의 출력파형 (위 파형)과 RF receiver에서 받은 온도 데이터 (아래 파형)

3. 결 론

본 연구에서 설계한 전원관리회로를 적용하여 태양전지를 전원으로 하며, RF 신호로 켜고 동작을 마치면 자동으로 꺼지는 무선 온도센서를 제작하였다. 제작한 센서 모듈로 실험한 결과 3300 μF의 저장커패시터를 사용하여 충전할 경우, 조명이 켜져 있을 때 약 20 m의 거리까지 매 15초마다 온도 데이터를 보낼 수 있고, 더 이상 빛이 들어오지 않더라도 매 5분마다 8시간동안 온도 데이터를 보낼 수 있음을 확인하였다.

이 결과를 통하여 태양전지를 전원으로 사용하면 빛이 없을 때는 사용을 하지 못한다는 한계를 극복하여 반영구적으로 무선 센서를 동작시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 본 연구에서 제안한 전원관리회로를 적용하면 대기전력 소모를 없앨 수 있기 때문에 배터리를 사용하는 무선 센서에 적용하여도 동작 효율을 크게 높일 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

[2008-F-050-02, 자기유지 WBAN/USN용 u-Scavenging 기술개발]

[참 고 문 헌]

- [1] K.H. Yeh, "An energy-efficient routing algorithm for the maximization of system lifetime in wireless sensor networks," master thesis, National Taiwan University, July, 2004.
- [2] K. Klues, "Power management in wireless sensor networks," master thesis, Washington University, September, 2006.