

유비쿼터스센서 네트워크를 위한 압전-저전력 발생기의 최적운전 조건

강성욱*, 박경진, 김호성
 중앙대학교 전자전기공학부

Optimal Operation Condition of Piezoelectric Micropower Generator for Ubiquitous Sensor Network

Sungmuk kang, Kyoungjin Park, Hoseong Kim
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 Piezoelectric effect를 이용하여 인체의 움직임에 의한 진동 에너지를 전기적 에너지로 변환, 저장하고 이를 사용하여 온도 정보를 RF신호로 약 20 m 거리의 수신기로 전송할 수 있는 ubiquitous 네트워크용 센서 모듈을 설계·제작하고, 그 동작을 확인하였다. 또한 가장 빈번하게 신호를 보내기 위한 저장커패시터의 용량과 충전전압의 조합을 수식적으로 유도하였고 이 결과를 실험적으로 확인하였다.

1. 서 론

최근 ubiquitous 무선 센서 네트워크 기술의 발달은 일상생활에 다양한 적용은 물론이고, 환경감시 혹은 군사적 목적으로의 응용까지 그 가능성을 인정받고 있다. 또한 점차 발전하고 있는 저전력 소자의 설계 및 제작기술은 이러한 ubiquitous 무선 센서들의 주기적인 구동에 필요한 에너지수준을 microwatt 정도로 낮추었다.[1] 이를 기반으로 열, 진동, 빛과 같은 유희에너지로부터 에너지를 수집하여 사용하는 자가발전 ubiquitous 무선 센서 네트워크기술 개발의 가능성을 크게 증가시켰다.[2]

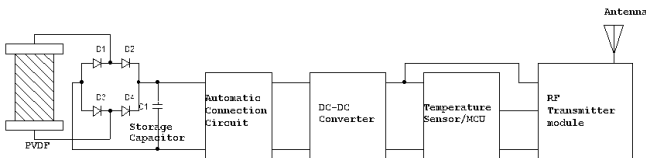
이러한 독립적인 전력공급을 위한 여러 가지 방법 중 하나는 압전소자(piezoelectric transducer)의 진동으로부터 전기적 에너지를 얻는 방식이다. 압전소자는 높은 electromechanical coupling과 미세한 진동으로도 에너지 수집이 가능하다는 장점을 가지고 있기 때문에 MPG(Micropower Generator)의 동력원으로 주목받고 있다.[3]

미세한 진동 에너지를 전기에너지로 변환, 충전하여 센서 모듈을 동작시키기 위해서는 충, 방전에 사용되는 회로와 동작하는 소자들이 최적화 되어야 한다. 또한 ubiquitous 무선 센서의 동작 Duty Cycle이 1% 미만으로 아주 낮기 때문에 이러한 조건에 최적화된 동작조건을 찾아야 한다.

본 논문에서는 ubiquitous 무선 센서의 한 예로 달리는 사람의 진동에너지를 이용하여 체온을 측정하고 RF신호로 전송하는 모듈을 설계, 제작하였다. 이 모듈을 가장 빈번하게 신호를 보내기 위한 저장커패시터의 용량과 충전 전압의 조합에 대해서 연구하였다. 본 연구의 결과를 MPG를 전압원으로 사용하는 다양한 기기에 응용한다면 동작 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2. 본 론

2.1 Sensor-communication module의 구성

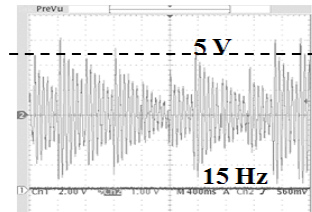


<그림 1> module의 블록선도

그림 1에 달리는 사람의 체온을 측정하여 RF신호를 전송하는 모듈의 구성도를 도시하였다. 이 모듈은 압전소자로서 PVDF(Poly Vinylidene Fluoride) 외팔보를 사용하였으며, 이 압전소자에서 발생하는 전압을 정류하여 커패시터에 저장하는 부분, 전압이 특정한 값 이상 충전이 되면 뒤의 회로와 저장커패시터를 연결하여 주는 Automatic-connection 회로, 커패시터의 방전 전압을 일정한 전압으로 변환하여 주는 DC-DC converter(regulator), 온도센서 및 센서의 신호를 처리하는 마이크로프로세서, 처리된 신호를 RF신호로 전송하는 부분으로 구성되어 있다.

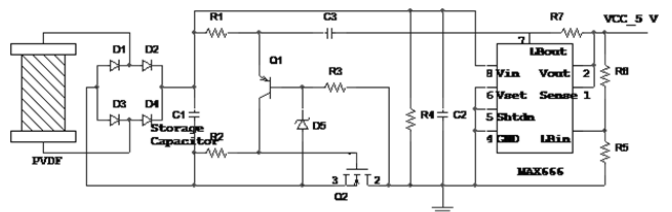
2.2 module의 동작 특성

이 모듈에서 사용한 PVDF 외팔보에 의해 발생하는 전압파형을 내부 저항이 1 MΩ인 오실로스코프로 측정하여 그림 2에 도시하였다. PVDF 외팔보는 약 400 ms마다 충격을 받아 공진주파수가 15 Hz인 감쇠진동을 하는 것을 볼 수 있다.

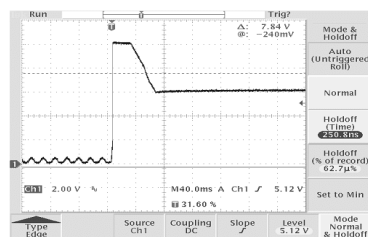


<그림 2> 진동하는 압전소자의 출력전압 측정

그림 3은 Automatic-connection 회로의 회로도이다. 이 회로는 저장 커패시터의 전압이 일정한 값에 도달하게 되면 저장커패시터의 접지와 regulator 이하 회로의 접지를 연결시켜 주고, 커패시터의 전압이 일정 전압 아래로 떨어지게 되면 연결을 끊어주는 역할을 한다. 즉, 저장커패시터의 전압이 zener diode인 D5의 breakdown 전압을 넘게 되면 Q1이 ON이 되면서 R2에 전류가 흐르게 되어 Q2의 gate전압이 올라간다. Q2가 ON이 되면서 저장커패시터의 접지와 regulator 이하 회로의 접지를 연결시켜 주어서 방전을 시작하도록 한다. 그리고 커패시터의 전압이 regulator drop-out전압 아래로 떨어지게 되면 출력전압도 감소하게 되어 LBin 단자의 전압이 내려간다. 이 전압이 일정한 값보다 낮아지게 되면 그것을 감지하여 LBout 단자를 접지와 연결시킨다. 이로 인하여 Q1을 통해 흐르던 전류가 LBout 단자로 빠져나가게 되어 Q2의 gate전압이 떨어진다. 따라서 Q2는 OFF가 되고, 저장커패시터와 regulator 이하 회로의 접지가 분리되어 다시 충전을 시작한다.[4]



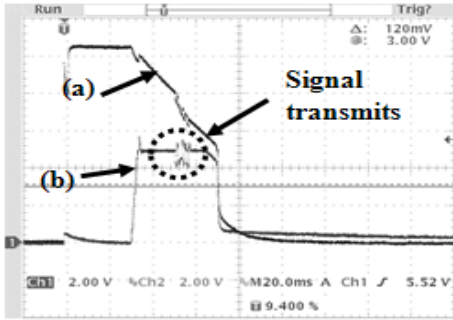
<그림 3> Automatic-connection 회로



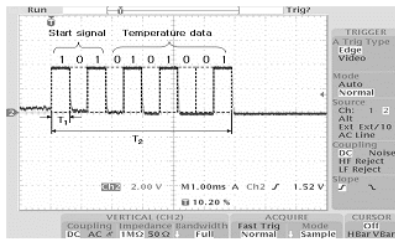
<그림 4> 저장커패시터의 전압파형

이 모듈이 처음 신호를 보내기 위한 충전시간은 약 3분정도이며 첫 신호를 보낸 뒤에는 저장커패시터에는 그림 4에 도시한 파형과 같이 일정한 전압이 충전되어 있는 상태에서 충전을 시작하기 때문에 약 2분 간격으로 신호를 내보낸다. 커패시터의 전압이 방전을 시작하여 regulator의 drop-out 전압 아래로 떨어지게 되면 automatic-connection 회로가 끊어지기 때문에 더 이상 방전을 하지 않게 되는 것을 볼 수 있다.

온도를 측정하여 신호를 보낼 때의 regulator의 입력파형(a)과 출력파형(b)을 그림 5에 도시하였다. 출력파형에서 점선으로 된 동그라미 안의 부분이 RF신호가 전송되는 부분임을 알 수 있다. 이 RF신호는 약 20 m의 거리까지 전송이 가능함을 확인하였고, receiver에서 받은 data를 그림 6에 도시하였다. 신호의 시작을 알리는 부분 3 bit와 화씨 온도데이터 7 bit, 총 10 bit의 data가 잘 전송된 것을 볼 수 있다.



<그림 5> Regulator의 입력파형(a)과 출력파형(b)



<그림 6> 수신된 온도 data

2.3 회로의 Optimization

이 모듈의 동작 조건이 최적화 되어있지 않은 경우 신호를 보내지 못하거나 그림 5와 같이 신호를 보낸 뒤에도 계속 전력을 소모하고 있게 된다. 따라서 이 모듈에 알맞은 회로 구성이 필요하다. 본 연구에서는 저장커패시터의 용량과 충전전압의 최적 조건을 찾기 위하여 수식적인 분석을 수행하였다.

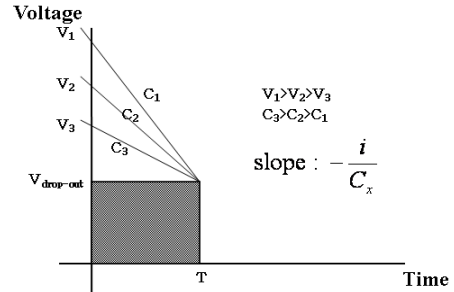
Regulator의 출력전압과 부하가 일정하여 저장커패시터에서 방전하는 전류가 일정하기 때문에 저장커패시터의 전압이 선형적으로 감소함을 그림 5를 통하여 알 수 있다. regulator의 입력 전압이 drop-out 전압 이하로 내려가게 되면 저장커패시터와의 연결이 끊어지게 Automatic-connection 회로가 설계되어 있다. 또한 온도 센서에 전압이 공급되어 RF신호를 전송하기 까지 걸리는 시간동안 regulator의 출력전압이 유지되어야 한다. 따라서 위의 조건들을 만족하는 저장커패시터의 용량과 충전전압의 조합의 관계식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{drop-out} = -\frac{I_c}{C_k}T + V_k \quad (1)$$

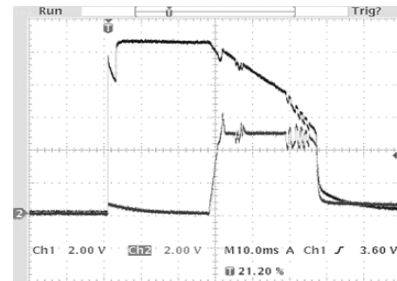
여기서 $V_{drop-out}$ 은 regulator의 drop-out 전압, I_c 는 저장커패시터의 방전전류의 평균 값, T 는 센서가 동작하여 신호를 보내는데 걸리는 시간, 그리고 (C_k, V_k) 는 최적화된 저장커패시터의 용량과 충전전압의 조합이다. 이 (C_k, V_k) 조합에 의한 저장커패시터의 방전파형을 그림 7에 도시하였다. 식 (1)에서 C_k, V_k 의 값은 모두 알 수 있기 때문에 점 $(T, V_{drop-out})$ 을 지나는 직선에 관한 방정식이 된다. 이 식에 본 연구에서 제작한 센서 모듈에 대한 값을 대입하면 최적화된 (C_k, V_k) 조합의 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_k = 5.2 + \frac{5(mA) \times 30(ms)}{C_k} \quad (2)$$

이 식의 해는 그림 7에서와 같이 여러 개가 존재하는데 그 중 하나인 $(31.25 \mu F, 10 V)$ 에 가장 가까운 소자값인 $(33 \mu F, 10.6 V)$ 를 사용하였을 때의 regulator의 입력전압파형 및 출력파형을 그림 8에 도시하였으며, 그림 5에서 신호를 보낸 뒤 약 10 ms동안 더 전력을 소모하는 것과 달리 신호를 보낸 직후에 전력공급을 중단하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 7> 최적화된 (C_k, V_k) 조합



<그림 8> 최적화된 Regulator의 입·출력파형

3. 결 론

본 논문에서는 Piezoelectric effect를 이용하여 인체의 움직임에 의한 진동 에너지를 전기적 에너지로 변환, 저장하고 이를 사용하여 온도 정보를 RF신호로 약 20 m 거리의 수신기로 전송할 수 있는 ubiquitous 네트워킹용 센서 모듈을 설계·제작하여 실험하였다. 실험과 수식적인 분석을 통하여 센서가 가장 효율적으로 동작할 수 있는 저장커패시터의 용량과 충전전압의 조합을 찾는 방법을 제안하였고 센서 모듈의 동작 효율이 좋아지는 것을 확인하였다.

커패시터에 유희에너지를 수집하여 이용하는 MPG(Micropower Generator)분야에서는 본 논문에서 제안한 방법으로 회로를 설계한다면 동작 효율이 크게 향상되어 더욱 다양한 분야에서 MPG가 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Amirtharajah and A. Chandrakasan, "Self-powered signal processing using vibration based power generation," *IEEE J. Solid-State Circuits*, **33**, pp. 687-695, 1998.
- [2] S. Roundy, P. Wright, J. Rabaey, *Energy Scavenging For Wireless Sensor Networks With Special Focus On Vibrations*, Kluwer Academic Publishers, 2004, ISBN 1-4020-7663-0.
- [3] Y C Shu and I C Lien, "Efficiency of energy conversion for a piezoelectric power harvesting system", *J. Micromech. Microeng.*, **16**, 2429-2438, 2006.
- [4] Nathan S. Shenck and Joseph A. Paradiso "Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics" *IEEE Computer Society/ACM joint task force on Computing Curricula 2001*