

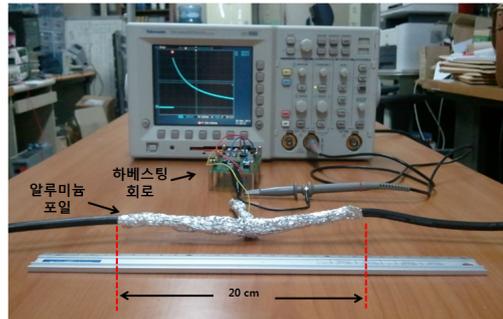
유비쿼터스 무선 센서 네트워크의 전력공급을 위한 표유전계에너지 하베스팅 기술 연구

장근수*, 강성묵, 박경진, 신승환, 김호성**
중앙대*

Stray Electric Field Energy Harvesting for Power Supply of Ubiquitous Sensor Network

Keunsu Chang*, Sungmuk Kang, Kyoungjin Park, Seunghwan Shin, Hoseong Kim**
Chung-Ang University*

Abstract - 본 논문에서는 신개념의 에너지 하베스팅 기술로서 전력선의 표유전계에너지 하베스팅을 제안하였고, 저전력 무선 센서노드에 전력공급이 가능함을 실험적으로 확인하였다. 전류가 흐르지 않는 무부하 상태의 220 V 전력선에 20 cm 길이의 알루미늄 포일을 감아서 하베스팅 할 때, 하베스터 회로의 접지가 220 V 전력선의 접지선에 연결되어 있는 경우, 수집 가능한 평균전류는 900 nA, 연구실 콘크리트 바닥에 접지되어 있을 경우, 700 nA의 평균전류를 얻을 수 있음을 확인하였다. 콘크리트 바닥에 접지되어 있는 하베스터 회로의 경우 220 V 전력선으로부터 접지선을 따로 빼 낼 필요가 없기 때문에 충분히 실용적이며 알루미늄 포일의 길이를 60 cm로 늘리면 약 2분 만에 저전력 무선 센서노드 구동을 위해 필요한 에너지인 약 2 mJ 만큼 하베스팅이 가능하다. 본 기술을 적용하면 유비쿼터스 센서 네트워크의 전력을 공급할 수 있을 것으로 사료된다.



〈그림 1〉 220 V 교류전력선과 알루미늄 포일을 이용한 표유전계에너지 하베스팅 실험 장면

1. 서 론

최근 유비쿼터스 무선 센서네트워크(USN) 분야가 발달하면서 'Smart environments'를 실현하기 위해서 수많은 센서들이 거리, 집, 건물, 자동차 등 곳곳에 설치되고 있다. 수 미터 단위의 통신 거리를 기반으로 하는 스마트홈 시스템부터 수십 미터 단위의 통신거리를 기반으로 하는 구조물 안전 모니터링(Structure Health Monitoring) 시스템까지 수십에서 수백 개의 무선 센서들이 설치되어 정보를 수집하여 송신하고 있다[1]. 이런 무선 센서 노드들의 전력공급을 위해 현재 220 V의 전력선에서 무선 센서 노드 구동에 필요한 수 V의 직류전압을 바로 뽑아내기 위해서는 SMPS와 같은 부가적인 장치들이 필요하다. 그래서 많은 무선 센서노드들은 전원장치로서 배터리를 사용하고 있는데 수많은 무선 센서노드들의 배터리를 일정 주기마다 교체한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 그래서 배터리 없이 태양에너지, 풍력에너지와 같은 환경에너지 하베스팅을 이용하여 자기유지가 가능한 무선 센서노드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 환경에너지는 시간에 따라 수집 가능한 에너지량이 일정하지 않다는 한계점이 있다. 그리고 전력선의 자체에너지 하베스팅을 이용하여 센서노드의 전원으로 사용하기도 하는데 그럴 경우에는 그 전력선에 반드시 전류가 흘러야 한다는 문제점이 있다.

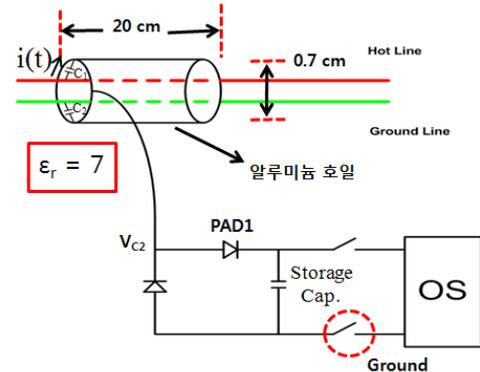
정전계(Electrostatics)의 이론에 따르면 전압이 걸려있는 도체에서는 전계(Electric Field)가 방출되는데, 교류일 경우 시간에 따른 전기장의 변화량이 생기고 맥스웰의 법칙에 의해 $I_d = \epsilon d\phi_E/dt$ 가 성립한다. 여기서 I_d 는 변위전류(Displacement Current), ϵ 는 유전율, ϕ_E 는 전속밀도인데 변위전류에 의해서 커패시터에 전압이 충전되고 에너지가 저장되게 된다. 이 에너지는 교류전력선 주위의 표유(Stray)전계에 의해서 수집될 수 있기 때문에 전계 에너지 하베스팅이라고 불린다 [2]. 전계에너지 하베스팅은 자체 에너지 하베스팅과는 달리 전류가 흐르지 않는 교류 전력선으로부터도 에너지를 수집 할 수 있는 기술이다. R.Moghe 등은 피복 절연되지 않은 나선(Bear Wire)에 금속 전극을 연결하여 전계에너지를 하베스팅 하였지만 본 논문에서는 절연 피복된 교류전력선에 알루미늄 포일을 감는 방법을 이용하여 전계에너지를 하베스팅 하는 방법을 제안하였고, 이를 이용하여 저전력 무선 센서노드의 구동이 가능함을 실험적으로 확인하였다.

2. 본 론

2.1 AC Power Line을 이용한 표유에너지 수집

그림 1은 에너지 수집을 위해서 가정용 220 V 콘센트에 연결

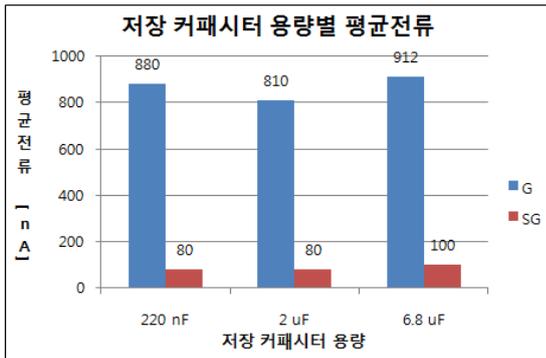
된 전류가 흐르지 않는 무부하 교류전력선에 20 cm 길이의 알루미늄 포일을 감아서 충전회로에 연결시킨 후 오실로스코프로 충전된 전압을 측정하는 실험 장면이다. 이를 등가회로로 표현하면 그림 2와 같다. 교류전력선에 원통형 모양으로 알루미늄 포일을 감게 되면 활선과 포일 사이에(C1), 그리고 포일과 접지선 사이(C2)에 표유용량(Stray Capacitance)이 발생하며 20 cm 길이로 포일을 감았을 경우에는 C1, C2 모두 약 40 pF 으로 측정되었다. 교류 전력선에 전압이 인가되면 C1, C2 커패시터에 전압이 분배되고 C1과 다이오드를 거쳐서 저장 커패시터에 충전되는 전류성분이 존재한다. 이 때 발생하는 전류는 매우 적은 양이기 때문에 충전 효율을 높이기 위해서는 역방향 누설 전류가 매우 적은 다이오드를 사용하였다 [3].



〈그림 2〉 등가 회로도

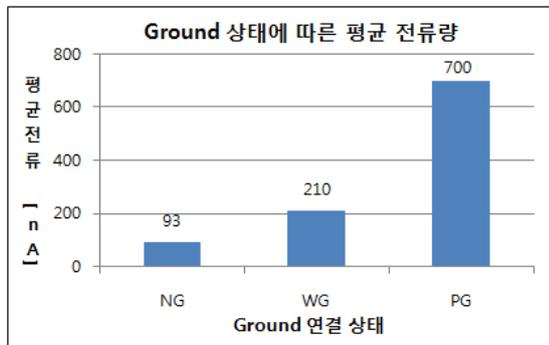
그림 3은 알루미늄 포일의 길이를 20 cm 로 고정시키고 저장 커패시터의 용량을 변화시켰을 때의 실험결과를 나타낸 그래프이다. 에너지를 수집하는 동안 전력선의 접지선과 하베스팅 회로의 접지가 연결되어 있는 경우(Ground, G)는 저장 커패시터의 용량에 상관없이 약 900 nA 내외의 전류를 수집할 수 있었지만, 전력선의 접지선과 하베스팅 회로의 접지가 분리되어 있는 경우(Separate Gound, SG)는 80~100 nA 정도로 훨씬 적은 양의 전류가 수집되었다. 그런데 교류 전력선으로부터 접지선을 따로 빼내어 하베스팅 회로의 접지와 연결해주는 것은 비현실적이기 때문에 다음과 같은 추가적인 실험을 통해 이 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다.

교류 전력선의 접지선은 건물 시공 시에 대지와 접지되어 있



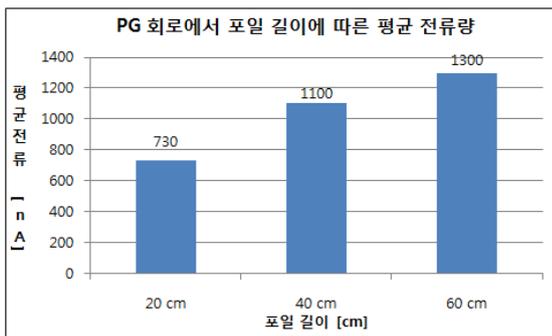
〈그림 3〉 하베스팅 회로의 접지와 교류 전력선의 접지 연결 유무에 따른 평균전류량

다. 따라서 대지와 연구실 장관 밑의 콘크리트바닥이 동일한 대지 접지라고 가정하고 실험을 진행하였다. 하베스팅 회로의 접지에 아무것도 연결되지 않은 경우(No Ground, NG), 일반 전선으로만 연결된 경우(Wire Ground, WG), 일정 면적을 갖는 금속박판(3×4 cm)이 연결된 전선을 사용하여 연결한 경우(Plate Ground, PG)에 대하여 실험을 한 결과는 아래의 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 하베스팅회로의 접지 연결 상태에 따른 평균전류량

NG 상태에서는 수집되는 평균전류는 93 nA, WG 상태에서의 평균전류는 210 nA 였지만, 콘크리트 바닥과의 접촉면적을 넓혀서 접촉저항을 줄이기 위해 금속박판을 사용한 PG 상태의 평균전류는 700 nA 로서 전력선의 접지선과 하베스팅 회로의 접지가 연결된 상태에서 실험한 평균전류 값에 근접하는 결과가 나왔다.

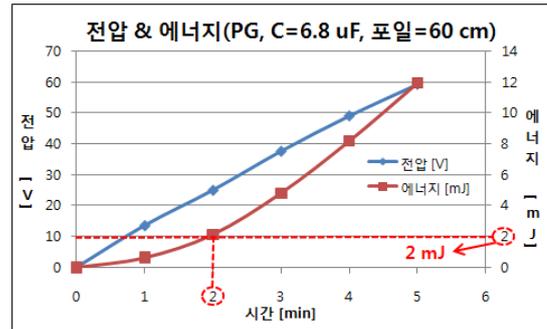


〈그림 5〉 PG 회로에서 포일 길이의 변화에 따른 평균전류량

그림 5는 PG 회로를 이용하여 220 V 전력선에 감긴 포일의 길이를 늘려가면서 실험한 결과인데 포일의 길이가 늘어날수록 수집 가능한 평균전류량이 늘어남을 알 수 있다. 포일의 길이가 60 cm이고 저장 커패시터의 용량이 6.8 uF 일 때의 충전 전압과 에너지의 추이를 그림 6에 나타내었다.

2.2 표유전계에너지 하베스팅을 이용한 무선 정보 전송

본 연구진의 기존연구에 의하면 3300 uF 커패시터에 태양전지를 이용하여 10.5 V 까지 충전시킨 후 빛이 전혀 없는 상태에서 저전력 무선온도센서를 활용하여 20 m 거리에 있는 수신단에 100회의 무선 정보 전송이 가능하였다 [4]. 계산을 통해 1회 무



〈그림 6〉 PG 상태의 하베스팅 회로에서 시간에 따른 충전 전압과 저장된 에너지량

선 정보 전송을 하는데 필요한 에너지가 약 1.8 mJ 임을 알 수 있었다. 그림 6 에 보면 에너지를 수집하기 시작해서 2분 만에 약 2 mJ의 에너지를 모으는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 교류 전력선에 60 cm 길이의 알루미늄 포일을 감아서 모은 에너지를 이용해 약 2분마다 한 번씩 온도측정 정보를 무선으로 전송할 수 있다는 것을 의미한다.

3. 결 론

본 논문에서는 저전력 무선 센서노드의 전원으로 사용 가능한 신개념의 220 V 전력선 표유전계에너지 수집기술을 제안하였다. 이 기술을 이용하면 220 V 전력선으로부터 전선 물체에 감긴 일정 면적의 도체와 저누설 에너지 하베스팅 회로를 통해 에너지를 수집할 수 있다. 220 V 전력선에 알루미늄 포일을 감아서 간단한 방법으로 표유전계에너지를 하베스팅하고 저전력 무선 온도 센서의 전원으로 사용할 경우 매 2분 마다 온도 정보를 무선으로 전송 가능함을 실험적으로 확인하였다. 향후 콘크리트에 접지된 금속박판의 면적을 늘려서 대지 접지와 접촉저항을 줄인다면 하베스팅 가능한 에너지량이 더 늘어날 것으로 기대되며, 유비쿼터스 센서 네트워크 구현을 위한 센서노드의 전력 공급을 위해 표유전계에너지 하베스팅 기술이 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기반형 융합녹색연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0019089).

[참 고 문 헌]

- [1] Cian 'O Mathuna, Terence O'Donnell, Rafael V. Martinez-Catala, James Rohan, Brendan O'Flynn, "Energy scavenging for long-term deployable wireless sensor networks", Talanta 75 (2008) 613 - 623
- [2] Rohit Moghe, Yi Yang, Frank Lambert, Deepak Divan, "A Scoping Study of Electric and Magnetic Field Energy Harvesting for Wireless Sensor Networks in Power System Applications", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 20-24 Sept. 2009
- [3] 김혜중, 강성목, 김호성, "저누설 다이오드를 사용한 저전력 압전발전기의 효율 개선에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, vol. 56, No. 5, May, 2007
- [4] H.S. Kim, S.-M. Kang, K.-J. Park, C.-W. Baek and J.-S. Park, "Power management circuit for wireless ubiquitous sensor nodes powered by scavenged energy", EL, v47n5, pp375-376, 2009