

RF 무선전력전송 기반 높은 동적 특성의 에너지 획득 시스템 설계

정원재*, 정효빈*, 김상규*, 김형석**, 박준석*
 국민대학교*, 중앙대학교**

Design of Wide Dynamic Range Energy Acceptor Based on RF Wireless Power Transmission

Won-Jae Jung*, Hyo-Bin Jung*, Sang-Kyu Kim*, Hyeong-Seok Kim**, Jn-Seok Park*
 Kookmin University*, Chungang University**

Abstract - USN환경에서 다양한 정보를 획득하기 위한 수 십~수 천 개의 배터리 기반 센서노드의 유지, 보수에 많은 시간과 비용이 소요되어 배터리 기반의 센서노드는 USN 산업의 한계점으로 작용한다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 센서노드 배터리 충전용 무선전력획득 모듈을 제안한다. 무선전력전송장치가 전송하는 RF 전력을 전력획득모듈이 효과적으로 획득 및 효율적인 관리를 통해 센서노드가 정보를 센싱하고 전송하는데 소모하는 전력 및 자연 방전되는 배터리 전력을 보충한다. 무선전력획득모듈이 적용된 센서노드를 통해 배터리 전력을 일정하게 유지시켜 배터리 교환 주기를 반영구적으로 연장함으로써 USN의 신뢰성과 적용가능성을 높이고 USN산업의 활성화에 기여할 수 있다. 본 논문은 34dBm의 전력전송장치와 무선전력획득모듈 사이의 거리 5m에서 -2dBm의 전력을 획득하여 센서노드용 70mAh의 리튬폴리머 배터리의 충전을 통해 시스템을 검증하였다.

이다. 시스템의 높은 동적 특성은 정합회로를 통해 구현 할 수 있다. 전력전송주파수는 915MHz를 선택하였고, RF 전력 획득용 안테나는 크기와 이득을 고려하여 크기 20mmX150mm, 2dBi 이득의 안테나를 사용하였다. 입력전력 -10dBm~20dBm에서 반사계수가 -10dB 이하가 되도록 임피던스 정합회로를 구현하였다. 정류회로는 승압기능이 있는 4배 전압 정류회로를 사용하였으며 효율적인 정류를 위해 스위칭이 빠른 쇼트키 다이오드를 사용하였다. 충전회로는 동적모드스위치 구현을 위한 Op-amp를 사용한 비교기와 배터리충전을 위한 전압승압회로를 활용하여 구현하였다. 동적모드스위치는 슈퍼커패시터의 충전전압에 따라 동작하며 33mF의 슈퍼커패시터를 사용하였다.

1. 서 론

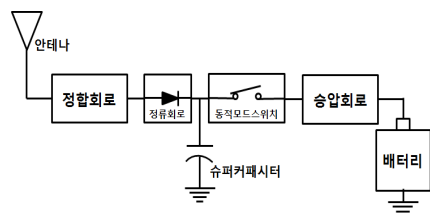
USN기술은 센서를 설치하는데 있어 전선, 에너지 및 재료 절감, 프로세스 개선, 노동절감과 생산성 향상 등의 이익을 준다. 건물 및 교량 등에 센서를 통해 균열 등의 정보를 획득하여 안전관리 기능을 구현할 수 있으며 건물의 에너지 사용량을 감시 및 제어하여 에너지의 효율적인 관리와 빌딩자동화를 구현하는데 사용 될 수 있다[1-2].

USN기술 발전에 따라 무선 센서노드의 적용 분야는 다양하게 확대되고 있다. 정확한 정보를 획득하기 위한 수 십~수 천 개의 센서노드는 배터리 전력을 기반으로 동작한다. 센서노드의 지속적인 동작을 위해 배터리의 잔량을 확인하고 유지, 보수하는 것은 많은 시간과 비용이 소요된다. 이러한 배터리의 유지보수 문제는 USN이 다양한 환경에 적용되는데 한계점으로 작용한다. 이를 해결하기 위한 방안으로 센서노드의 저전력 기술과 센서노드 동작 알고리즘 개선 및 센서노드 배터리의 용량향상 등의 방법이 제안되고 있지만 근본적으로 배터리 유지보수의 문제를 해결하지 못한다[3-6].

본 논문은 배터리 유지보수의 문제를 해결하기 위해 센서노드 배터리 충전용 무선전력획득모듈을 제안한다. 센서모듈이 정보를 센싱하고 센싱한 정보를 전송하는데 소모되는 전력과 자연 방전되는 배터리 전력을 RF 전력 획득모듈을 통해 보충함으로써 배터리의 전력을 일정하게 유지할 수 있으며 센서노드의 배터리 교체주기를 반영구적으로 연장할 수 있다. 무선전력획득 모듈을 적용한 센서노드의 활용은 USN산업의 신뢰성을 확보하며 적용가능한 분야를 확대하여 USN산업의 활성화에 기여할 수 있다.

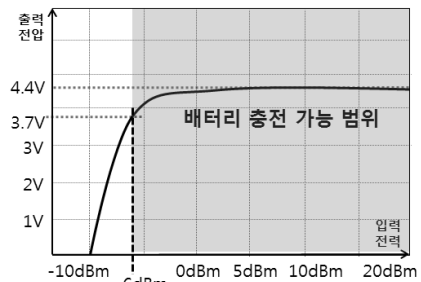
2. 본 론

2.1 무선전력획득 모듈의 시스템 블록도



<그림 1> RF 무선전력전송 기반 에너지 획득 시스템 블록도

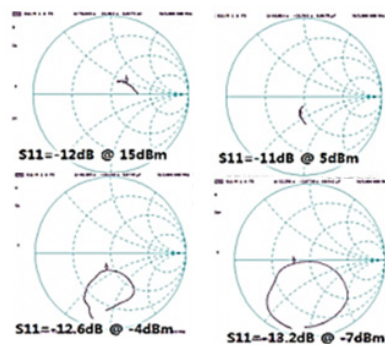
<그림 1>은 전력 획득 안테나, 임피던스 정합회로, 정류회로 및 충전회로로 구성된 RF 전력 획득모듈의 시스템 블록도이다. <그림 2>는 에너지 획득 시스템의 동적 특성 그래프이다. 높은 동적 특성은 일정한 주파수의 다양한 전력 범위에서 배터리 전력을 일정하게 유지시키는 특성



<그림 1> 에너지 획득 시스템의 동적 특성

2.1.1 Wide Dynamic Range 임피던스 정합회로

일반적으로 conjugate 정합은 500ohm에 임피던스를 정합시켜 전력 전달효율을 증가시키는 방법이다. 하지만 conjugate 정합의 경우 입력되는 전력에 따라 정합이 변하기 때문에 Power 정합을 통해 -10dBm~20dBm의 넓은 입력전력범위에서 반사계수가 915MHz에서 -10dB이하가 되도록 매칭회로를 구현하였다. <그림 2>는 입력전력이 15dBm, 5dBm, -4dBm, -7dBm일 때 반사계수를 나타낸 스미스차트이다.

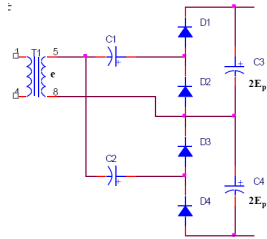


<그림 2> 입력전력별 임피던스 정합 특성

2.1.2 4배 전압 정류회로

<그림 3>은 4배 전압 정류회로의 기본 회로도이다. 공간 손실로 인해 획득 가능한 무선전력은 작기 때문에 배전압 정류회로가 필요하다.

<그림 3>의 4배 전압 정류회로에서 C3와 C4에 각각 2Ep의 전압이 축적되어 최종 출력 전압은 4Ep가 된다. <표 1>은 34dBm의 전력전송장치를 사용했을 때, 안테나 이득을 고려한 프리스 방정식[7]에 따른 공간손실 및 4배전압 정류회로의 출력 전압을 나타낸다. 전력전송장치 안테나의 이득은 7dBi, 전력획득모듈 획득 안테나 이득은 2dBi이다.



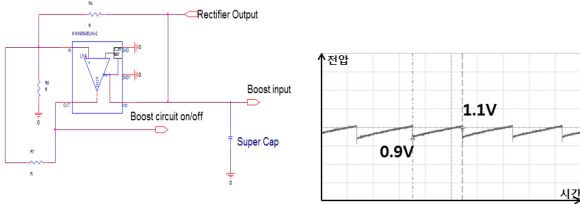
<그림 3> 4배 전압 정류회로

<표 1> 공간손실 및 정류회로 출력전력

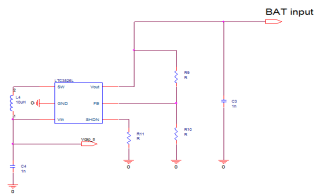
전력전송 [dBm]	거리 [m]	공간손실 [dBm]	획득전력 [dBm]	정류회로출력 [V]
34.7	1	31.67	12	6.5
	2	37.69	6	5.1
	3	41.21	2.5	3.4
	4	43.71	0	2
	5	45.65	-1.8	1.6

2.1.3 충전회로

충전회로는 슈퍼커패시터에 충전된 전압에 따라 Turn On, Turn Off 되는 동적모드 스위치 및 효율적인 배터리 충전을 위한 승압회로로 구성된다. 승압회로 동작을 위한 최소 입력전압은 1V이다. 따라서 슈퍼커패시터의 전압이 1.1V가 되었을 때 Turn On되고, 0.9V가 되었을 때 Turn Off하는 동적모드 스위치를 구현하였다. 동적모드 스위치는 Op-amp를 활용한 비교기 회로로 구현하였다. <그림 4>는 동적모드 스위치회로의 회로도 및 커패시터의 전압 파형, <그림 5>는 승압회로의 회로도이다. 승압회로는 1V이상 입력 시 5.4V까지 승압이 가능하다.



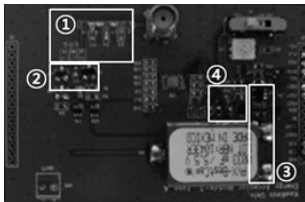
<그림 4> 동적모드 스위치 회로도 및 커패시터 전압파형



<그림 5> 전압 승압회로

2.2 무선전력획득 모듈의 구현

<그림 6>은 설계한 시스템 블록 기반으로 구현한 RF 무선전력전송 기반의 에너지 획득모듈이다. 모듈의 크기는 3mmX3.5mm이다. ①은 Wide Dynamic Range 임피던스 정합회로, ②는 4배 전압 정류회로, ③은 33mF의 슈퍼커패시터를 포함한 동적모드스위치, ④는 승압회로이다.



<그림 6> 구현한 RF 무선 전력 획득모듈

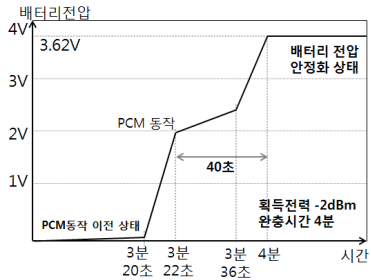
2.3 리튬폴리머 배터리 충전 실험을 통한 검증

34dBm의 RF 전력전송장치와 전력 획득모듈 간 거리 5m에서 획득한 전력으로 완전방전 된 배터리의 충전 실험을 통해 RF 무선전력획득 모듈의 센서노드 적용 가능성을 검증한다.

사용한 리튬폴리머 배터리의 용량은 3.7V, 70mAh이며 배터리 내부의 배터리 과충전/과방전 방지회로(PCM)의 동작 전압은 2V이다. 34dBm의

전력전송장치로부터 5m거리에서 2dBm 이득의 안테나를 사용한 전력 획득모듈의 획득전력은 -2dBm이다.

<그림 7>은 34dBm 전력전송장치로부터 5m떨어진 전력획득모듈의 리튬폴리머 배터리 충전 곡선이다. 배터리 충전 전압은 승압회로 최종 출력 전압으로 5.4V이다. 시험결과 리튬폴리머 배터리 평균 완충 전압은 3.6V이며 배터리 안정화 상태까지 전력충전 소요 시간은 4분이다.



<그림 7> 무선전력획득모듈의 리튬폴리머 배터리 충전 곡선

3. 결 론

본 논문에서는 RF 무선전력전송장치로부터 획득한 전력을 센서노드의 배터리 전력을 일정하게 유지시키는데 사용하기 위한 RF 무선전력 획득모듈을 설계 및 구현하고 실제 센서노드용 리튬폴리머 배터리 충전 실험을 통해 시스템을 검증하였다.

본 논문에서 제안한 RF 전력 획득용 모듈은 34dBm 전력전송장치로부터 5m거리에서 입사된 전력 -2dBm의 전력으로 70mAh의 리튬폴리머 배터리를 충전시킬 수 있다.

센서모듈이 환경정보를 센싱하고 정보를 전송하는데 소모하는 전력과 자연 방전되는 배터리 전력을 RF 무선전력획득모듈을 사용하여 보충함으로써 배터리 전력을 일정하게 유지시켜 센서노드 배터리 교체 주기를 반영구적으로 연장하여 USN산업의 신뢰성과 적용 가능성을 높여 USN 산업 활성화에 기여할 수 있는 방안을 제시하였다. 이는 배터리 교체가 필요 없음을 의미하며 센서노드 간 배터리 방전에 의한 시스템 비 가동 시간을 제거함으로써 USN시스템을 최적화 할 수 있다.

추가적으로 배터리의 잔량정보를 센서노드에 제공하여 보다 효율적으로 배터리 전력을 관리하는 기술 및 다양한 종류의 센서노드 간 소모 전력과 충전이 필요한 전력량에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 다양한 센서노드에 적용을 위해 칩 안테나를 적용한 SIP(System In Package)구현 등의 초소형화 기술에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다(과제번호 10033845). 연구 지원에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.-G. Lee, K.-C. Chen, C.-C. Lai, S.-S. Chiang, H.-S. Liu, and M.-S. Wei, "backup routing with wireless sensor network for bridge monitoring system," Measurement, vol. 40, pp. 55-63, 2007.
- [2] 박강호, 최낙진, 양우석, 이홍열, 이상균, 최창익, 김중대, "스마트 빌딩용 센서 기술 현황 및 전망", ETRI, 전자통신동향분석 Vol.24, No.6, 2009.12
- [3] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, "무선 전력 전송 기술", ETRI, 전자통신동향분석 Vol.23, No.3, pp.59-69, 2008.12.
- [4] 이진호, 최훈, 백윤주, "무선 센서 네트워크 환경에서의 에너지 효율성을 고려한 태스크 스케줄링 기법", 한국통신학회논문지, Vol.31 No.9A, 06-9
- [5] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002), New York, NY, USA, June 2002.
- [6] S. R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash, and S. Venkatesan, "Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile base stations," in Proceedings of IEEE Globecom 2003, vol. 1, pp. 377 - 81, San Francisco, CA, December 1 - 2003.
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Friis_transmission_equation