저전력 센서를 위한 무선 전력 수신 모듈 소형화 설계

이용완*, 최태민*,**, 이석재*, 임종식*, 안 달*, †한상민*
순천향대학교*, AAC 테크놀로지스**

Compact Design of the Wireless Power Receiving Module for Low-Power Sensor Applications

Yongwan Lee*, Taemin Choi**, Seok-Jae Lee*, Jongsik Lim*, Dal Ahn*, †Sang-Min Han*
Soonchunhyang University*, AAC Technologies**

Abstract - 본 논문은 저전력 센서를 위한 무선 전력 수신 시스템을 설계하여 Wake-up 회로에 응용함으로써, 유효 신호의 입사 시에만 동작되는 수신기 시스템을 제안하였다. 제안 된 시스템은 기존 여파기를 DGS(Defected Ground Structure) 형태로 설계하여 소형화에 기여하였으며 여파기는 다이오드에 의해 생성되는 고조파 신호의 제거와 DC 통과의 역할을 수행하게 된다. 설계된 Rectenna의 변환 전력을 이용하여 수신기 시스템 스위치의 온, 오프를 조절함으로써 저전력 센서 수신 시스템의 동작 여부를 평가하였다. 제안된 시스템은 신호 수신 여부에 따른 저 잡음 증폭기와 데이터 복조의 동작 여부로 성능이 평가되었으며 우수한 동작 성능을 나타내었다.

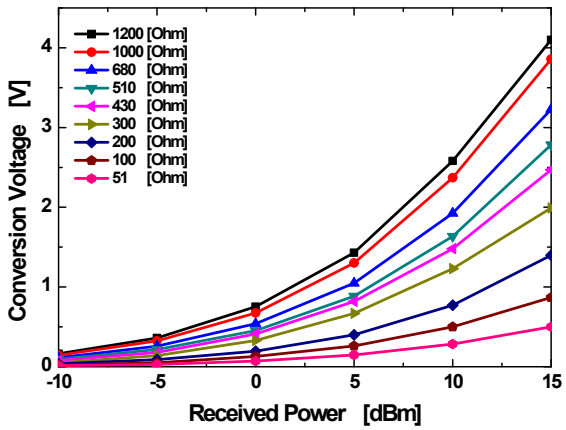
1. 서 론

최근 대두되고 있는 사물인터넷은 이동통신 기술의 발전과 함께 급속한 성장세를 보이고 있다. 사물인터넷은 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)을 기반으로 하고 있는데, 사람을 중심으로 하던 정보 운용 형태를 확장하여 사람 대 사물, 사물 대 사물 간의 정보 공유가 가능하도록 구성된 네트워크이다[1-2]. 사물 대 사물 간의 정보 공유까지 확장된 무선 센서 네트워크는 저전력이며 소규모로 네트워크가 구성 되어야 한다. 네트워크 구성을 위해 사물에 부착되는 센서는 사물에 비해 상대적으로 크기가 작아야 하며, 저전력으로 운용되어야 한다. 이에 맞춰 센서의 소형화와 함께 센서의 전원을 제거하고, 이동 중인 센서에 전기에너지를 전달하는 것에 대한 관심이 증대 되고 있다.
이에 입각하여 센서 네트워크에 사용되는 부착형 센서는 소형화와 저전력이라는 목표를 갖게 된다. 소형화를 위해서는 기존의 집중소자를 이용한 구조에서 DGS(Defected Ground Structure)를 이용한 소형화 기술이 요구된다. 또한, 저전력 운용을 위해 센서의 전원부를 제거하고 원격으로 전기에너지를 전달하는 무선전력전송 기술을 접목하여야 한다. 무선전력전송은 수 Km 이상의 원거리에 전력을 전송하는 마이크로웨이브 방식과 수m이내의 근거리 전송 또는 접속에 의해 코일 간 자기 유도, 공명 현상을 이용하는 자기 유도 방식으로 나누어 질 수 있다. 그 중 마이크로웨이브 방식은 대용량의 우주 공간 발전 전원을 지상으로 전송하는 프로그램을 추진하면서 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 중·근거리에서 모바일 단말과 W-BAN(Wireless Body Area Network)응용을 위하여 다양한 성능이 요구되고 있다[3-4].
본 논문에서는 저전력 센서의 전원 기술로써 Rectenna 시스템을 이용하였으며 시스템의 소형화를 위해 여파기들을 DGS 형태로 설계하였다. 또한, 제안된 Rectenna 시스템을 저전력 수신기 시스템에 적용하여 Wake-up 기능을 갖는 수신기 시스템을 구현하였다.

2. 본 론

2.1 Rectenna 시스템

본 논문은 저전력 무선 전력 전송을 위해 2.4 Ghz의 마이크로파를 수신하여 직류전력으로 변환하는 평면형 구조의 Rectenna 시스템을 구현하였다. Rectenna는 정류기(Rectifier)와 안테나(Antenna)의 합성어로 수신부에서 송신된 RF 신호를 DC 전원으로 변환하는 장치이다. 제안된 Rectenna 시스템은 수신 안테나, 대역 노치 여파기, 정합 회로, Schottky 다이오드. DC 통과 여파기. 부하저항으로 구성된다. Rectenna 시스템은 수신 안테나를 통해 전력을 수신 받게 되고, Schottky 다이오드의 정류 과정을 거쳐 DC 전력을 공급하게 된다.
본 논문에 사용된 여파기는 특정 주파수 대역의 마이크로파 신호를 제거하고, 소형화하기 위하여 DGS 형태로 변형하였다. 여파기는 Rectenna의 성능에 큰 영향을 미치게 되므로 해당 주파수 대역별 우수한 성능을 갖는 여파기가 설계되어야 한다. 제안된 논문에 사용된 대역 노치 여파기는 다이오드 정류 과정에 의해 생성된 DC(0 Hz), 수신 주파수, 고조파 주파수 중, 수신 주파수 성분만을 통과시키고, 고조파 주파수를 차단함으로써 안테나로 재 방사되는 것을 저지하는데 사용된다. 또한, DC 통과 여파기는 저역통과 여파기로써 부하에 DC 성분만을 전달할 수 있도록 DC 성분 이외의 수신 주파수와 고조파 주파수 성분을 차단하게 된다.
대역 노치 여파기는 수신 주파수인 2.4 GHz를 통과대역으로 하고, 고조파 주파수를 저지할 수 있도록 대역 저지 여파기를 2단으로 연결하여 설계 하였다. 여파기의 성능은 수신 주파수인 2.4 Ghz -0.6 dB의 삽입손실을 갖고, 저지 대역인 고조파 신호 4.8 GHz와 7.2 GHz에서 각각 -38 dB, -32 dB의 저지 특성을 나타내었다. 또한, 다이오드 후단에 연결하게 되는 여파기인 DC 통과 여파기는 DC 성분만 통과대역으로 하고, 수신주파수와 고조파 신호를 저지할 수 있도록 저역 통과 여파기로 설계하였다. 여파기의 성능은 통과대역인 DC 부근에서 0 dB의 삽입손실을 갖고, 저지대역인 2.4 GHz와 고조파 신호인 4.8 GHz, 7.2 GHz에서 각각 -42 dB, -26 dB의 저지특성을 나타내었다.
제안된 논문에서는 효과적인 전력 전달과 비선형 다이오드의 정합을 위해 2단의 Schottky 다이오드를 사용하였으며 정합을 위해 2.4 GHz 대역에서 L-section 정합회로를 삽입하였다. 설계된 여파기와 Schottky 다이오드의 정합은 2.4 GHz 대역의 마이크로파 입력 전력이 다이오드로 충분히 전달되게 하며 여파기에 성능을 결정짓게 되므로 효과적인 정합이 이루어지는 것이 전력 변환에 영향을 미치게 된다.



<그림 1> 입력 전력에 따른 변환 전압

2.2 Rectenna 시스템의 성능 평가

앞에서 설계된 회로에 의해 에너지 변환 수신 시스템을 구현하였다. 기판은 유전율이 2.2이고, 두께는 5 Mil인 RT/Duroid 5880 기판을 사용하였으며 Schottky 다이오드는 Avago Technologies사의 HSMS-2850을 사용하였다. 제작된 무선 전력 수신 시스템의 성능 측정을 위해 외부의 전파 신호에 의한 영향을 배제할 수 있도록 전자파 흡수체로 둘러싸인 무반향실 환경에서 실험을 진행하였다. 송신부에서는 2.4 GHz의 구면파를 사용하였으며 충분한 전송 전력을 확보하기 위해 34 dB의 이득과 35 dBm의 P_{1dB}를 갖는 고출력 전력증폭기를 사용하였으며 안테나의 출력 전력은 신호 발생기 출력을 조절하였다. 수신 단에서는 안테나의 수신된 전력을 확인하기 위하여 10 dB의 방향성 결합기를 이용하여 파워 미터를 통해 실시간으로 확인하였다. 송·수신 안테나간의 거리는 원거리계 조건을 만족하는 0.13 m 이상으로 설정하여 측정하였다. 측정된 결과는 아래 그림 1에 나타내었다.
그림 1은 Rectenna 시스템 변환 전압을 다양한 부하저항 값과 입력 전력에 대하여 측정한 결과이다. 측정된 결과는 부하저항 1.2 kΩ에서 최대값을 나타내었으며 약 4.1 V의 변환 전압을 얻을 수 있었다. 또한,

Wake-up 수신기 모듈을 테스트 하기 위하여 부하저항 1 MΩ일 경우의 변환 전압을 측정하여 표 1에 나타내었다.

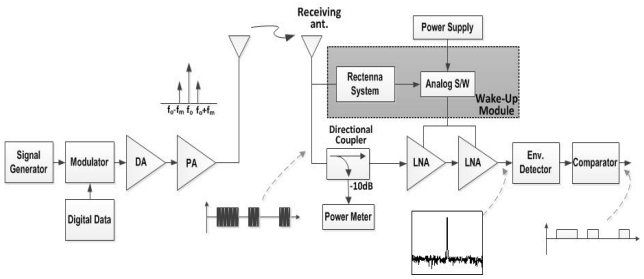
<표 1> 부하저항 1 MΩ일 때의 변환전압

Received power	V_{out} @ R_L = 1 MΩ
-10 dBm	0.55 V
-5 dBm	1.06 V
0 dBm	1.95 V
5 dBm	3.51 V

2.3 Rectenna 시스템을 이용한 저전력 수신기 Wake-up 시스템

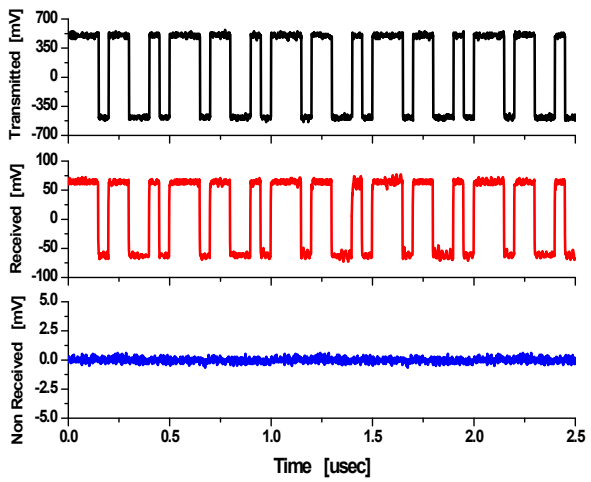
설계된 Rectenna 시스템을 이용하여 근거리 저 전력 센서 응용을 위한 Wake-up 수신기 시스템을 설계하였다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 각각의 송·수신기는 임의의 디지털 데이터 신호를 전송할 수 있도록 설계가 되었다. 송신되는 임의의 디지털 데이터는 20 Mbps로 설정하였으며 2.4GHz 캐리어 주파수를 통해 OOK변조된 신호로 전송되게 된다. 수신기는 Wake-up 모듈과 데이터를 복조 할 수 있도록 포락선 검파기와 비교기로 구성하였다.

Wake-up 모듈은 안테나로부터 수신된 RF신호가 Rectenna 시스템에 의해 DC 전원으로 변환되고, 변환된 전력을 이용하여 수신기의 스위치의 동작 여부를 결정하게 된다. Rectenna 시스템을 통해 얻은 전력은 LNA에 공급되는 전원을 제어하는 역할을 하게 된다. 사용된 아날로그 스위치는 Fairchild사의 FSA-1156을 사용하였으며 Rectenna 시스템에 의해 인가된 전압이 0.4 V이상일 경우 동작하도록 설계하였다. 또한, 수신기에 사용된 LNA는 Avago Technologies사의 MGA-85563을 사용하였다. Rectenna 시스템에서 충분한 전력을 확보하기 위하여 부하저항을 1 MΩ으로 하여 측정하였으며 표 1에 나타낸 변환전압을 이용하여 실험을 진행하였다. 수신된 전력에 따라 LNA의 동작여부로 수신기에 Wake-up 특성과 임의의 디지털 데이터의 복조 여부를 확인하였다.



<그림 2> Wake-up 테스트 셋업

그림 3은 송신된 데이터 신호, 복원된 데이터 신호, Wake-up 모듈이 동작하지 않을 경우의 디지털 데이터값을 나타내었다. Rectenna 시스템에 의해 인가된 전압이 0.4V 이상일 경우 Wake-up 모듈이 동작하게 된다. 즉, 수신된 전력이 -10 dBm 이상일 경우 수신기 시스템이 우수한 성능으로 동작되며 임의의 디지털 데이터를 복조하는 것을 확인 할 수 있다.



<그림 3> 임의의 디지털 데이터 전송 성능

3. 결 론

본 논문에서는 저전력 센서를 위한 Rectenna 시스템을 제안하였다. 소형화를 위하여 모든 여파기의 구조를 DGS를 이용하여 설계하였으며, Rectenna 시스템의 변환 전력을 이용하여 저전력 Wake-up 수신기 시스템을 설계하였다. Rectenna 시스템은 부하저항 1.2 kΩ에서 4.1 V의 최대 변환 전압을 나타내었다. 또한, Wake-up 수신기 시스템은 부하저항이 1 MΩ일 경우로 측정을 하였으며 수신된 전력이 -10 dBm 이상일 경우 정상 동작하는 것을 확인하였다. 디지털 데이터는 Wake-up 수신기 시스템이 정상 동작 할 경우에만 정상적으로 복원되는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 김배억, "사물지능통신 정책추진 방향", 사물지능통신, vol. 134, pp. 34-41, 2011.

[2] 홍용근, 김형준, "사물지능통신 기술 및 표준화 동향", 한국정보과학회, vol. 29, no. 3, pp. 20-26, 2011.

[3] S.-M. Han, Y. Lee, T. Choi, S.-J. Lee, J.-W. Baik, J. Lim, and D. Ahn, "Compact wake-up module design based on an energy-harvesting rectenna for wireless sensor receivers," *Int. J. Antenna Propag.*, vol. 2015, Article ID 976875, 2015.

[4] S.-M. Han, J. Park, and T. Itoh, "A self-biased receiver system using the active integrated antenna," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E89-B, no. 2, pp. 570-575, 2006.