

Efficient DC Power Management Scheme using 60-GHz Rectenna

林 成 俊[†]
(Sungjoon Lim)

Abstract - In this paper, a DC power management scheme is proposed for efficient battery operation of 60-GHz receivers. It consists of a rectenna and a zero-cross detector. The harmonic rejection capability of a circular sector antenna is used to simplify the rectenna. The zero-cross detector is introduced to increase sensitivity. When the received power density is larger than 0.013 mW/cm^2 , it can generate enough DC power to activate an RF receiver. Experimental data is used to verify the proposed idea.

Key Words : Power management, rectenna, 60-GHz, circular sector antenna

1. 서 론

오늘날 급격히 팽창하는 휴대용 전자 제품의 소비 시장과 더불어, 배터리를 이용한 전자제품의 사용시간을 늘이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 배터리의 사용시간을 늘이기 위한 재료 공학적 접근에서, 저전력 모드에서 동작하는 회로 설계 방법 등, 다양한 각도에서 연구 중에 있다 [2], [3]. 최근에는 리튬-이온 배터리가 일반적으로 사용되고 있으며, 더욱 효율적인 배터리를 구현하기 위한 다른 물질을 찾고 있다. 한편, 집적회로에서는 drop-out 전압을 낮춤으로써 소비전력을 줄이는 노력을 하고 있다. 반면, 현재의 배터리 및 회로 기술력 내에서 시스템 차원에서 접근하는 DC 전력 관리 체계에 대한 연구도 활발히 진행 중에 있다.

본 논문에서는 60-GHz 대역 RF 수신기의 DC 전력을 렉테나(rectenna)를 이용하여 관리하는 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 외부에서 RF 신호가 수신될 경우에만, RF 수신기가 DC 전력을 소비하기 때문에, RF 수신기의 DC 전력을 효율적으로 관리할 수 있다. 본 구조에서 사용된 렉테나라는 용어는 정류기(rectifier)와 안테나(antenna)의 합성어로서 두 소자를 결합하여, 수신된 RF 신호를 DC 신호로 전환하는 역할을 한다. 5.8-GHz 대역에서 렉테나를 이용한 DC 전력 관리 체계가 저자에 의해 제안되었으며 [4], 본 논문에서는 이를 60-GHz 대역으로 확장하고자 한다. 60-GHz 대역에서는 고주파 특성과 60-GHz 고유의 공기 흡수성에 의해 수신된 신호가 약하기 때문에, 5.8-GHz 대역에 비해 민감도를 향상시키는 방법이 고안되어야 한다. 이에 본 논문에서는 영점 교차 검파기(zero-cross detector)를 사용하여 민감도를 높이고자 한다.

2. DC 전력 관리 체계의 구성

2.1 DC 전력 관리 체계의 동작 원리

제안된 DC 전력 관리 체계의 구조는 그림 1과 같다. 본 구조는 렉테나와 영점 교차 검파기로 이루어져 있다. 렉테나는 수신된 RF 신호를 DC 신호로 변환시킨다. 영점 교차 검파기는 RF 수신기와 DC 전력을 공급하는 배터리를 연결하고 있으며, 렉테나에 의해 변환된 DC 신호에 의해 동작된다. 즉, 외부에서 RF 신호가 수신될 경우에 렉테나를 통해 변환된 DC 신호가 영점 교차 검파기를 작동시켜 RF 수신기는 DC 전력을 소비하게 된다. 반면, 외부에서 RF 신호가 수신되지 않거나, 검파하기에는 약한 신호가 올 경우에는 RF 수신기는 배터리와 분리되어 DC 전력을 소비하지 않게 된다.

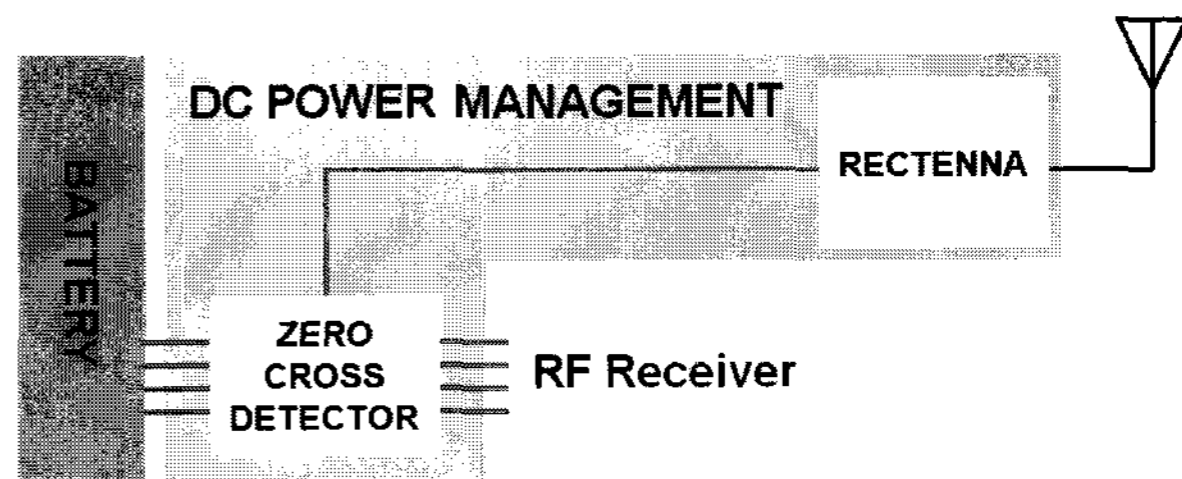


그림 1 DC 전력 관리 체계 구조
Fig. 1 Proposed DC power management scheme

2.2 렉테나 설계

앞서 언급한 바와 같이 제안된 구조는 크게 렉테나와 영점 교차 검파기로 이루어져 있다. 이 중, 렉테나는 일반적으로 안테나, 대역통과필터(BPF), 정류기, 저역통과필터(LPF)

[†] 교신저자, 正會員 : 中央大學校 電子電氣工學部 專任講師
E-mail : sungjoon@cau.ac.kr
接受日字 : 2008年 3月 27日
最終完了 : 2008年 5月 20日

로 구현할 수 있으며, 안테나에 수신된 RF 신호는 BPF를 통과한 후 정류기에 의해 DC로 변환된다. 변환된 DC는 다시 LPF를 통과하게 된다[5]. 하지만, 본 구조에서는 그림 2와 같이 부채형(circular sector) 안테나를 사용하여 회로를 단순화하고자 한다. 부채형 안테나는 2차 및 3차 고조파를 억제하는 특성을 가지므로 기존 렉테나의 BPF를 제거할 수 있다[6]. 설계된 부채형 안테나의 고조파 억제 특성은 그림 3의 시뮬레이션 결과에서 확인 될 수 있다. 한편, 영점 교차 검파기는 일반적으로 입력 전압에 의해 동작이 결정되므로, 2개의 다이오드를 그림 2와 같이 연결함으로써 DC 전압을 2배로 증가할 수 있다.

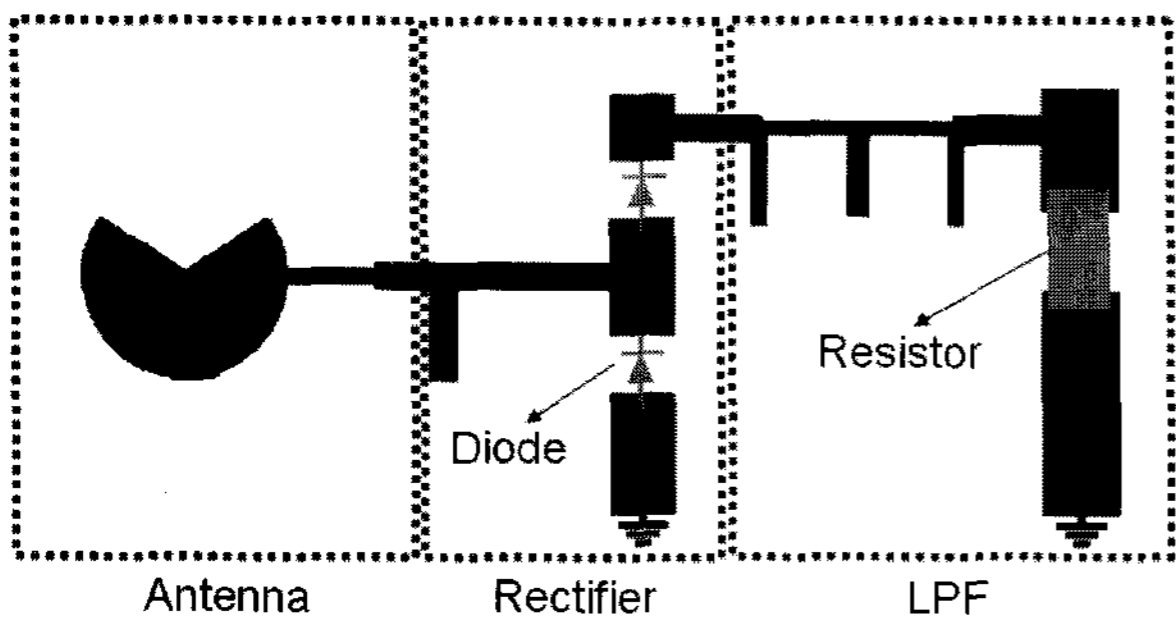


그림 2 부채형 안테나를 사용한 렉테나의 도면
Fig. 2 Layout of rectenna using a circular sector antenna

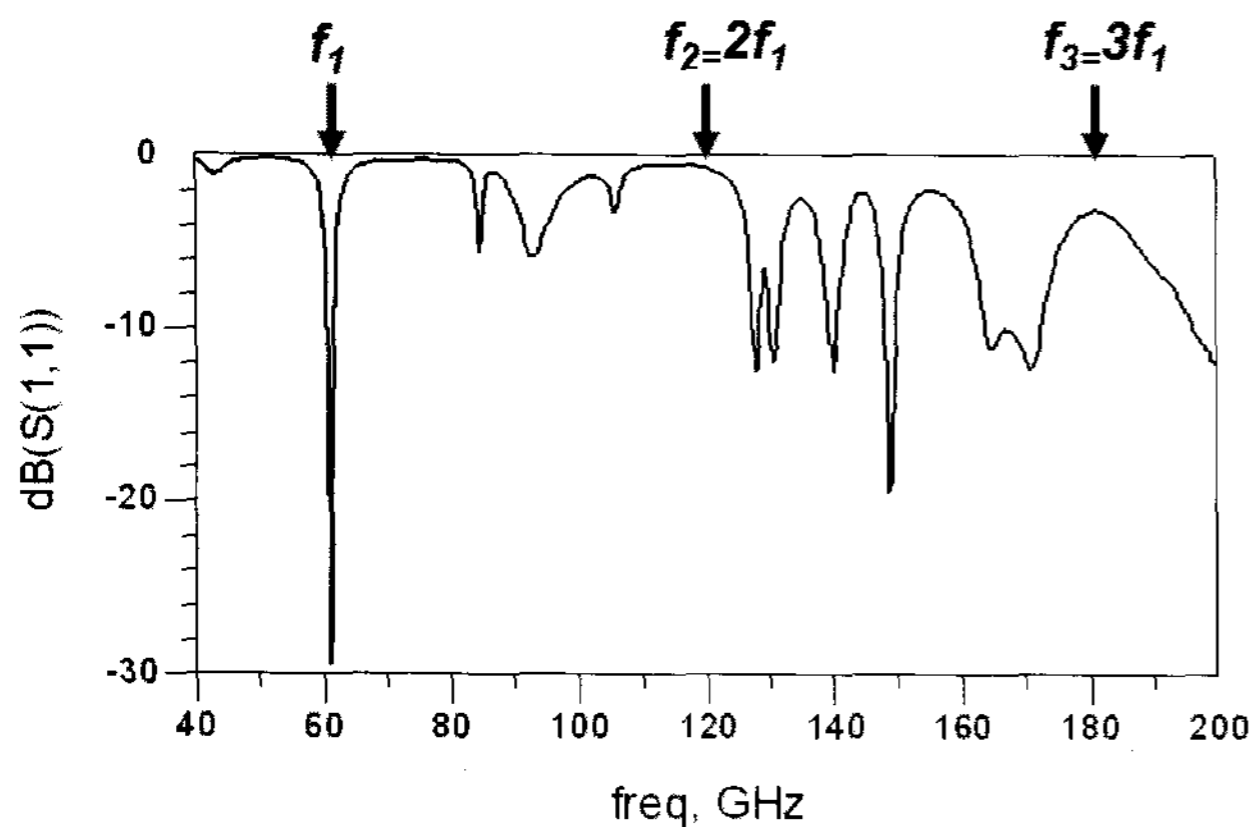


그림 3 2차 및 3차 고조파 억제 특성을 나타내는 부채형 안테나의 반사 손실 특성
Fig. 3 Simulated return loss of a circular sector antenna. It shows the 2nd and 3rd harmonic rejection capability.

2.3 영점 교차 검파기

제안된 DC 전력 관리 체계는 60-GHz 대역의 RF 수신기에 응용하고자 한다. 주파수가 높아짐에 따라 RF 신호의 전송 손실은 증가하게 된다. 특히, 60-GHz 대역은 고유의 감쇠 특성이 있기 때문에, 공기 중에서의 손실이 더욱 크다. 따라서 본 구조에서는 수신된 RF 신호의 감쇄를 고려하여 민감도를 향상시키기 위한 영점 교차 검파기를 사용하고자 한다. 영점 교차 검파기는 그림 1에서 보는 바와 같이 RF

수신기의 바이어스 회로와 배터리 사이에 위치한다. 일반적으로 영점 교차 검파기는 그림 4에 도시된 것처럼 기준 전압을 0 V로 한 비교기(comparator)의 일종이다. 즉, 입력 전압이 기준 전압인 0 V보다 클 경우에 스위치를 동작시켜 RF 수신기와 배터리를 연결하는 역할을 한다. 제안된 DC 전력 체계의 민감도는 영점 교차 검파기의 민감도에 크게 좌우되며, 가능한 낮은 입력 전압에 반응하게 함으로써 민감도를 높일 수 있다.

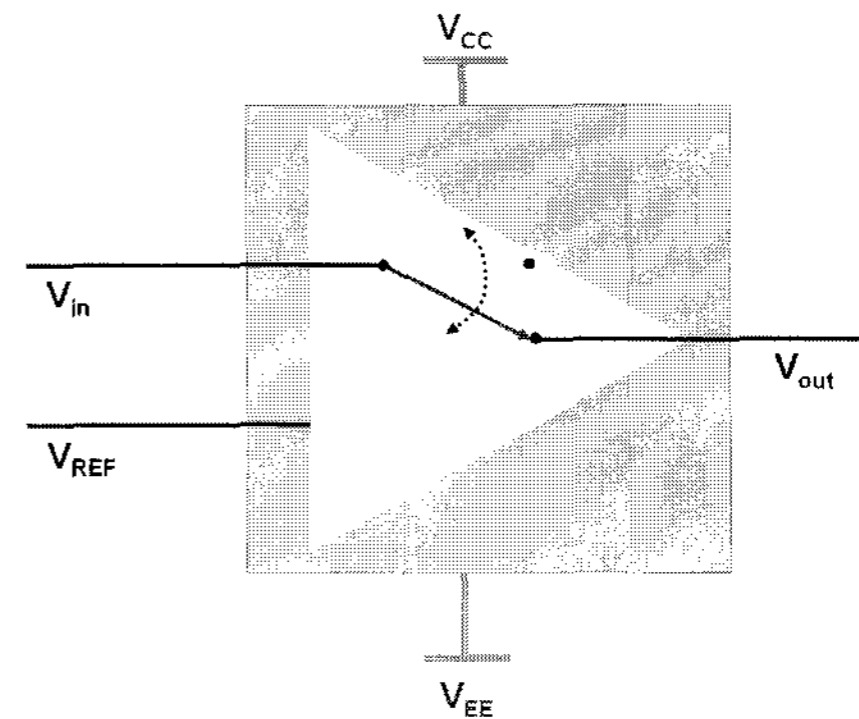


그림 4 영점 교차 검파기의 구성도
Fig. 4 Schematic of zero-cross detector

3. DC 전력 관리 체계의 제작 및 측정 결과

제안된 DC 전력 관리 체계는 두 개의 다른 기판 상에 구현되었다. 렉테나는 RF 신호의 손실을 최소화하기 위하여 알루미늄 기판 ($\epsilon_r = 9.8$, 두께 = 0.127mm)에서 제작되었으며, DC 신호가 흐르는 영점 교차 검파기는 Duroid 기판($\epsilon_r = 10.2$, 두께 = 0.254 mm)에서 제작되었다. 렉테나를 제작하기에 앞서, 안테나의 동작 주파수를 확인하기 위하여 반사 손실을 측정하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이, 제작된 부채형 안테나는 공진 주파수 60.1-GHz에서 -28.83-dB의 반사손실(S_{11})을 보인다.

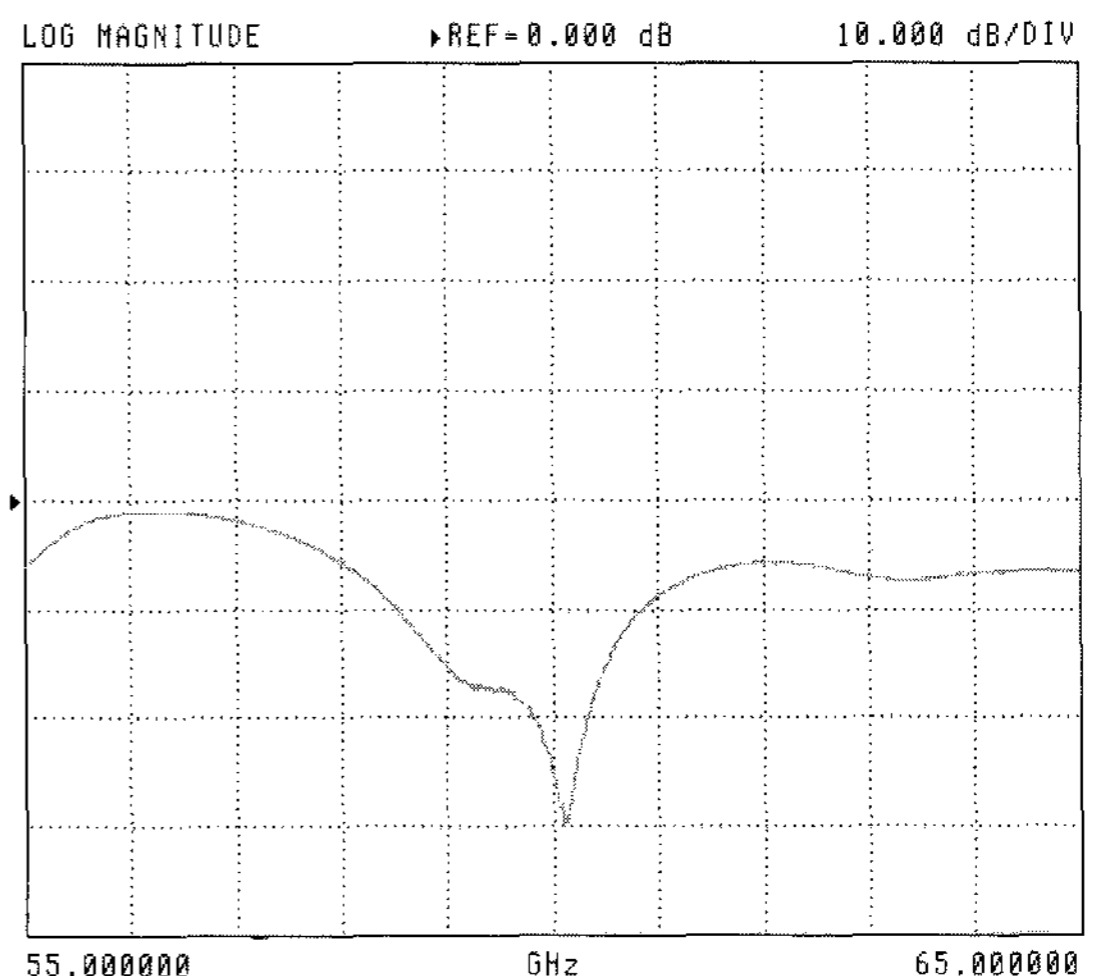


그림 5 부채형 안테나의 반사 손실(S11) 측정 결과
Fig. 5 Measured return loss of a circular sector antenna

한편, 렉테나의 검파 다이오드는 밀리미터파 대역용 Agilent HSC9-9161을 사용하였다. 영점 교차 검파기의 입력 전압으로 공급될 렉테나의 출력 전압을 높이기 위하여 높은 부하 저항을 사용함이 바람직하나, 영점 교차 검파기를 동작시키기 위한 최소한의 전력 역시 고려하여야 하므로, 10 MΩ의 칩저항이 부하에 사용되었다. 영점 교차 검파기는 외부에 신호가 없을 시 소비 전력을 최소화하기 위하여, Maxim 비교기 (MAX-9117)를 사용하였다. 사용된 비교기는 동작하지 않을 때, 600 nA의 작은 전류가 흐른다. 기준 전압(V_{REF})은 이상적으로는 0 V이어야 하지만, 실제 구현 시에는 접지 판이 불안정하므로 적절한 값으로 조정해주어야 한다. 제작된 기판에서는 -0.021 V의 기준 전압을 가하였다. RF 수신기가 5 V 환경에서 동작한다고 가정하였기 때문에 그림 4에서 V_{CC} = 5 V의 전압을 가하였고, V_{EE} = -0.58 V를 가하였다.

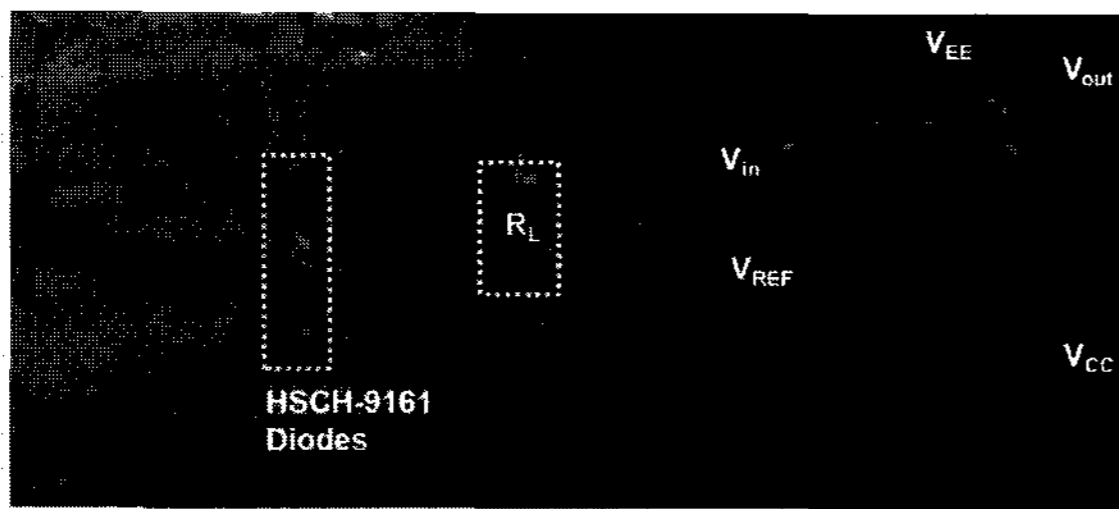


그림 6 제작된 DC 전력 관리 체계
Fig. 6 Prototype of DC power management scheme

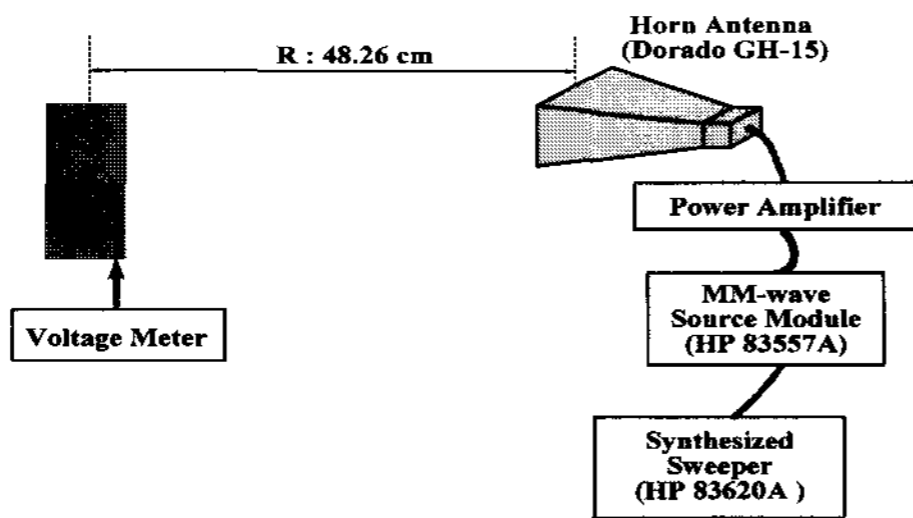


그림 7 DC 전력 관리 체계의 성능을 측정하기 위한 실험 배치도
Fig. 7 Test setup to measure performance of DC power management scheme

최종적으로 DC 전력 관리 체계의 성능을 측정하기 위하여, 렉테나와 영점 교차 검파기를 그림 6과 같이 결합하여 외부 RF 신호 강도에 따라 영점 교차 검파기의 출력 전압을 측정하였다. 측정을 위한 실험 배치도는 그림 7에 도시하였다. 제작된 회로로부터 48.26 cm 떨어진 위치에서 20-dBi의 이득을 가진 혼 안테나를 통해 60.1-GHz의 RF 신호를 송신하였을 경우에, DC 전력 관리 체계의 출력 전압(V_{out})을 측정하였다. 이 때, 송신 RF 전력 값을 달리하면서 V_{out}의 변화를 관찰하였다. 그림 7의 측정 결과에서 나타난 바와 같

이, 제작된 DC 전력 관리 체계는 RF 전력밀도가 0.013 mW/cm² 이상일 경우에, 영점 교차 검파기가 작동함을 볼 수 있다. RF 전력밀도는 다음 공식에 의해서 계산하였다.

$$P_D = \frac{P_r}{A_e} = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi R^2} \quad (1)$$

이때, P_r 은 수신 RF 전력, P_t 는 송신 RF 전력, A_e 는 안테나의 유효면적(effective area), G_t 는 송신 안테나의 이득(20 dBi), G_r 는 수신 안테나의 이득(3 dBi), 그리고 R 은 송수신 안테나 간의 거리(48.26 cm)이다.

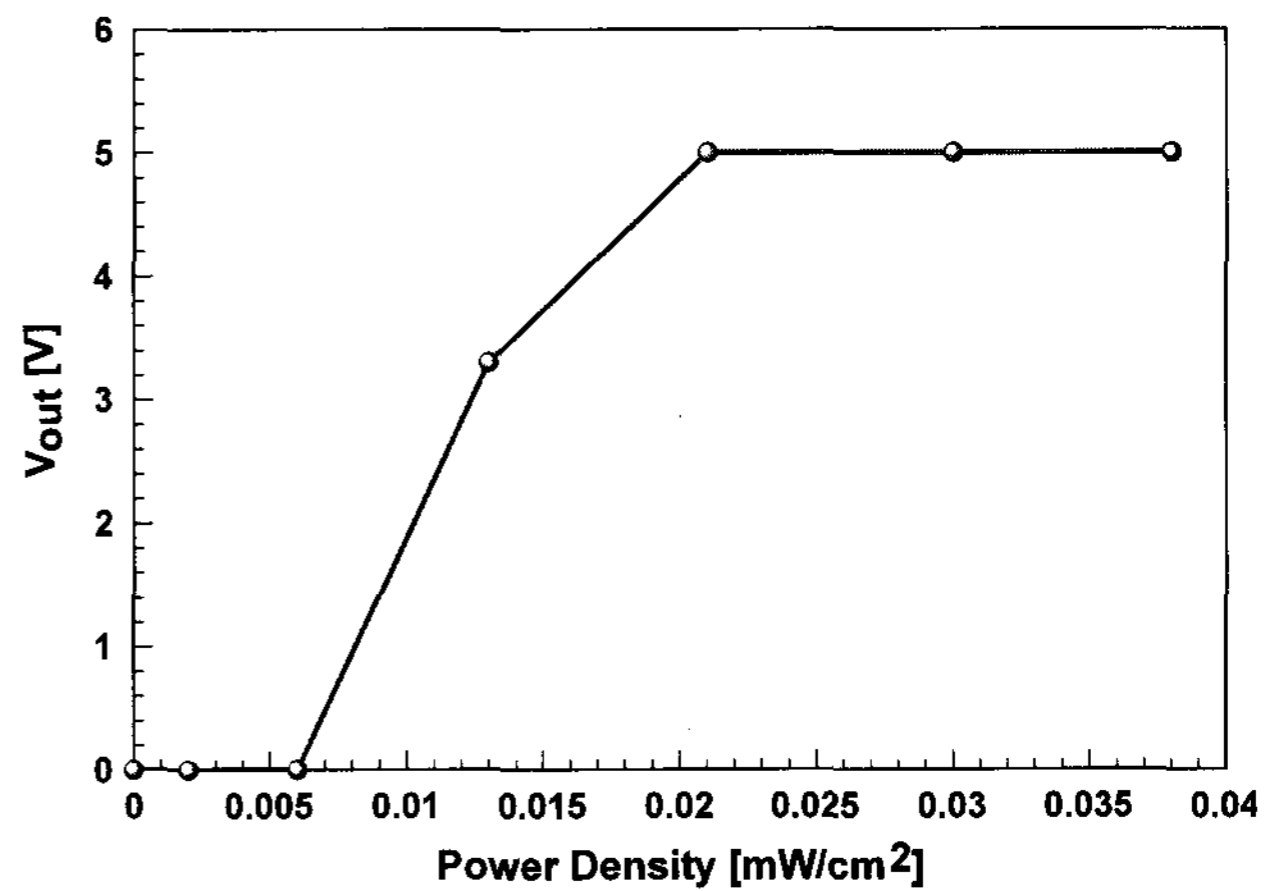


그림 8 DC 전력 관리 체계의 RF 전력 밀도와 측정된 출력 전압과의 관계

Fig. 8 Measured output voltage versus RF power density

4. 결 론

본 논문에서는 60-GHz 대역 수신기의 효율적인 DC 배터리 관리를 위한 DC 전력 관리 체계를 제안하였다. 제안된 구조를 사용할 경우, RF 수신기는 외부에서 일정한 크기 이상의 RF 신호가 수신될 경우에만 DC 전력을 소모하며, 그 외의 경우에는 DC 전력을 소모하지 않는 방법으로 배터리 사용을 효율적으로 관리할 수 있다. 특히, 렉테나와 영점 교차 검파기를 이용하여, 시스템을 단순히 하였으며 민감도를 향상시켰다. 측정 결과 0.013 mW/cm² 이상의 RF 전력밀도가 수신되었을 경우에, DC 전력 관리 체계가 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 제안된 DC 전력 관리 체계는 RF 수신기의 배터리 사용을 효율적으로 관리하기 위하여 사용될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

- [1] C. Smaltz, "Extending battery life of portable devices," WESCON Conference Record, pp. 384-387, Sep. 1993.
- [2] Y. Idota, T. Kubota, A. Matsufuji, Y. Maekawa, and T. Miyasaka, "Tin-based amorphous oxide: A high-capacity lithium-ion-storage material," Science, vol. 276, pp. 1395-1397, May 1997.
- [3] J. B. Hacker, J. Bergman, G. Nagy, G. Sullivan, C. Kadow, H. K. Lin, A. C. Gossard, M. Rodwell, B. Brar, "An ultra-low power InAs/Alsb HEMT Ka-band low-noise amplifier," IEEE Microw. Wirel. Comp. Lett., vol. 14, no. 4, pp. 156-158, Apr. 2004.
- [4] S. Lim, K.M.K.H. Leong, and T. Itoh, "Adaptive power controllable retrodirective array system for wireless sensor server applications," IEEE Trans. Microw. Theory and Technol., vol. 53, no. 12, pp. 3735-3743, 2005.
- [5] J. A. Hagerty, F. B. Helmbrecht, W. H. McCalpin, R. Zane, Z. B. Popovic, "Recycling ambient microwave energy with broad-band rectenna arrays," IEEE Trans. Microw. Theory Technol., vol. 52, no. 3, pp. 1014-1024, 2004.
- [6] W. F. Richards, J. D. Ou, and S. A. Long, "A theoretical and experimental investigation of annular,

annular sector, and circular sector microstrip antennas," IEEE Trans. Ant. Prop., vol. AP-32, pp. 864-867, 1984.

- [7] J.-Y. Park, S.-M. Han, and T. Itoh, "A rectenna design with harmonic-rejecting circular-sector antenna," IEEE Ant. Wirel. Prop. Lett., vol. 3, no. 3, pp. 52-54, 2004.

저 자 소 개



임 성 준 (林 成 俊)

1975년 12월 3일생. 2002년 연세대 공대 전자공학과 졸업 (학사). 2004년 University of California, Los Angeles 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동대학원 졸업(공학박사). 2006년 ~ 2007년 University of California, Irvine Post-Doc. 2007년 3월 ~ 현재 중앙대학교 공과대학 전자전기공학부 전임강사.

Tel : (02) 820-5827

E-mail : sungjoon@cau.ac.kr