

고효율 마이크로파 무선 전력 수신 집적회로 설계 및 구현

A Design of High Efficiency Microwave Wireless Power Acceptor IC

정 원 재* · 정 효 빈* · 김 상 규* · 장 중 은** · 박 준 석†

(Won-Jae Jung · Hyo-Bin Jung · Sang-Kyu Kim · Jong-Eun Jang · Jun-Seok Park)

Abstract - Wireless power transmission technology has been studied variety. Recently, wireless power transmission technology used by resonance and magnetic induction field is applied to various fields. However, magnetic resonance and inductive coupling are have drawbacks - power transmission distance is short. Microwave transmission and accept techniques have been developed to overcome short distance. However, improvement in efficiency is required. This paper, propose a high-efficiency microwave energy acceptor IC(EAIC). Suggested EAIC is consists of RF-DC converter and DC-DC converter. Wide Input power range is -15 dBm ~ 20 dBm. And output voltage is boosted up to 5.5 V by voltage boost-up circuit. EAIC can keep the output voltage constant. Available efficiency of RF-DC converter is 95.5 % at 4 dBm input. And DC-DC efficiency is 94.79 % at 1.1 mA load current. Fully EAIC efficiency is 90.5 %.

Key Words : Wireless energy transfer, Rectifier, Hysteresis switch, Boost-up charger, EAIC

1. 서 론

IOT(Internet Of Things) 및 M2M(Machine to Machine)은 인간과 사물, 서비스 세가지 분산된 환경 요소에 대해 인간의 개입 없이 상호 협력적인 센싱, 네트워킹, 정보처리 등 지능적 관계를 형성하는 사물 공간 연결망이다. IOT 및 M2M은 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 근간으로 개발이 되었다. USN은 다양한 센서로부터 획득한 정보를 무선으로 정확히 제공하여 사용자의 편의성을 향상시킬 수 있는 네트워킹을 말한다. USN은 설비/교통, 유통/물류, 환경, 자동화/안전 및 생활/문화 등 광범위한 분야에 적용되고 있다[1]. USN 서비스의 적용은 에너지 및 재료의 절감, 프로세스 개선, 노동력 절감 및 생산성 향상 등 큰 이익을 기대할 수 있다. 예를 들어 교각 또는 건물에 내장된 압력, 장력 센서 등으로부터 균열, 누수 등의 정보를 획득하여 대형 사고를 방지하거나 건물의 에너지 사용량을 감지하여 에너지 관리의 효율성을 향상시킬 수 있다[2-3]. 이처럼 USN은 원하는 장소에서 요구되는 정보를 정확히 획득하여 특정조건 및 상황에 대응하거나 더 나은 서비스를 제공할 수 있는 밑바탕이 된다. 다양하고 정확한 정보 획득을 위해 USN은 수 개 ~ 수천 개의 센서노드로 구성된다. 센서노드는 다양한 정보 수집을 위해 센서와 통신기능을 갖는 장치이다. 현재 범용되는 센서노드는 배터리 전력을 기반으로 동작한다. 하지만 USN을 구성하는 수천 개의 센서노드의 배터리를 관리하고 유지 및 보수하는데 소요되는 시간, 비용은 USN 산

업 확산의 한계로 작용한다. 배터리 전원으로 발생하는 한계를 극복하기 위해 센서노드의 저전력 운용 알고리즘, 대용량 배터리 사용 등 다양한 방법이 연구되지만 근본적인 해결책을 제시하지 못한다[4-7]. 따라서 현재 무선으로 전력을 공급하여 배터리 수명은 반 연구적으로 향상시키는 기술이 연구되고 있다. 현재 상용화된 마이크로파 무선전력 획득 모듈은 제품의 크기, 입사전력 -10 dBm ~ 20 dBm의 동작 범위, 큰 소모전류가 단점으로 지적된다.

본 논문은 마이크로파 무선 전력 수신 기술의 한계를 극복하기 위한 방법으로 넓은 입력전력 범위를 갖는 저전력, 고효율 마이크로파 전력 수신 집적회로(Energy Acceptor IC : EAIC)를 제안한다. EAIC는 마이크로파 전력 전송 장치(Energy Donor : ED)로부터 전송되는 전력을 원거리 수신하여 배터리 충전 및 PMIC 장치 등을 구동하는 IC이다. ED는 915 MHz ISM 주파수 대역을 사용하여 3 W의 전력을 전송한다. 그림 1에서는 본 논문이 제안하는 EAIC를 나타내었다. EAIC는 RF-DC 컨버터 및 DC-DC 컨버터로 구성되며 최고 5.5 V 전압을 출력한다[8-10].

본 논문의 본문에서 EAIC의 구조 및 각 구성 블록의 특징을 설명하고 측정결과를 통해 EAIC의 성능을 검증한다. 결론에서 EAIC 성능 정리 및 향후 연구방향에 대해 설명한다.

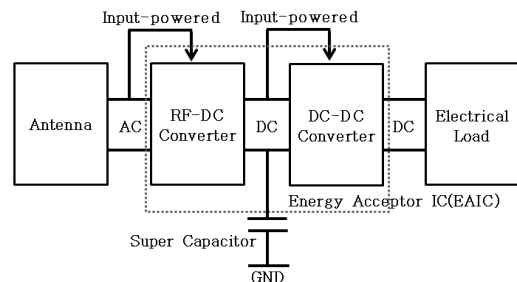


그림 1 마이크로파 무선 전력 수신 장치 블록도

Fig. 1 Microwave wireless energy acceptor block diagram

* Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Kookmin University, Korea

** Co., Ltd Epic Solution, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Kookmin University, Korea

E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

Received : January 3, 2013; Accepted : July 17, 2013

2. 본 론

2.1 EAIC 목표 성능

915 MHz 주파수를 통해 3 W 무선전력 전송 시 ED로부터 거리에 따라 수신 가능한 전력은 <수식 1>의 프리스 공식으로 계산 할 수 있다[3]. 프리스 공식의 P_t 은 수신부 입사 전력, P_r 는 전송 전력, G_t 는 전력 전송부 안테나 이득, G_r 은 수신부 안테나 이득, λ 는 사용 주파수 파장 및 d 는 전력전송 거리를 의미한다. 표 1은 거리에 따른 수신 전력을 계산한 표이다. 전력 전송주파수 및 전력(P_t)은 915MHz, 3W이며 사용한 전력 전송 안테나이득(G_t)은 7 dBi, 수신부 안테나 이득(G_r)은 2 dBi이다. ED로부터 15 m 떨어진 EAIC는 -11.42 dBm의 전력을 수신할 수 있다. 전력전송 목표거리 15 m를 위한 동작 입사전력 범위는 공간손실의 마진을 고려하여 -15 ~ 20 dBm이다.

마이크로파 무선 전력 수신 장치의 획득전력 변환효율은 성능을 판단하는 지표이다. 획득전력 변환효율을 향상시킬 수 있는 방법은 누설전류의 감소, 전류소모 감소 등을 통한 EAIC 구성 블록의 효율개선이다. CMOS 집적회로 설계 시 누설전류와 전류소모는 MOSFET의 W/L 로 결정되며 적절한 Trade-off 가 필요하다. 또한, 센서노드 배터리의 안정적인 충전을 위해 EAIC는 3.7 V 이상의 일정한 전압을 출력해야 한다. 표 2에 EAIC의 목표 성능을 정리하였다.

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1)$$

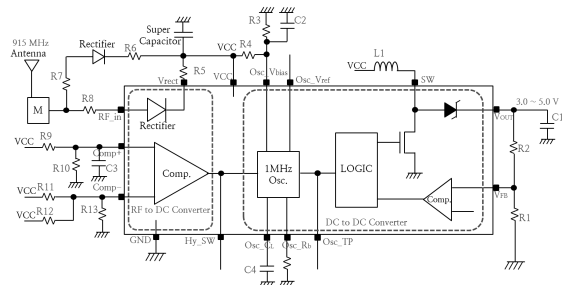


그림 2 EAIC(Energy Acceptor IC) 블록도

Fig. 2 EAIC block diagram

표 1 거리에 따른 EAIC 수신전력

Table 1 EAIC acceptable power

거리[m]	수신전력[dBm]
1	12.1
3	2.55
5	-1.87
7	-4.80
9	-6.98
12	-9.48
14	-10.82
15	-11.42

표 2 EAIC 목표 성능

Table 2 EAIC target specifications

Parameter	Unit	Value		
		Min.	Typ.	Max.
Frequency	MHz	-	915	-
EAIC Input Power Range	dBm	-15	-	20
Transmission distance	m	-	10	15
EAIC Output Voltage	V	-	3.3	5.5
RF-DC Efficiency	%	-	-	90
DC to DC Efficiency	%	-	-	90
EAIC Efficiency	%	-	-	81

2.2 EAIC 구성 및 특징

그림 2는 EAIC의 블록도이다. EAIC는 전력 수신 안테나를 통해 입력되는 AC 전력을 DC 전력으로 변환하기 위한 RF-DC 컨버터 및 낮은 DC 전압을 높은 전압으로 변환하는 DC-DC 컨버터로 구성된다.

RF-DC 컨버터는 임피던스 정합회로를 포함하는 정류회로, 히스테리시스 스위치 및 슈퍼커패시터로 구성된다. 정류회로는 AC 전압을 DC 전압으로 정류하는 역할을 한다. 하지만 -15 dBm 입사전력은 0.1 Vp-p으로 매우 작기 때문에 EAIC의 정류회로는 L, C 발진을 사용하여 낮은 AC 전압을 높은 DC 전압으로 정류한다. 슈퍼커패시터는 정류된 DC 전력을 1차 저장한다. 히스테리시스 스위치는 슈퍼커패시터 전압을 감지하여 슈퍼커패시터 전력이 작은 경우 DC-DC 컨버터의 전압 공급을 제거하여 EAIC를 대기모드로 만든다. 슈퍼커패시터에 일정 전력이상 충전 시 DC-DC 컨버터를 공급하여 EAIC를 동작모드로 만든다. EAIC는 히스테리시스 스위치를 통해 대기모드의 전력소모를 제거할 수 있다.

DC-DC 컨버터는 전압승압회로 및 정전압 출력 발생기로 구성된다. 히스테리시스 스위치가 Turn ON 되었을 때, 전압 승압회로가 동작하며 1.8 V 입력으로 최고 5.5 V 전압을 출력할 수 있다. EAIC는 출력전압을 설정할 수 있으며 설정된 전압을 일정하게 유지할 수 있다.

2.2.1 정류회로의 넓은 동작범위

넓은 범위의 거리에서 마이크로파 무선전력을 수신하기 위해 EAIC의 RF-DC 컨버터는 넓은 범위의 입력전력에서 동작해야한다. EAIC의 동작범위는 RF-DC 컨버터를 구성하는 정류회로가 결정한다. 일반적인 정류회로는 4개의 Junction 기반의 다이오드로 구성된다. 하지만 일반적인 정류회로 다이오드 하나의 전압강하는 0.3 V 이상이다. 정류회로의 다이오드 전압강하는 EAIC의 동작범위를 감소시키기 때문에 일반적인 정류회로는 작은 전력을 수신하여 이용하는 EAIC에 적합하지 않다. 제안하는 EAIC는 일반적인 정류회로의 다이오드 전압강하로 인한 동작범위의 감소를 극복

하기 위해 능동(Active) 다이오드를 적용하였다[11]. 능동 다이오드는 그림 2의 EAIC 전체 블록 중 정류회로(Rectifier) 및 DC-DC 컨버터의 다이오드에 적용되며, 그림 3은 능동(Active) 다이오드 회로이다.

능동 다이오드는 Op-amp 비교기와 PMOS 스위치로 구성된다. Op-amp 비교기는 PMOS의 양단 전압을 비교한다. 애노드 전압이 캐소드 전압보다 높을 때, 비교기는 Low 전압을 출력하며 PMOS 스위치는 ON 된다. 캐소드 전압이 높을 때, PMOS 스위치는 OFF 되어 역전류를 막는다.

능동 다이오드의 전력소모는 PMOS 스위치의 Turn ON 저항과 비교기 전력소모로 결정된다. RF-DC 컨버터의 저전력 구동을 위해 스위치 ON 저항 감소를 위해 PMOS 넓이(Width)는 20 μm 이상으로 하였다.

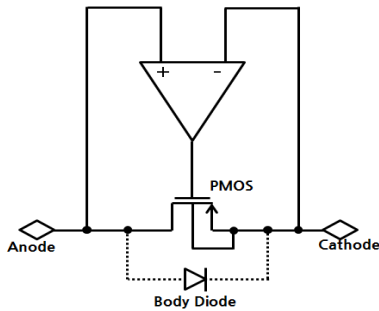


그림 3 EAIC 액티브 다이오드
Fig. 3 Active diode

일반적으로 정류기는 링(Ring)구조 및 전압체배(Villard) 구조를 갖는다. 전압체배구조의 정류회로는 링구조 정류회로보다 높은 전압을 얻을 수 있지만 EAIC로 입력되는 작은 전력으로 슈퍼커패시터를 충전하기는 어렵다. 따라서 EAIC는 L, C 발진을 통해 높은 정류전압으로 변환하는 링구조 발진특성 정류회로 및 전압체배구조의 발진특성 정류회로를 적용하였다. 그림 4는 L, C 발진을 통해 높은 정류전압을 변환할 수 있는 정류회로이다.

발진특성 정류회로의 L, C는 입력신호를 발진시키며, 입력주파수에 맞는 임피던스 정합을 동시에 수행한다. 또한 발진특성의 EAIC 정류회로는 다이오드 전압강하의 제거를 위해 능동 다이오드를 적용 하였다.

2.2.2 RF-DC 컨버터의 히스테리시스 스위치

정류전압을 통해 DC-DC 컨버터를 지속적으로 구동하면 전력관리 측면에서 세 가지 문제가 발생한다. 첫 번째, DC-DC 컨버터는 항상 전력을 공급받기 때문에 소비전력이 증가한다. 둘째, EAIC 부하의 전력소모가 입사전력보다 크기 때문에 슈퍼커패시터 전압이 감소하므로 EAIC가 동작할 수 없게 된다. 셋째, 슈퍼커패시터에 저장된 전력의 지속적인 소비로 슈퍼커패시터 충전에 많은 시간이 소요된다. 이러한 전력관리의 문제를 극복하기 위해 EAIC는 RF-DC 컨버터에 히스테리시스 스위치를 적용 하였다. 히스테리시스 스위치는 두 개의 Turn ON, OFF 전압을 갖고 있으며 슈퍼커패시터에 충전된 전압을 감지하여 DC-DC 컨버터를 구동할 수 있는 경우 스위치를 Turn ON 시켜 EAIC를 동작모

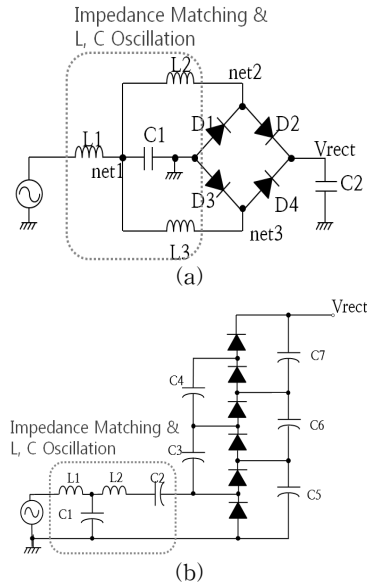


그림 4 발진특성의 EAIC 정류회로 ; (a) 링(Ring)구조 정류회로 및 (b) 전압체배(Villard)구조 정류회로
Fig. 4 EAIC rectifier ; (a) Ring rectifier (b) Villard rectifier

드로 만든다. 슈퍼커패시터의 전압이 DC-DC 컨버터를 구동하기에 충분하지 않다면 스위치를 Turn OFF 하여 대기모드로 만들어 슈퍼커패시터를 충전한다. 그림 5는 히스테리시스 스위치 회로이다.

슈퍼커패시터 전압을 저항 분배를 통해 기준전압 및 슈퍼커패시터 감지 전압으로 나누었다. 안정적인 기준전압 생성을 위해 PTAT(Proportional to Absolute Temperature) 회로를 적용 할 수 있지만 전력소모가 커지는 단점이 있으므로 최소의 블록으로 히스테리시스 스위치를 설계하였다. R1, R2비를 통해 히스테리시스 기준전압을 생성하며, R3 및 R4를 통해 슈퍼커패시터 전압을 감지한다. 슈퍼커패시터 감지 전압이 기준전압 보다 높으면 히스테리시스 스위치는 ON된다. EAIC의 DC-DC 컨버터를 구동하기 위한 전압은 1.8 V 이기 때문에 히스테리시스 스위치 ON 전압은 1.7 V, OFF 전압은 1.4 V로 설정하였다. 히스테리시스 스위치 전류소모는 133.74 nA이다. 그림 6은 슈퍼커패시터 전압 및 슈퍼커패시터 전압에 따른 히스테리시스 스위치 동작의 모의실험 결과이다.

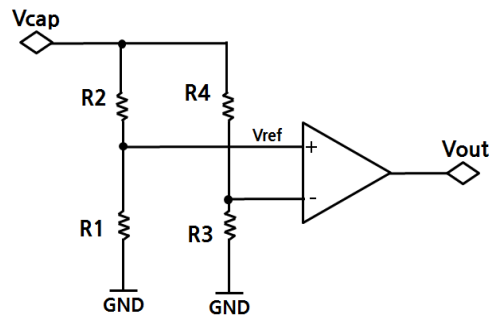


그림 5 RF-DC 컨버터의 히스테리시스 스위치
Fig. 5 Hysteresis switch

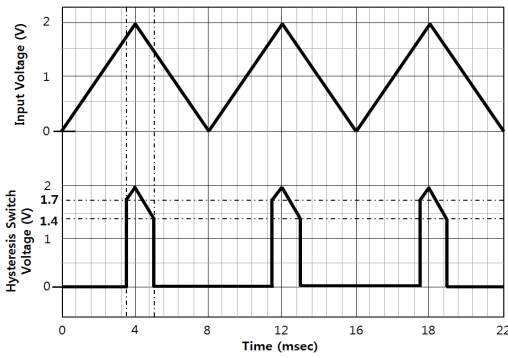


그림 6 히스테리시스 스위치 모의실험 결과
Fig. 6 Hysteresis switch Simulation result

2.2.3 안정적인 출력전압 구현

센서노드 배터리는 3.7 V 이상으로 정전압 충전되어야 한다. 따라서 EAIC의 DC-DC 컨버터는 낮은 전압을 승압하는 전압승압회로 및 출력전압을 일정하게 유지시킬 수 있는 출력전압 레귤레이터로 구성된다. 그림 7은 EAIC의 DC-DC 컨버터 회로이다.

전압 승압회로는 인덕터(L1), NMOS 스위치 및 다이오드(D1)으로 구성된다. 히스테리시스 스위치 출력에 의해 공급되는 1.7 V 입력전압을 인덕터(L1) 및 NMOS를 통해 스위칭하여 전압을 승압한다. NMOS 스위치가 ON 되는 순간 입력전압은 인덕터를 통과하여 MOSFET으로 전류가 급격하게 증가하며 인덕터에 순간적으로 전압이 충전된다. NMOS 스위치가 OFF되면 높은 전압의 역기전력이 발생한다. 인덕터 및 NMOS 스위치를 통해 승압된 전압은 다이오드(D1)을 통해 정류된다. 높은 전압을 얻기 위해 전압 승압회로의 ON, OFF 주기가 증가해야 한다. 하지만 리액턴스 성분으로 인해 최고 효율을 발생하는 특정 주파수가 존재한다. EAIC는 1 MHz ON, OFF 주파수를 설정하여 인덕터 값 조절을 통해 구현하였다.

출력전압 레귤레이터는 출력전압을 감지하여 내부 기준전압과 비교하여 전압 승압회로의 NMOS 스위치의 ON, OFF를 결정한다. R1 및 R2의 전압 분배로 출력전압을 감지한다. 전류소모를 줄이기 위해 PTAT 기준전압 발생회로를 사용하지 않고 저항비를 통해 기준전압을 생성한다. 출력전압은 <수식 2>를 사용하여 설정할 수 있다.

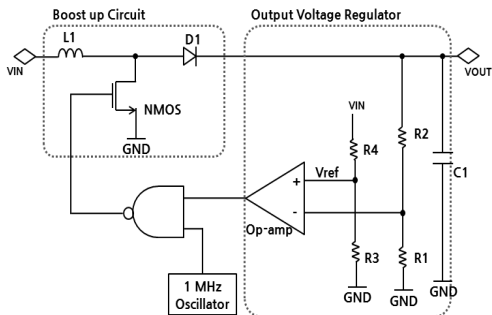


그림 7 EAIC의 DC-DC 컨버터
Fig. 7 DC-DC Converter

$$V_{OUT} = 1.25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \tag{2}$$

2.3 EAIC 구현 및 검증

EAIC는 TSMC 0.18 μm CMOS 공정을 사용하여 구현하였다. 20 개의 I/O 핀으로 구성되며 각 패드는 최고 2 kV 까지 견딜 수 있는 정전기 방지회로를 적용하였다. 그림 8은 구현한 EAIC의 레이아웃이다. EAIC 크기는 856.52 μm X 586.52 μm 이며 코어의 크기는 255 μm X 100 μm 이다.

2.3.1 측정 결과

EAIC는 915 MHz 마이크로파 전력을 획득하여 센서노드에 전력을 공급할 수 있다. EAIC의 RF-DC 컨버터의 주요 기능은 정류회로의 높은 정류전압 획득 및 히스테리시스 스위치의 동작이다. DC-DC 컨버터의 주요 기능은 전압 승압 및 일정한 출력 전압 유지이다.

그림 9는 링(Ring)구조 정류회로 및 전압체배(Villard)구조 정류회로의 입사전력에 따른 출력전력을 나타낸 그래프이다. 링(Ring)구조 정류회로보다 전압체배(Villard)구조 정류회로의 정류전압이 높은 것을 확인할 수 있다. 링(Ring)구조 정류회로는 -16 dBm에서 1.7 V 이상의 전압을 정류하며 전압체배(Villard)구조 정류회로는 -12 dBm에서 1.7 V 이상의 전압을 정류한다. 따라서 EAIC는 넓은 동작범위 구현을 위해 전압체배(Villard)구조 정류회로를 적용한다.

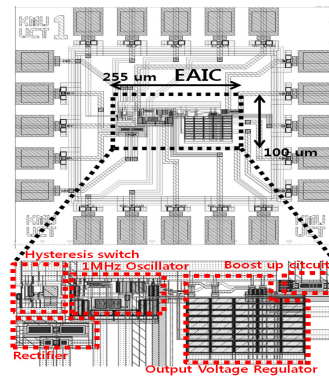


그림 8 EAIC 레이아웃
Fig. 8 EAIC layout

그림 10은 슈퍼커패시터 전압 파형이다. 히스테리시스 스위치는 슈퍼커패시터 전압에 따라 ON, OFF 된다. 슈퍼커패시터 전압이 1.7 V 이상이 되면 DC-DC 컨버터 구동을 위해 히스테리시스 스위치가 ON 되므로 슈퍼커패시터 전압이 감소하고 슈퍼커패시터 전압이 1.4 V 이하로 내려가면 히스테리시스 스위치가 OFF 되어 슈퍼커패시터를 충전한다.

그림 11에 입사전력 -15 dBm 일 때 DC-DC 컨버터의 전압승압 및 출력전압이다. 1.7 V 전압을 입력으로 4.7 V 전압으로 승압하며 EAIC 출력은 3.7 V 로 유지된다.

2.3.2 전력 효율

EAIC의 효율은 입력전력 대비 출력전력으로 계산할 수 있다. <수식 3>은 EAIC 효율 계산식이다. EAIC의 효율 향상을 위해 RF-DC 변환 효율 및 DC-DC 변환효율이 증가

해야 한다. RF-DC 변환효율은 입사전력 대비 정류회로 출력전력으로 계산할 수 있다. RF-DC 컨버터는 915 MHz 전력 수신을 위한 임피던스 정합회로가 포함된다. 임피던스 정합을 통해 입사되는 전력은 입사전력의 50 %이다. 따라서 RF-DC 컨버터의 효율은 가용효율(Available efficiency)이며 임피던스 정합을 통해 입력된 전력 대비 RF-DC 출력전력을 의미한다. 그림 12는 EAIC의 RF-DC 변환 가용효율 그래프이다. 4 dBm 전력이 입사되었을 때, RF-DC 컨버터는 95.5 %의 가용효율을 갖는다.

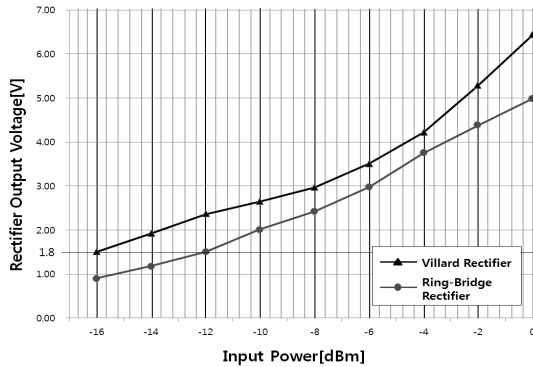


그림 9 EAIC 정류회로 출력전압 그래프
Fig. 9 EAIC rectifier output voltage

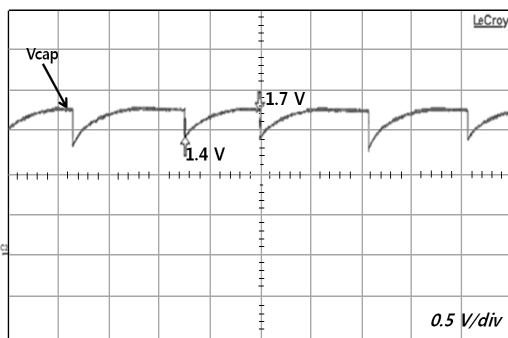


그림 10 히스테리시스 스위치 전압 파형
Fig. 10 Hysteresis switch operation wave(Vcap)

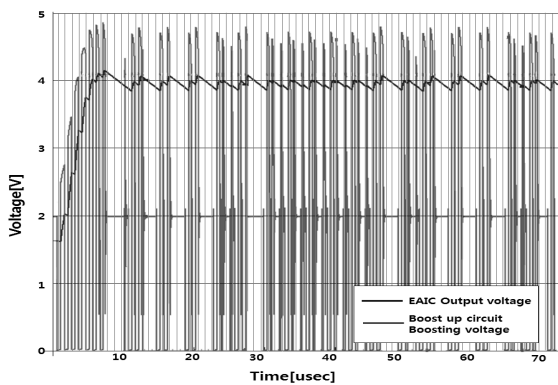


그림 11 승압 전압 및 EAIC 출력전압 파형
Fig. 11 EAIC voltage boosting and output voltage

DC-DC 변환효율은 전압 승압회로 및 출력전압 레귤레이터를 포함하는 DC-DC 컨버터 입력전력 대비 출력전력으로 계산한다. DC-DC 변환효율은 그림 7의 전압 승압회로의 NMOS 스위칭 주파수 및 L1의 크기로 결정된다. EAIC는 NMOS 스위칭 주파수를 1 MHz로 하고, 100 uH의 인덕터를 사용한다. 그림 13은 EAIC 부하 전류에 따른 DC-DC 변환 효율을 나타낸 그래프이다. 1.1 mA 이상의 부하전류에서 최고 94.79 %의 DC-DC 변환효율을 갖는다. 또한 0.1 mA 부하전류에서 83.3 %의 DC-DC 변환효율을 갖는다. 본 논문이 제안하는 EAIC는 최고 90.5 %의 전력 변환 효율을 갖는다. 또한 EAIC는 부하전류가 0.1 mA에서 80 %의 전력 변환 효율을 갖는다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\frac{V_{out,S}^2}{R_{load}}}{\frac{1}{T} \int_0^T [V_{in}(t) \times I_{in}(t)] dt} \quad (3)$$

그림 14는 현재 상용화 마이크로파 무선전력 획득 장치의 DC-DC 변환효율 그래프이다. 제안한 EAIC의 DC-DC 효율 그래프와 비교했을 때, 같은 부하 전류(Load Current) 1.1 mA에서 EAIC의 효율이 3% 더 높다.

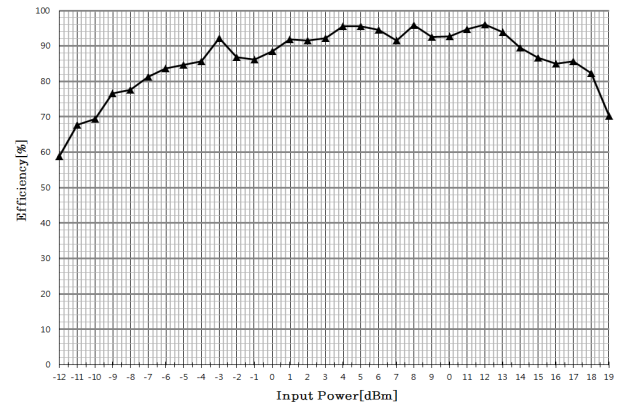


그림 12 입력전력에 따른 RF-DC 효율 그래프
Fig. 12 RF-DC Efficiency

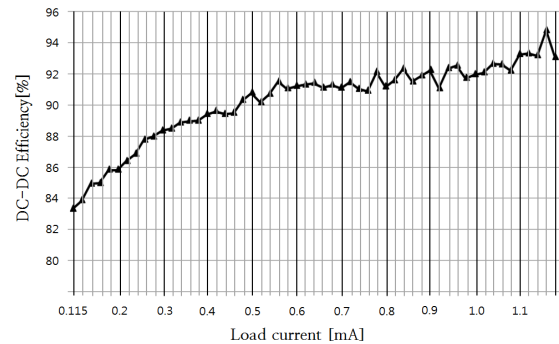


그림 13 부하전류에 따른 DC-DC 효율 그래프
Fig. 13 DC-DC Efficiency

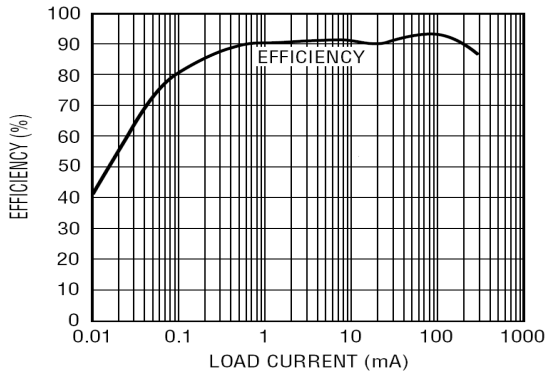


그림 14 상용 마이크로파 무선전력 획득장치의 DC-DC 변환효율 그래프
Fig. 14 DC-DC Efficiency of Microwave wireless power acceptor product

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로파 무선 전력 수신을 통해 센서노드 구동 또는 PMIC를 구동 할 수 있는 마이크로파 무선 전력 수신 장치 집적회로를 설계 및 구현하였다. EAIC는 입사 전력 -15 dBm ~ 20 dBm의 범위에서 동작한다. -15 dBm을 수신할 수 있는 거리는 15 m이다. 이는 현재 상용화된 마이크로파 무선전력 수신 장치보다 5 m 향상된 거리이다. 또한 최고 5.5 V의 전압을 출력한다. 출력 전압은 OFF-Chip 저항을 통해 제어가 가능하며 설정된 전압은 일정하게 유지되어 안정적인 전력 공급이 가능하다. 현재 상용화된 마이크로파 무선 전력 획득 장치의 최고 전력 변환 효율은 80 %이다. 특히, 4 dBm 입력전력에서 RF-DC 변환 효율은 90 % 이며 1.1 mA의 부하전류에서 DC-DC 변환 효율은 최고 90 %이다. 본 논문이 제안하는 마이크로파 무

표 3 상용화 마이크로파 무선전력 획득 장치와 EAIC의 최고효율 비교

Table 3 EAIC Test and result

구분	상용 마이크로파 무선전력 획득장치	EAIC	
실험 조건	전송주파수	915 MHz	
	전송전력	3 W	
	전송거리	2.5 meter	
	전력전송 안테나 이득	7 dBi	
	전력획득 안테나 이득	2 dBi	
	부하전류	1.1 mA	
	결과	입사전력	4.1 dBm
RF-DC 변환효율		90 %	95.5 %
DC-DC 변환효율		90 %	94.79 %
전체효율		81 %	90.5 %

선 전력 수신 IC의 크기는 586.52 μm X 586.52 μm로 상용화 제품의 1/40크기이다. 또한 RF-DC 변환효율 및 DC-DC 변환효율의 향상을 통해 상용화 마이크로파 무선 전력 획득 장치와 같은 조건에서 90% 이상의 전력변환 효율을 갖는다. 표 3은 상용화 마이크로파 무선전력 획득 장치와 제안하는 EAIC의 실험조건 및 결과를 정리한 표이다.

감사의 글

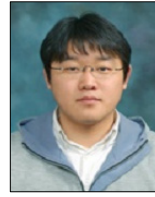
본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행 되었습니다(과제번호 10033869). 연구 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Ho-won Kim, Dong-kyu Kim, "IOT Techniques and Security", KIISC Vol.22, No.1, 2012.02
- [2] Seungwook Han, Heesuk Son, Byounggoh Kin, Seon Yeong Han, Dongman Lee, "A Middleware System for Context-aware Spontaneous Interaction with Heterogeneous Smart IoT", KIISE Vol.39, No.4, 2012.08
- [4] Seung-Man Chun, Jae-Wook Nah, Jong-Tae Park, "Design and Implementation of IEEE 11073/HL7 Translation Gateway Based on U-Healthcare Application Service for M2M", KISC, Vol.36, No.3, 2011.03
- [5] Dae-Jin Hyeong, Jong-Soo Han, Kyung-Hwan Park, "The Software Platform for Vehicular M2M Devices with AUTOSAR Support", KIIT, Vol.10, No.6, 2012.06
- [6] Sun-Ki Eun, Seo-Kwan Jeon, Jae-Young Ahn, Soo-Hyun Oh, "Mutual Authentication and Key Establishment Protocol to Implement Secure M2M Communication Environments", KIISC, Vol.20, No.1, 2010.02
- [7] S.J. Kim, W.S. Jung, G.R. Park, Y.K. Choi, S.J. Kim, "A Trend Analysis of the USN Application Service", Electronics and Telecommunications Trends Vol.22, No.3, 2007.6
- [8] 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
- [9] K.H. Park, N.J. Choi, W.S. Yang, H.Y. Lee, S.K. Lee, C.A. Choi, J.D. Kim, "Present State and Prospect of Sensor Technologies for Smart Building", ETRI, Electronics and Telecommunications Trends Vol.24, No.6, 2009.12
- [10] S.Y. Kang, Y.H. Kimi, M.L. Lee, T.H. Zyung, "Wireless Energy Transfer Technology", ETRI, Electronics and Telecommunications Trends Vol.23,

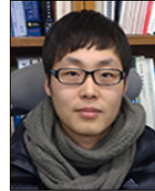
No.3, 2008.12, pp.59-69

- [11] Junho Lee, Hoon Choi, Yunju Baek, "Task Scheduling Technique for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks", KICS 06-9 Vol.31 No.9A
- [12] 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
- [13] 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, San Francisco, CA, December 1 - 2003, pp. 377 - 81
- [14] Yuan Rao and David P. Arnold, "Input-Powered Active AC/DC Converter with Zero Standby Power for Energy Harvesting Applications", Power Electronics, IEEE Transactions on Vol.26, Issue 12, pp 635-3533, 2011.12
- [15] Le T T, Han J, von Jouanne A, Mayaram K and Fiez T S, "Piezoelectric micro-power generation interface circuits," IEEE J.Solid-State Circuits, vol. 41, pp. 1411-1420, 2006.
- [16] Peters C, Spreemann D, Ortmanns M and Manoli Y, "A CMOS integrated voltage and power efficient AC/DC converter for energy harvesting applications," J. Micromech. Microeng, vol. 18, pp. 104005, 2008.
- [17] Yuan Rao, "An Input-Powered Vibrational Energy Harvesting Interface Circuit With Zero Standby Power", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 26, NO. 12, pp. 3524-3533, 2011



정 호 빈 (鄭 孝 彬)

2007년 상주대학교 전자전기공학부 졸업, 2009년 중앙대학교 전자전기공학부 석사 졸업, 2012년~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정



김 상 규 (金 相 珪)

2011년 국민대학교 전자공학과 졸업, 2013년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업, 2013년~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정



장 종 은 (Jang Jong Eun)

1996년 UCLA 전자공학과 졸업, 1999년 UCLA 전자공학과(공학석사), 2005년~2009년 (주)유컴테크놀로지 연구소장, 2009년~현재 (주)에픽솔루션 대표



박 준 석 (朴 准 奭)

1991년 국민대학교 전자공학과 졸업, 1993년 국민대학교 전자공과 석사 졸업, 1996년 국민대학교 전자공학과 박사 졸업, 2003년~현재 국민대학교 전자공학과 교수

저 자 소 개



정 원 재 (鄭 元 載)

2010년 국민대학교 전자공학과 졸업, 2012년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업, 2012년~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정