

# RFID 칩 구동을 위한 NMOS 전류미러형 브리지 정류기의 설계

박광민<sup>1\*</sup>, 허명준<sup>1</sup>

## Design of an NMOS Current-Mirror Type Bridge Rectifier for driving RFID chips

Kwangmin Park<sup>1\*</sup> and Myung Joon Hur<sup>1</sup>

**요약** 본 논문에서는 유효한 DC 전압을 얻기 위해 요구되는 최소입력전압이 충분히 낮으면서도 소비전력이 기존의 정류기 보다 낮은 새로운 NMOS 전류미러형 브리지 정류기를 제안하였다. 설계된 정류기는 13.56 MHz의 HF (for ISO 18000-3)부터 915 MHz의 UHF (for ISO 18000-6) 및 2.45 GHz의 마이크로파 대역 (for ISO 18000-4)까지의 주파수 범위에 대해 RFID Transponder에 내장된 마이크로 칩을 구동하기에 충분히 높고 잘 정류된 직류전압을 공급할 수 있다. 제안된 NMOS 정류기의 출력특성은 고주파 등가회로를 이용하여 해석하였으며, 동작 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 감소시킬 수 있는 회로적 방법을 이론적으로 제시하였다. 이러한 방법을 사용하여 설계된 NMOS 전류미러형 브리지 정류기는 3V 피크-투-피크 입력전압과 45 K $\Omega$  부하저항에서 100  $\mu$  W의 소비전력 특성과 2.13V의 DC 출력전압이 구해졌다. 제안된 NMOS 전류미러형 브리지 정류기는 기존의 정류기에 비해 UHF 및 마이크로파 대역에서도 안정적으로 동작하며, 보다 우수한 특성들을 보였다.

**Abstract** In this paper, a new NMOS current-mirror type bridge rectifier for driving RFID chips, whose minimum input voltage required to obtain the effective DC output voltage is low enough and whose power dissipation can be reduced than that of conventional one, is proposed. The designed rectifier is able to supply high enough and well-rectified DC voltages to drive RFID transponder chips for the frequency range of 13.56 MHz HF(for ISO 18000-3), 915 MHz UHF(for ISO 18000-6), and 2.45 GHz microwave(for ISO 18000-4). Output characteristics of the proposed rectifier are analyzed with the high frequency equivalent circuit. And the circuitry method for effective reducing of the gate leakage current due to the increasing of operating frequency is also proposed theoretically. Using this method, the power consumption of 100  $\mu$  W and the DC output voltage of 2.13V for 3V peak-to-peak input voltage and 45 K $\Omega$  load resistance are obtained. Compared to conventional one, the proposed rectifier operates in more stable and shows superior characteristics in UHF and microwave frequencies.

**Key words** : RFID, NMOS, Current-mirror type bridge rectifier, UHF, Microwave

### 1. 서론

반도체 기술의 급속한 발전이 진행됨에 따라 실리콘에 기반을 둔 RF IC 기술이 다양한 응용분야에 까지 확대되고 있으며, 최근에는 서브마이크론 CMOS 기술을 사용한 RF SoC의 구현을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 서브마이크론 CMOS 기술은 저가격과 고속성 및 고집적 등의 장점으로 인해 단일 칩 RF 시스템 IC의 구현을 위해 가장 필수적인 기술이 되고 있을 뿐만 아

니라, 최근의 유비쿼터스 환경 구축을 위한 자동 인식(Auto-ID) 시스템 응용 분야에 있어서도 핵심적인 기술이 되고 있다[2,3].

자동 인식 시스템은 보안, 구매 및 유통, 제품 추적, 재고관리 등 많은 제조 및 서비스 산업 분야에서 보편화되고 있는데, 그동안 생체인식 시스템과 스마트카드 시스템 등 다양한 형태로 개발되어 왔다[4-9]. 그 중, 일정한 주파수 대역을 이용하여 데이터 전송 매체와 리더 사이에 비접촉 방식으로 전력과 데이터를 전송할 수 있는 RFID 시스템이 유비쿼터스 환경의 구축에 가장 적합한 것으로 인식되고 있다[10].

<sup>1</sup>순천향대학교 전기전자공학과

\*교신저자: 박광민(kmpark@sch.ac.kr)

RFID 트랜스폰더에 내장된 마이크로 칩을 구동하기 위해서는 리더로부터 안테나를 통해 공급받은 RF 신호를 정류하여 칩 구동에 필요한 직류전압을 생성하여야 하는데, 이 역할을 정류기가 담당하게 된다. 직류전압 생성을 위한 정류기는 RFID 또는 비접촉식 스마트 카드의 RF 인터페이스 회로에 있어서 핵심이 되는 부분으로, 내장된 마이크로 칩의 원활한 구동을 위해 그동안 쇼트키 다이오드형, 단순 NMOS형, 단순 PMOS형, NMOS 게이트 교차연결형, PMOS 게이트 교차연결형, PMOS와 NMOS 게이트 교차연결형, CMOS 브리지형 등 다양한 구조의 정류기가 개발되어 왔다[11-14].

그 중, 단순 NMOS형이 고주파 비접촉식 스마트 카드 RF 인터페이스에서 가장 널리 사용되고 있으나, 동작을 위한 최소 피크-투-피크 입력전압이 약 1.4V 이상이고, 유효한 DC 출력전압을 얻기 위해서는 2.5V 이상의 입력 전압을 인가하여야 한다는 단점이 있어왔다. 이를 개선한 구조로 NMOS 게이트 교차연결형이 제시되었는데, 이 구조는 유효한 출력전압을 얻기 위해 요구되는 최소 입력 전압이 다른 구조에 비해 상당히 낮다는 장점이 있다. 그러나 주파수가 증가하면 게이트 커패시턴스를 통한 누설전류가 증가하게 되어 UHF 대역 이상의 주파수 대역에서는 사용하기가 곤란하였다. 또한 용도에 따라 130 KHz의 LF에서 13.56 MHz의 HF 또는 915 MHz의 UHF 그리고 2.45 GHz의 마이크로파 대역을 사용하는 다양한 RFID 시스템이 개발되고 있어 전 주파수 범위에 대해 잘 정류된 DC 출력전압을 공급할 수 있는 범용 정류기의 개발이 트랜스폰더(또는 태그)의 저가격화를 위해 매우 중요하게 되었다[9].

따라서 본 논문에서는 유효한 출력전압을 얻기 위해 요구되는 최소 입력전압이 충분히 낮으면서도, 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 감소시켜 13.56 MHz의 HF(for ISO 18000-3)부터 915 MHz의 UHF(for ISO 18000-6) 및 2.45 GHz의 마이크로파 대역(for ISO 18000-4)까지의 전 주파수 범위에 대해 RFID Transponder에 내장된 마이크로 칩을 구동하기에 충분히 높은 DC 전압을 공급할 수 있는 새로운 NMOS 전류미러형 브리지 정류기를 최초로 제시한다. 제시된 NMOS 정류기의 특성은 고주파 등가회로를 이용하여 해석하며, 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법을 이론적으로 제시한다. 제시된 NMOS 전류미러형 브리지 정류기는 MOSIS T28M TSMC 0.18  $\mu$  m 1Poly-6Metal CMOS 공정(Technology : SCN018) 파라미터를 사용하여 설계하고 그 정류특성을 검증한다.

## 2. NMOS 전류미러형 브리지 정류기

제안한 NMOS 전류미러형 브리지 정류기는 다음 그림 1에 나타내었으며, (+)반주기 동안의 고주파 등가회로는 다음 그림 2에 나타내었다. 여기서 게이트-드레인 커패시턴스 및 기타 커패시턴스 성분은 해석을 단순화하기 위해 포함하지 않았다.

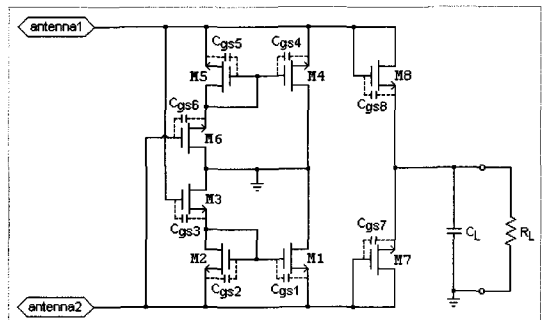
이 그림 2의 등가회로에 마디해석법을 적용하여 출력 전압을 구하면 다음 식(1)로 나타내어진다.

$$v_o = \frac{g_{m1} + g_{o1} + g_2 \left(1 - \frac{g_b}{g_a}\right)}{g_L + \left(1 + \frac{g_L}{g_8}\right) \left(g_{o1} + g_{o3} \frac{g_b}{g_a}\right)} v_s \quad (1)$$

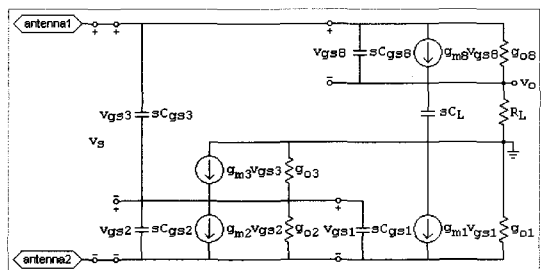
여기서,

$$\begin{aligned} g_a &= s(C_{gs1} + C_{gs2} + C_{gs3}) + g_{m2} + g_{o2} + g_{m3} + g_{o3}, \\ g_b &= s(C_{gs1} + C_{gs2} + C_{gs3}) + g_{m2} + g_{o2} + g_{m1}, \\ g_2 &= s(C_{gs1} + C_{gs2}) + g_{m2} + g_{o2}, \\ g_8 &= sC_{gs8} + g_{m8} + g_{o8}, \\ g_L &= sC_L + \frac{1}{R_L} \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 이때,



[그림 1] 제안한 NMOS 전류미러형 브리지 정류기



[그림 2] (+) 반주기 동안의 고주파 등가회로

$$\frac{g_b}{g_a} = \frac{s(C_{gs1} + C_{gs2} + C_{gs3}) + g_{m2} + g_{o2} + g_{m1}}{s(C_{gs1} + C_{gs2} + C_{gs3}) + g_{m2} + g_{o2} + g_{m3} + g_{o3}} \quad (3)$$

에서, 만약  $g_{m1} \approx g_{m3}$ 이고  $g_{o3} \approx 0$ 이면,  $\frac{g_b}{g_a} \approx 1$ 이 되어 식(1)은 다음 식(4)로 근사화할 수 있다.

$$v_o \approx \frac{g_{m1} + g_{o1}}{g_L + (1 + \frac{g_L}{g_s})g_{o1}} v_s \quad (4)$$

이 식(4)에서 만약  $g_{o1} \approx 0$ 이면, 출력전압  $v_o$ 는 다음 식(5)와 같이 단순화된다.

$$v_o \approx \frac{g_{m1}}{g_L} v_s \quad (5)$$

따라서 정류기 출력전압은 입력전압에 대해 거의 선형적으로 변화함을 알 수 있다.

한편 제안한 전류미러형 정류기에서, 고주파에서 두 안테나 사이의 게이트 누설 전류의 통로가 되는 게이트-소스 커패시턴스의 감소효과는 다음과 같다. 그림 2의 등가회로에서  $C_{gs1}$ 과  $C_{gs2}$ 는 병렬로 연결되며,  $C_{gs3}$ 는 직렬로 연결되므로, 두 안테나 사이의 등가 커패시턴스  $C_{eq}$ 는 다음 식(6)과 같이 구해진다.

$$C_{eq} = \frac{(C_{gs1} + C_{gs2})C_{gs3}}{C_{gs1} + C_{gs2} + C_{gs3}} < C_{gs1} \quad (6)$$

이 등가 커패시턴스  $C_{eq}$ 는  $C_{gs1}$ 에 비해 작으므로 동일한 주파수에 대해, 제안한 전류미러형 정류기의 두 안테나 사이의 임피던스  $|Z|_{cmirror} (= \frac{1}{\omega C_{eq}})$ 는 기존의 게이트 교차연결형 정류기의 두 안테나 사이의 임피던스  $|Z|_{csingle} (= \frac{1}{\omega C_{gs1}})$ 에 비해 큰 값을 갖게 된다. 즉,

$$|Z|_{cmirror} (= \frac{1}{\omega C_{eq}}) > |Z|_{csingle} (= \frac{1}{\omega C_{gs1}}) \quad (7)$$

이므로, 두 안테나 사이의 게이트 누설전류는 기존의 정류기에 비해 작게 된다. 또한, 두 안테나 사이의 입력전압이 각 커패시턴스로 분배되어 인가되므로, 각각의 커패시턴스에 걸리는 전압이 작아지게 되어 게이트 누설전류를 상당히 줄일 수 있게 된다.

따라서, 제안한 그림 1의 NMOS 전류미러형 정류기는

유효한 출력전압을 얻기 위해 요구되는 최소입력전압이 기존의 게이트 교차연결형 정류기와 거의 같으면서도 고주파 영역에서 게이트 누설전류를 훨씬 줄일 수 있게 되어, HF, UHF, 및 마이크로파 주파수 대역을 사용하는 모든 RFID 시스템의 트랜스폰더 칩 구동을 위한 범용 정류기로 사용 가능하게 된다.

### 3. 실험 및 결과

MOSIS T28M TSMC 0.18  $\mu$  m 1Poly-6Metal CMOS 공정(Technology : SCN018)을 적용하여, 제안한 그림 1의 NMOS 전류미러형 정류기의 특성을 기존의 게이트 교차연결형 정류기의 특성과 비교하였다. RF 입력 전압원은 두 안테나 포트 사이에 직접 인가하였고, 두 정류기의 M1은 동일한 사이즈로 정하였다. 또한 일반적인 경우, 마이크로 칩에서의 소비전력이 50  $\mu$  W이고 요구되는 직류출력전압이 1.5V라 가정하면, 부하저항 RL의 값은 45 K $\Omega$ 이 된다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 경우를 가정하여 부하저항 RL의 값을 45 K $\Omega$ 으로 설정하였다. 사용된 소자의 사이즈 값은 표 1에 나타내었다.

[표 1] 소자 값 (W/L,  $\mu$  m)

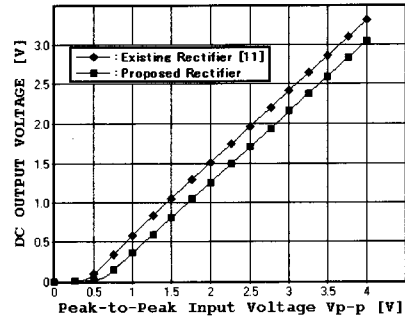
소자	소자 값	소자	소자 값
M1	1.8/0.18	M6	1.8/0.18
M2	1.8/0.18	M7	1.8/0.18
M3	1.8/0.18	M8	1.8/0.18
M4	1.8/0.18	CL	1nF for 13.56MHz 100pF for 915MHz 10pF for 2.45GHz
M5	1.8/0.18	RL	45k $\Omega$

그림 3은 3V 피크-투-피크 입력전압에 대해 제안한 정류기와 기존의 정류기의 주파수에 따른 게이트 누설전류의 크기를 비교한 그림이다. 13.56 MHz의 HF에서는 두 정류기 모두 게이트 누설전류가 거의 없었으나, 915 MHz의 UHF에서는 기존의 정류기가 최대 80  $\mu$  A를 보인 반면, 제안한 정류기에서는 최대 20  $\mu$  A를 보여, 기존의 정류기에 비해 1/4로 줄어들음을 알 수 있다. 2.45 GHz에서는 기존의 정류기가 최대 210  $\mu$  A를 보인 반면, 제안한 정류기에서는 최대 50  $\mu$  A를 보여, 기존의 정류기에 비해 역시 1/4로 줄어들음을 알 수 있다.

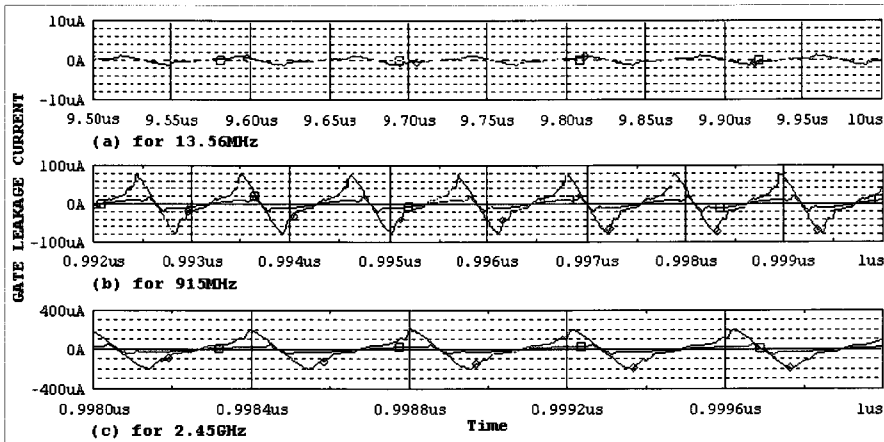
그림 4는 13.56 MHz, 915 MHz, 및 2.45 GHz에 대해 각각 구한 커패시터 전류 I(CL)을 비교한 그림이다. 여기서 제안한 정류기의 커패시터 방전 전류는 거의 모두 부

하저항 RL을 통해 흐르지만, 기존의 정류기에서는 주파수가 증가할수록 두 안테나 사이의 게이트-소스 커패시턴스  $C_{gs1}$ 을 통해 누설되는 전류가 커짐을 알 수 있다.

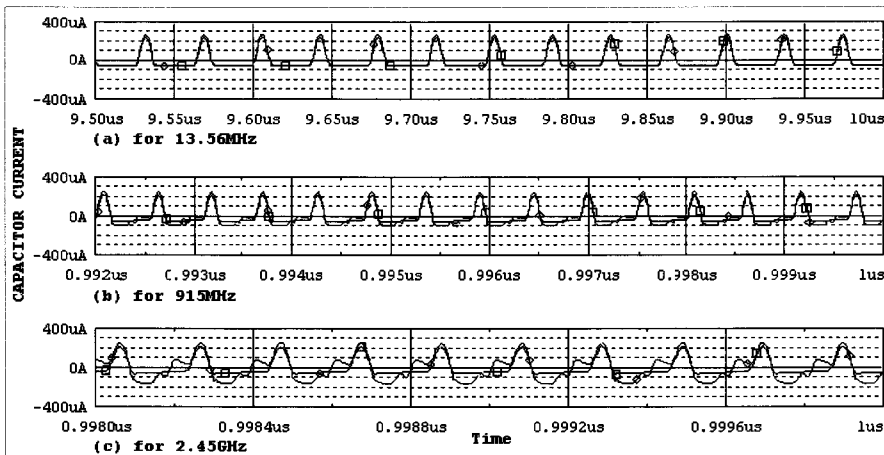
그림 5는 915 MHz 피크-투-피크 입력전압의 변화에 따른 DC 출력전압 특성을 비교한 그림이다. 구해진 DC 출력전압은 3V 피크-투-피크 입력전압에 대해 기존의 정류기에서는 2.41V가, 제안한 정류기에서는 2.13V가 구해져 0.28V 정도의 출력전압 저하가 있었다. 이는 제안한 정류기의 전류미러형 구조를 이루는 M2와 M3의 2층 구조에 기인한다.



[그림 5] 915 MHz 입력전압에 대한 DC 출력전압 특성



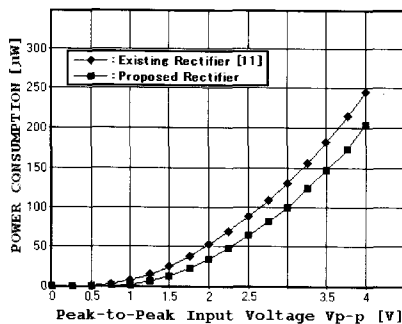
[그림 3] 게이트 누설전류 특성  
 ◇ : 기존의 정류기[11]   □ : 제안한 정류기



[그림 4] 커패시터 전류 I(CL)  
 ◇ : 기존의 정류기[11]   □ : 제안한 정류기

그림 6은 915 MHz 피크-투-피크 입력전압에 대한 부하 저항 RL에서의 소비전력을 비교한 그림이다. 3V 피크-투-피크 입력전압에 대해 제안한 정류기의 소비전력은 100  $\mu$  W로 구해졌으며, 기존의 정류기의 소비전력은 130  $\mu$  W로 구해져 제안한 정류기의 소비전력이 30  $\mu$  W 더 낮음을 알 수 있다.

이상과 같은 결과를 통해, 본 논문에서 제안한 NMOS 전류미러형 정류기는 기존의 게이트 교차연결형 정류기에 비해 약 0.25V 높은 최소입력전압 특성을 보이지만, 두 안테나 사이의 게이트 누설전류를 훨씬 줄일 수 있으며, 따라서 소비전력 면에서도 보다 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.



[그림 6] 915 MHz 입력전압에 대한 부하 RL에서의 소비전력

#### 4. 결론

본 논문에서는 유효한 출력전압을 얻기 위해 요구되는 최소입력전압이 충분히 낮으면서도, 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 감소시켜 13.56 MHz의 HF (for ISO 18000-3)부터 915 MHz의 UHF(for ISO 18000-6) 및 2.45 GHz의 마이크로파 대역(for ISO 18000-4)까지의 전 주파수 범위에 대해 RFID Transponder에 내장된 마이크로 칩을 구동하기에 충분히 높은 직류전압을 공급할 수 있고, 소비전력 면에서도 기존의 정류기 보다 우수한 특성을 보이는 새로운 NMOS 전류미러형 브리지 정류기를 최초로 제시하였다. 제시된 NMOS 정류기의 특성은 고주파 등가회로를 이용하여 해석하였으며, 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법을 이론적으로 제시하였다. 제시된 NMOS 전류미러형 브리지 정류기는 MOSIS T28M TSMC 0.18 $\mu$  m CMOS 공정(Technology : SCN018) 파라미터를 사용하여 설계하고 그 정류특성을 기존의 NMOS 게이트 교차연결형 브리지 정류기 특성과

비교하였다. 구해진 결과를 통해, 제안한 정류기는 기존의 게이트 교차연결형 정류기에 비해 약 0.25V 높은 최소입력전압 특성을 가지면서도, 두 안테나 사이의 게이트 누설전류를 훨씬 줄일 수 있으며, 소비전력 면에서도 보다 우수한 특성을 보임을 입증하였다. 또한, 제안한 게이트 커패시턴스 감소 방법은 초고주파에서 동작할 때 발생하는 각종 RFIC의 게이트 누설전류를 회로 구성을 통해 효과적으로 차단시킬 수 있는 이론적 배경이 될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] C. S. Kim and H. K. Yu(2002), "The present and the future of RF CMOS technology" *The magazine of the IEK*, vol.29, no.9, pp.18-30.
- [2] U. Karthaus and M. Fischer(2003), "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7  $\mu$  W minimum RF input power" *IEEE J. of Solid-State Circuits*, Vol. 38, No. 10, pp.1602-1608.
- [3] J. Doyle, Y. J. Lee, Y. B. Kim, etc(2004), "A CMOS subbandgap reference circuit with 1-V power supply voltage" *IEEE J. of Solid-State Circuits*, Vol. 39, No. 1, pp.252-255.
- [4] Klaus Finkenzeller(2003), *RFID Handbook*, 2nd Ed., John Wiley & Sons Ltd.
- [5] P. Cole, D. Hall, M. Loukine, and C. Werner(1995), "Fundamental constraints of RFID tagging systems" *3rd Annual Wireless Symposium*, Santa Clara California, pp.294-297.
- [6] G. Pope(1996), "Advantages of HF over LF RFID technologies" *AIM International 1996 Technical Review*, pp.42-45.
- [7] T. Scharfeld(2001), "An analysis of the fundamental constraints on low cost passive radio-frequency identification system desig." *MS Thesis*, Dept. of Mechanical Eng., MIT, Cambridge, MA02139.
- [8] P. Rakers, L. Connell, T. Collins, and D. Russell(2001), "Secure contactless smart card ASIC with DPA protectio," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, Vol. 36, No. 3, pp.559-565.
- [9] S. Sarma(2001), "Towards the 5cent Tag," *Technical Report MIT-AUTOID-WH-006*.
- [10] I. Satho(2003), "Location Based Services in Ubiquitous Computing Environments" *ICSOC 2003*, LNCS 2910, pp.527-542.
- [11] Z. Zhu, B. Jamali, and P. H. Cole(2004), "Brief

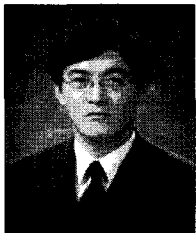
Comparison of Different rectifier structures for HF and UHF RFID (Phase I Draft version 1.0)" <http://autoidlabs.eleceng.adelaide.edu.au/Papers/CompRect.pdf>, Auto-ID Lab, University of Adelaide.

- [12] Zheng Zhu(2004), "RFID analog front end design Tutorial" <http://autoidlabs.eleceng.adelaide.edu.au/Tutorial/RFIDanadesign.pdf>, Auto-ID Lab, University of Adelaide.
- [13] Kwangmin Park(2004), "A CMOS bridge rectifier for HF and Microwave RFID systems" *Trans. on EEM*, Vol. 5, No.6, pp.237-240.
- [14] Kwangmin Park(2006), "A CMOS complementary bridge rectifier for driving RFID transponder chips" *Trans. on EEM*, Vol. 7, No.3, pp.103-107.

---

**박 광 민**(Kwangmin Park)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1985년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 공과대학 전기전자공학과 교수

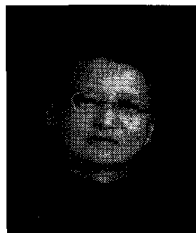
<관심분야>

반도체 소자 및 회로설계, RFID

---

**허 명 준**(Myung Joon Hur)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 공과대학 전기전자공학과 교수

<관심분야>

회로설계, 강인제어시스템설계