

논문 2007-44SD-10-1

무선 전력 구동 센서 태그 내장형 온도센서의 설계

(Design of a Wireless Self-Powered Temperature Sensor for UHF Sensor Tags)

김 현 식*, 조 정 현*, 김 시 호**

(Hyunsik Kim, Junghyun Cho, and Shiho Kim)

요 약

UHF RFID 태그에 내장하여, 유비쿼터스 센서 네트워크의 구성 기초 소자로 활용 가능한 온도센서 회로를 제안하였다. UHF RFID 내장을 위해 1.5 V 이하의 저전압, 5 uW의 동작 소비 전력소비, 0.1 °C/bit의 해상도를 설계 목표로 하였다. 온도 센서의 구성은 PTAT 전류 발생기, 기준 전류와 전압 발생 회로, 시그마 델타 변환기, 디지털 카운터로 구성되어 있다. 제안된 온도센서는 0.1 °C/bit의 해상도를 목표로 설계 하였지만, 시뮬레이션에서는 11-bit 출력에서 최대 0.23 °C/bit의 해상도를 얻을 수 있었다. 0.25 um CMOS 공정을 설계 및 제작하였고, 전원 전압은 1.5 V, 칩의 면적은 0.32 × 0.22 mm이고 동작주파수는 2 MHz이다. 제작된 온도센서의 해상도를 측정한 결과 8-bit 출력에서 평균 4 °C/bit로 측정되었다.

Abstract

Wireless Self-Powered Temperature Sensor for UHF Sensor Tags which are basic device for construction of ubiquitous sensor network is proposed. The key parameters of the target specification are resolution of 0.1 °C per output bit, below 1.5 V of operating voltage and below 5 uW of power consumption during sensing operation. Temperature sensor circuit consists of PTAT current generator, band gap reference circuit generating both reference voltage and current, Sigma-Delta Converter, and Digital Counter. Simulated maximum resolution was 0.23 °C/bit in 11-bit output. The proposed temperature sensor was fabricated by using a 0.25 um CMOS process. The chip area is 0.32 × 0.22 mm and the operating frequency is 2 MHz. Measured resolution from fabricated temperature sensor was 4 °C/bit in 8-bit output for the temperature range from 10°C to 80°C.

Keywords : Temperature Sensor(온도 센서), Sensor Tag(센서 태그), USN(유비쿼터스 센서 네트워크)

I. 서 론

USN이란 “필요한 모든 것(곳)에 통신기능이 있는 스마트 RFID 태그를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식 정보를 기본으로 주변의 환경정보(온도, 습도, 오염정도,

균열정보 등)까지 탐지하여, 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것”을 말하는 것으로 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 커뮤니케이션 기능을 부여하여 Anytime, Anywhere, Anything 통신이 가능한 환경을 구현하기 위한 것이다^[1].

RFID 태그 기술은 초기에는 ID인식, 이력 관리 서비스가 중심이 되지만 점차 온도, 습도, 압력 등 주변의 정보까지 감지하는 센싱 기능, 이들 간의 통신 기술, 궁극적으로는 태그간의 상태를 감지하여 바로 적합한 처리가 가능하도록 하는 제어 기능이 태그에 추가되는 USN 기술이 확대될 것이다^[2]. USN은 먼저 인식정보를 제공하는 RFID 태그를 중심으로 이에 센싱 기능이 추가되고 센서가 내장된 태그들 간의 네트워크가 구축되

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 전기공학과
(Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업[2005-S-118-02, 고성능 극소형 SiP 기술]과 (주)하이닉스반도체의 위탁 연구 과제를 통하여 지원된 IC2010 사업의 일환으로 수행하였으며, 지원 기관에 감사드립니다. 본 연구에서는 IDEC에서 지원된 EDA tool을 사용하였으며, IDEC의 지원에 감사드립니다.

접수일자: 2007년5월26일, 수정완료일: 2007년9월19일

는 형태로 발전할 것이다. RFID 태그에 내장하기 위한 다양한 기능의 센서가 연구 또는 개발되고 있는데 가장 먼저 응용 가능한 센서는 온도 센서가 될 것으로 전망된다.

참고문헌 [3]에서 제안한 온도 센서는 샘플링 속도에 따라 소비하는 전력이 다른데 50 samples/s일 때 소모되는 전력은 60 uW이고 2 samples/s일 때 7 uW의 전력을 소비한다. 이 시스템은 매우 낮은 전력 소모를 이루기 위해 각각의 샘플링 후에 공급 전압의 스위치를 쉽게 끌 수 있도록 하였고 온도 센서에는 양극성 트랜지스터를 사용하였다. 하지만 여기서 제안한 온도 센서는 해상도가 8 °C/bit로 나타나 온도 센서로 상용되기에 해상도가 부족하다.

참고문헌 [4]의 RF 전력 시스템은 외부의 RF 신호에 독립적인 클럭 발생기를 제안함으로써 전력 소모를 줄일 수 있다고 하였다. 제안된 클럭 발생기는 온도보상된 링 발진기와 오버 샘플링 동기기로 구성되고, 기준 전류와 Clock을 공급하는 온도 보상된 링 발진기는 전력 소모를 줄이기 위한 온도 센서에 필요하게 되었다. 동작 상태 동안 1.5 V의 내부 전압에서 5.1 uW의 전력을 소모하게 된다.

그림 1은 참고문헌 [5]에서 제안한 온도센서의 기본 구성과 동작을 나타낸 그림으로 I_{REF}는 온도 변화에 일정한 전류값을 가지는 기준 전류이고 I_{PTAT} 전류는 온도에 따라 일정하게 증가하는 전류이다. 온도센서의 기본 동작은 온도변화에 따라 비례하게 증가하는

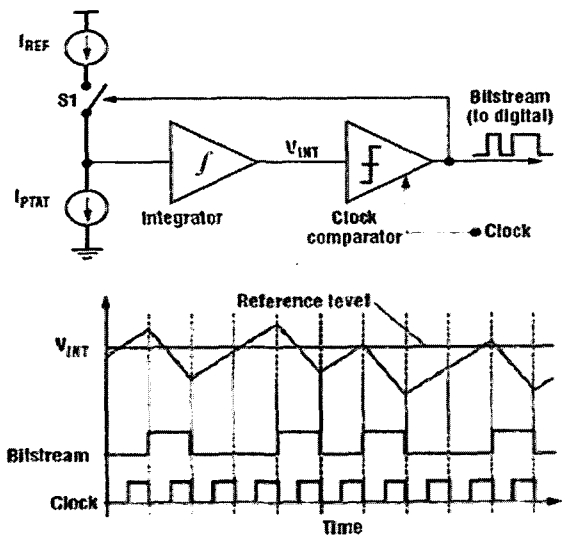


그림 1. 온도센서의 기본 구성 및 동작방법^[5]
 Fig. 1. Basic constitution and operation method of temperature sensor^[5].

PTAT의 전류 변화를 기준 전류와의 차로 나타내어 그 값을 적분기와 클럭 비교기를 거쳐 펄스 형태의 출력으로 나타내어 주는 역할을 한다.

온도센서는 PTAT 전류 발생기를 이용하여 I_{PTAT} 전류를 발생시켜 I_{PTAT} 전류가 가지고 있는 온도를 감지하게 된다. 또한 변환기를 이용하여 PTAT 전류가 가지고 있는 디지털 정보를 디지털 컨트롤 블록에 보낸다. 그림 1의 온도센서는 해상도가 0.1 °C/bit로 -40 °C ~85 °C 정도의 온도를 센싱할 수 있게 제안하였다. 하지만 시뮬레이션 결과 2 °C/bit의 해상도를 보였고 13.56 MHz의 주파수 대역을 사용함으로써 짧은 인식거리를 가지는 단점을 보였다.

본 논문에서 제안하는 온도센서의 기본구성은 종래 방식인 그림 1을 개선한 것이다. UHF 대역 주파수에서도 해상도가 0.1 °C/bit가 되도록 목표로 하였고, UHF RFID의 국제 표준인 EPC Class 1 Gen.^[6]의 RFID 태그에 내장시키기 위한 저전력 온도 센서를 제안하였다.

II. 본 론

1. 온도센서(Temperature Sensor)의 설계

그림 2는 온도센서의 블록도를 나타낸 것으로 PTAT 전류 발생기, 기준 전류 발생기, 시그마델타 변환기, 디지털 카운터로 구성되어 있다. PTAT 전류 발생기와 기준 전류 발생기에서는 온도변화에 따라 비례하게 값이 증가하는 I_{PTAT} 전류와 온도 변화에 일정한 값을 가지는 기준 전류를 발생시켜 시그마 델타 변환기에 보낸다.

시그마 델타 변환기에서는 PTAT 전류와 기준 전류를 받아 두 전류의 차를 펄스 형태의 출력으로 나타내어 V_{FF} 출력을 디지털 카운터 회로에 보내주어 디지털 카운터 블록에서 시간에 따라 계산된 값을 다시 출력 T_{CNT} 값으로 나타내어 온도에 따른 출력을 계산

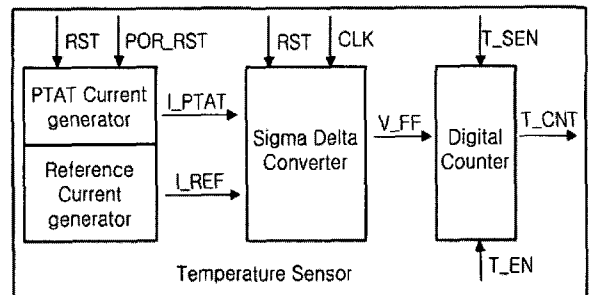


그림 2. 온도 센서의 블록 도
 Fig. 2. Block diagram of the temperature sensor.

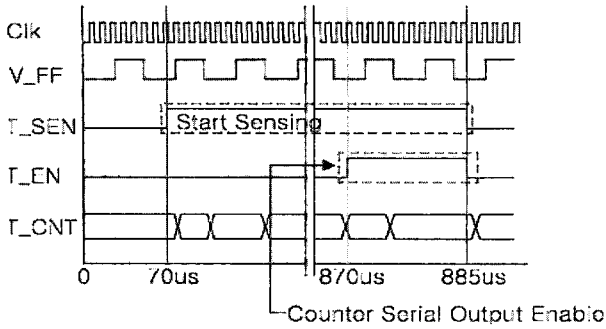


그림 3. 디지털 카운터 동작 타이밍 도
Fig. 3. Operating timing sequence of the digital counter.

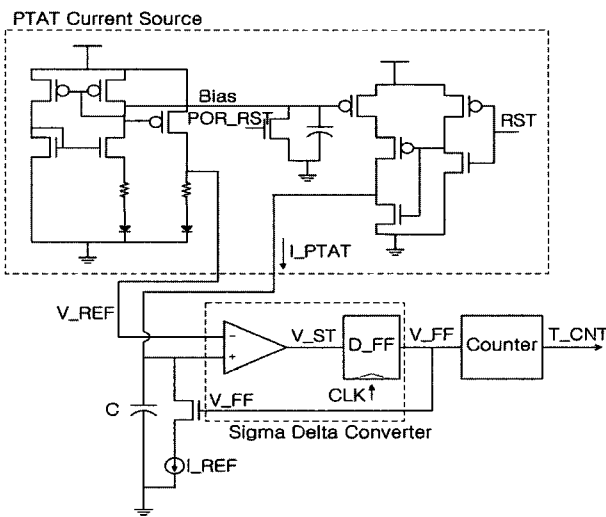


그림 4. 제안된 온도센서의 전체 회로 구성도
Fig. 4. The whole circuit of proposed temperature sensor.

하게 된다^[5].

그림 3은 디지털 카운터의 동작을 나타낸 그림으로 T_SEN 주기 동안에 V_FF의 입력에 따른 온도를 센싱 하게 되고 T_EN 신호가 들어오면 계산한 값을 비트 단위인 T_CNT의 디지털 출력으로 나타낸다.

그림 4는 온도센서의 전체적인 회로를 나타낸 것으로 구성은 LPTAT 전류와 기준 전압을 발생시켜주는 회로, 기준 전류를 발생시켜 주는 기준 전류 발생기와 시그마 델타 변환기, 디지털 카운터로 이루어져 있다.

PTAT 전류 발생회로에서는 기준 전압과 바이어스 전류를 발생시켜 온도변화에 따라 비례하게 증가하는 LPTAT 전류를 발생하게 하고 기준 전류 I_REF와의 차를 펄스형태의 출력으로 내보내고 다시 클럭 비교기로 사용되는 D_FF를 거쳐 디지털 출력 V_FF가 출력된다. 출력 V_FF는 다시 디지털 카운터에서 시간에 따른 값을 계산하여 최종적으로 10진수 또는 2진수 값으로 볼 수 있게 한다.

온도센서의 기준 전압은 1.5 V이고, LPTAT 전류는 3.8 uA, 기준 전류는 8.8 uA이다.

가. PTAT 전류, 기준 전압 발생회로

PTAT 전류, 기준 전압 발생회로는 온도에 비례하여 증가하는 LPTAT 전류와 온도변화에 일정한 값을 가지는 기준 전압을 발생시켜 시그마 델타 변환기에 공급해 준다.

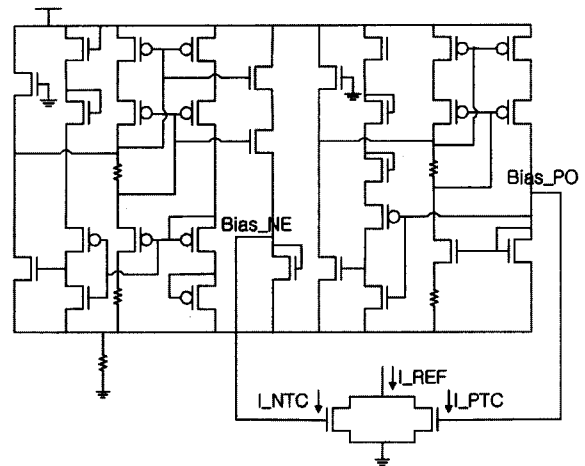


그림 5. 온도 보상된 기준전류 발생회로
Fig. 5. Temperature compensated reference current generator.

나. 온도 보상된 기준전류 발생회로

그림 5는 온도가 보상된 기준전류 발생회로를 나타낸 그림으로 온도가 변하여도 일정한 값을 가지는 기준 전류를 발생시켜 시그마 델타 변환기에 공급해 준다. 온도 보상된 기준전류 발생회로 온도가 변함에 따라 일정하게 증가하는 PTC (Positive Temperature Coefficients) 전류와 일정하게 감소하는 NTC(Negative

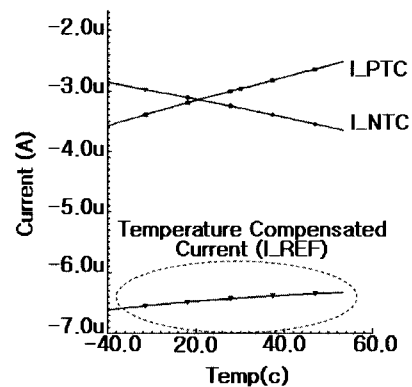


그림 6. 온도보상된 기준전류 발생회로 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Temperature compensated reference current generation circuit simulation result.

Temperature Coefficients) 전류 성분의 합으로 온도변화에 일정한 값을 가지는 기준 전류를 만들어 준다^[4, 7].

그림 6은 온도 보상된 기준전류 발생회로를 시뮬레이션한 결과로 PTC와 NTC의 온도보상으로 기준 전류를 발생하게 된다. 기준 전류는 온도에 따라 일정한 값을 가지는 전류로 8.8 uA가 흐른다.

다. 시그마 델타 변환기

시그마 델타 변환기는 적분기와 클럭 비교기로 구성되어 있다^[3]. 기존의 온도센서에서 사용되는 클럭 비교기를 여기서는 D_FF를 사용하였다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

1. 시뮬레이션 결과

그림 7은 제안된 온도센서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 클럭의 주파수는 2 MHz이고 70 us에서 리셋되어 동작하게 된다.

기준 전압은 일정한 전압을 유지하게 하고, LPTAT 전류가 입력되어 V_SEN이 시간에 따라 상승하게 비교기를 거쳐 다시 하강하면서 출력 V_FF가 나오게 된다. LPTAT 전류에 포함된 온도를 디지털 정보로 바꾸어 출력하여 온도를 센싱한다.

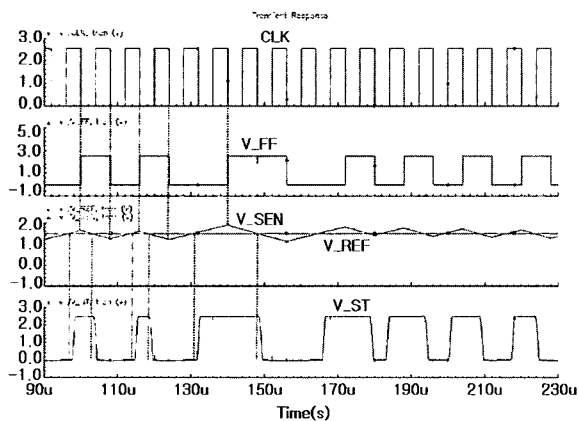


그림 7. 제안된 온도센서의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Proposed temperature sensor circuit simulation result.

2. 측정 결과

그림 8은 온도가 26.8 °C일 때의 디지털 카운터 회로 동작을 측정한 것으로 디지털 카운터에서는 Counter Serial Output Enable 신호에 의해 계산한 값을 11 bit 출력으로 내보내준다.

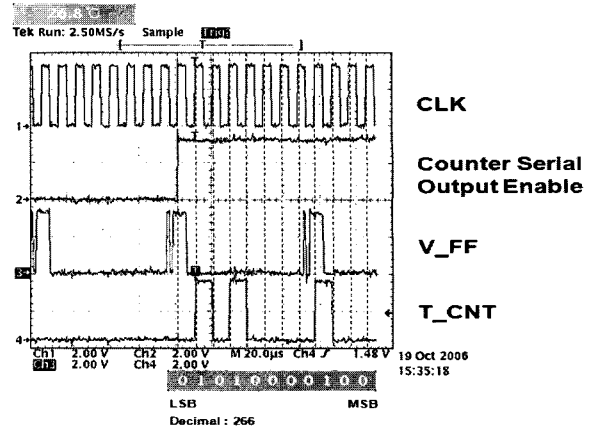


그림 8. 디지털 카운터 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Digital counter simulation result.

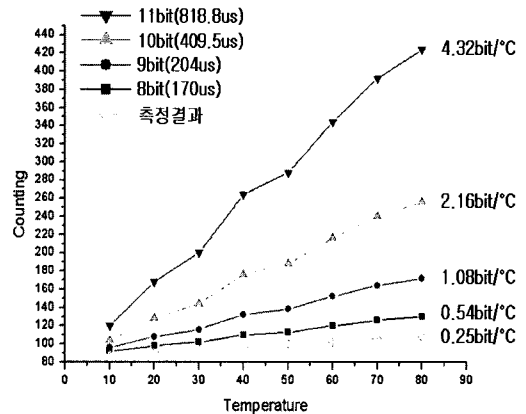


그림 9. 시뮬레이션 및 측정결과
- bit는 Counter의 출력 비트 수를 의미
- 시간은 센서의 동작시 Counter의 계수 구간의 동작시간
Fig. 9. Simulation and measurement result.
- bit: The number of output bit
- time: Integration time of counter during sensing

그림 9는 표 1의 측정된 자료와 각각의 조건에 대하여 시뮬레이션 한 그래프이다. 온도가 증가함에 따라 LPTAT 전류가 증가하기 때문에 그에 따른 출력 V_FF 역시 증가하여 나타나는데 온도에 따른 V_FF 출력을 보면서 온도를 센싱할 수 있게 된다.

출력 비트 수가 증가할수록 온도 센서의 해상도는 증가하는 것을 볼 수 있는데 시뮬레이션 결과 8 bit 출력에서 해상도는 1.85 °C/bit이고, 11 bit 출력에서 해상도가 최대 0.23 °C/bit로 나타났다. 하지만 설계된 온도센서를 측정한 결과 8-bit 출력에서 해상도가 4 °C/bit로 측정되었다.

표 1은 온도에 따라 나타나는 출력 V_FF를 디지털 카운터에서 8 bit 출력으로 나온 결과를 나타낸 것이다.

표 1. 측정 결과

Table 1. measurement result.

Temp(°C)	T_CNT_Count(8bit)		I_PTAT(uA)	I_REF(uA)
	Decimal	Binary		
10	88	1011000	3.85	8.8
20	91	1011011	3.97	8.86
30	94	1011110	4.11	8.83
40	96	1100000	4.24	8.89
50	100	1100100	4.35	8.87
60	102	1100110	4.49	8.89
70	106	1101010	4.61	8.85
80	108	1101100	4.76	8.85
Average Resolution	4 °C / bit			

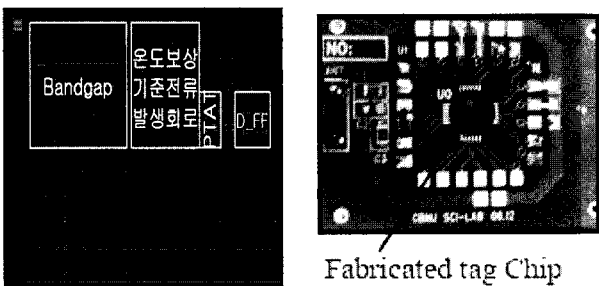


그림 10. 온도센서 레이아웃과 측정용 테스트보드 사진
Fig. 10. Temperature sensor layout and photograph of the test board of measurement.

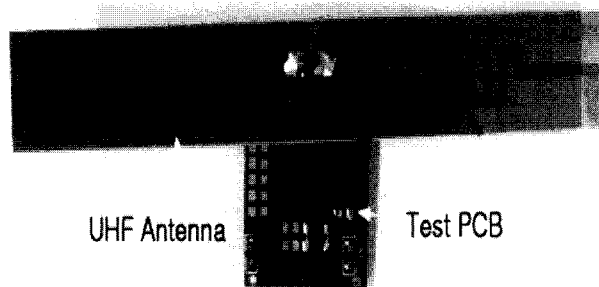


그림 11. RFID 트랜스폰더 사진과 test PCB 안테나 사진
Fig. 11. Photograph of the assembled RFID transponder and test PCB UHF antenna.

온도가 증가함에 따라 I_PTAT 또한 증가하게 되고 TCC(Temperature Compensation Current) 전류는 일정한 값을 보이고 있다. 온도를 10 °C~80 °C까지 관찰한 결과 해상도가 4 °C/bit로 나왔다.

제안된 온도센서는 0.1 °C/bit의 해상도를 목표로 기대하였지만 시뮬레이션 결과로는 11 bit 출력에서 최대 0.23 °C/bit를 얻을 수 있었고 측정결과 8 bit 출력에서 평균 4 °C/bit의 해상도를 얻었다. 해상도를 높이기 위해서는 비교기의 클럭 주파수를 높여 온도를 센싱하는 주기를 늘리는 방법이 있다. 하지만 클럭 주파수를 계속 늘리면 온도 변화에 대한 계산된 값의 증가분이 없게 된다. 시뮬레이션에서 0.1°C/bit의 해상도를 위해서

는 출력 비트 스트림을 16 비트 이상으로 설계하여야 하는데 제작된 회로의 설계시에는 11 비트 출력으로 설계하였고 실제 측정에서는 회로의 일부분에서 동작오류가 있어서 8 비트 출력으로만 동작하였기 때문에 초기에 목적으로한 0.1°C/bit의 해상도를 얻지 못하였다.

측정결과 8 bit 출력에서 평균 4 °C/bit의 해상도를 얻은 것은 먼저 PTAT 전류가 10 °C~80 °C까지 0.91 uA로 증가하였는데 PTAT 전류의 증가분이 작아서 해상도가 처음 설계한 목표값인 0.1 °C/bit의 값을 얻지 못하였다. 제안한 온도센서 회로를 개선하여 다시 해상도를 목표한 값에 도달하도록 설계를 개선하고자 한다.

IV. 결 론

무선 전력 구동 센서 태그 내장형 온도센서는 I_REF 전류 발생회로를 추가하여 전력 소모를 줄이고 기존의 온도센서에서 나타난 전류의 온도변화에 따른 출력 전압의 해상도를 개선하기 위해 제안된 온도센서이다.

무선 전력 구동 센서 태그 내장형 온도센서는 0.25 um CMOS 공정을 사용하였다. 전원 전압은 1.5 V, 칩의 면적은 0.32 × 0.22 mm이고 동작주파수는 2 MHz이다. 시뮬레이션 결과 출력 비트 수가 증가하면 온도센서의 해상도가 증가하게 되는데 설계된 온도센서는 8 bit 출력에서 해상도가 평균 4 °C/bit로 측정되었고, 현재 비트 수를 16 bit로 늘려 해상도를 0.1 °C/bit까지 개선할 수 있는 온도센서를 재설계중이다.

참 고 문 헌

- [1] 박성수, 현석봉, 박경환, 조경의, “유비쿼터스 스마트 태그 칩 기술동향”, ETRI 주간기술동향, 1123호, 2003.
- [2] 김동석, u-센서 네트워크 구축을 위한 정책 추진 방향-3, u-센서 네트워크 기술 발전 전망, 전파지, 2004.
- [3] Anton Bakker and Johan H. Huijsing, “Micropower CMOS Temperature Sensor with Digital Output” IEEE Journal of Solid-State Circuit, vol. 31, NO. 7, July 1996.
- [4] Namjun Cho, Seong-Jun Song, Sunyoung Kim, Shiho Kim and Hoi-Jun Yoo, “A 5.1uW UHF RFID Tag Chip integrated with Sensors for Wireless Environmental Monitoring,” Solid-State Circuits Conference, 2005. ESSCIRC 2005. Proceedings of the 31st European 12-16 Sept. 2005.

- [5] K. Opasjumruskit, T. Thanthipwan, O. Sathusen, P. Sirinamarattana, P. Gadmanee, E. Pootarapan and N. Wongkomet, "Self-powered wireless temperature sensors exploit RFID technology," Pervasive Computing, IEEE Vol. 5, Issue 1, Jan.-March 2006.
- [6] EPC Global Standard Class-1 Generation-2 RFID Version 1.0.9 Jan 2005.
- [7] A. Bendail and Y. Savaria, "Low-Voltage Bandgap Reference with Temperature Compensation Based on a Threshold Voltage Technique," Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. IEEE International Symposium on Vol. 3, 26-29 May 2002.

 저 자 소 개



김 현 식(학생회원)
 2007년 충북대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 2007년~현재 충북대학교
 전기공학과 석사과정.
 <주관심분야 : Analog IC &
 RFIC>



조 정 현(학생회원)
 1997년 원광대학교 전기전자
 학사 졸업.
 2004년 원광대학교 반도체학과
 석사 졸업.
 2006년~현재 충북대학교
 전기공학과 박사과정
 <주관심분야 : System on Chip Design, RFID,
 Analog Mixed Signal>



김 시 호(정회원)
 1986년 연세대학교 전자공학과
 학사졸업.
 1988년 KAIST 전기 및 전자공학
 과 석사졸업.
 1988년~1991년 LG반도체 중앙
 연구소 주임연구원.
 1991년~1995년 KAIST 전기 및 전자공학과
 박사졸업.
 1995년~1996년 LG반도체 연구소 책임연구원.
 1997년~2005년 원광대학교 전기전자공학부
 부교수.
 2005년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부
 부교수.
 <주관심분야 : System on Chip Design, RFID
 Reader 및 tag 칩 설계, Analog Mixed Signal,
 Embedded memory>