논문 2008-45SD-10-7

0.18-㎛ CMOS 공정으로 제작된 UHF 대역 수동형 온도 센서 태그 칩

(A UHF-band Passive Temperature Sensor Tag Chip Fabricated in 0.18-㎛ CMOS Process)

파함 듀이 동*, 황 상 현*, 정 진 용**, 이 종 욱***

(Duy-Dong Pham, Sang-Kyun Hwang, Jin-Yong Chung, and Jong-Wook Lee)

요 약

본 논문에서는 무선으로 전력과 데이터를 받는 온서 센서 태그 칩을 0.18-㎛ CMOS공정으로 제작하였다. 태그 칩 구동에 필요한 전력은 쇼트키 다이오드로 구성된 전압체배기를 이용하여 리더로부터 받는 UHF 대역 (900 MHz) RF 신호를 이용하여 발생시킨다. 태그 칩이 위치한 부분의 온도는 sub-threshold 모드에서 동작하는 새로운 저전력 온도 전압 변환기를 이용하여 측정되고, 이 아날로그 전압은 8-bit 아날로그-디지털 변환기를 통해 디지털 데이터로 표시된다. ASK 복조기와 간단한 디지털 회로로 구성된 회로 블록을 이용해 여러 태그 칩 중에 단일 칩을 선택할 수 있는 식별자 정보를 인식할 수 있다. 제작된 온도 센서는 주변 환경 온도 20 ℃ to 100 ℃ 사이의 온도를 측정한 결과, 0.64 ℃/LSB의 해상도를 나타내었다. 온도 센서 구동에 필요한 입력 전력은 -11 dBm이었고, 온도 오차는 최대 0.5 ℃, 칩 면적은 1.1 x 0.34 mm^2, 동작주파수는 100 kHz, 전력소모는 64 μW, 변환율은 12.5 k-samples/sec을 가진다.

Abstract

We investigated the design of an RF-powered, wireless temperature sensor tag chip using 0.18 μm CMOS technology. The transponder generates its own power supply from small incident RF signal using Schottky diodes in voltage multiplier. Ambient temperature is measured using a new low-power temperature-to-voltage converter, and an 8-bit single-slope ADC converts the measured voltage to digital data. ASK demodulator and digital control are combined to identify unique transponder (ID) sent by base station for multi-transponder applications. The measurement of the temperature sensor tag chip showed a resolution of 0.64 ℃/LSB in the range from 20 ℃ to 100 ℃, which is suitable for environmental temperature monitoring. The chip size is 1.1 x 0.34 mm^2, and operates at clock frequency of 100 kHz while consuming 64 μW power. The temperature sensor required a -11 dBm RF input power, supported a conversion rate of 12.5 k-samples/sec, and a maximum error of 0.5 ℃.

Keywords : temperature-to-voltage converter, CMOS, RF-powered, temperature sensor.

I. 서 론

현재 RFID 시스템은 사물에 대한 대용량의 정보뿐만 아니라 위치 추적까지 가능하게 함으로서 대량의 물류 관리가 필요한 다양한 분야에서 상용화가 진행 중이다. RFID 시스템은 전 세계적으로 현재 다양한 주파수 대역에서 개발되고 있으며, 미래 IT 시장을 선도할 수 있는 높은 성장 잠재력과 파급효과를 가진 기반 기술로 인식되고 있다.

* 학생회원, *** 정회원, 경희대학교 전자정보대학
(School of Electronics and Information, Kyung Hee University)
** 정회원, 포항공과대학 전자전기공학과
(Electronic and Electrical Engineering, POSTEC)
※ 본 논문은 2006년도 교육인적자원부 학술연구조성사업비로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-331-D00427). 설계툴은 반도체설계교육센터(IDEC)의 지원을 받았습니다.
접수일자: 2008년3월14일, 수정완료일: 2008년10월7일

RFID 시스템은 적용 분야에 따라 여러 주파수가 사용되고 있는데, 그 중 900 MHz UHF 대역 RFID 시스템은 기존의 13.56MHz 대역 자기유도방식 보다 비교적 먼 거리에서 인식을 할 수 있는 비접촉식, 그리고 고속 태그 인식 등의 장점을 지니고 있다. 향후 사물 자체의 정보 뿐 만 아니라 위치 정보와 결합된 사물 주위의 정보, 예를 들어, 온도, 습도, 압력 등 다양한 정보를 수집할 수 있는 기능이 추가되어 다양한 응용 분야에 적용될 것으로 전망된다[1]. 다른 응용 분야로는 인간이 접근하기 어려운 지역의 환경 정보, 또는 생체 신호 정보 등을 센싱 기능이 추가된 RFID 태그들이 실시간으로 모니터링하고, 네트워크를 형성하여 총체적인 정보처리가 가능해질 것으로 전망된다.

이러한 연구 동향에 따라 온도 센싱 기능을 내장한 여러 RFID 태그들이 발표되었다[2~4]. 참고 문헌 [2]에서 제안된 온도 센서는 2.4 GHz에서 동작하는 전압제어발진기를 사용하여 측정된 온도 정보를 리더(reader)로 전달하는 구조를 채택하였다. 이 구조는 온도에 따라 전압제어발진기의 출력주파수를 가변시킴으로서, 온도 정보를 얻는 구조로 온도 센싱과 송신기 구조를 결합하는 장점을 가지고 있다. 그러나 2.4 GHz에서 동작하는 발진기와 전력증폭기의 높은 전력소모로 인해 1mA 이상의 전류를 소모한다. 참고 문헌 [3]에서는 온도 보상된 기준전류 발생회로와 델타-시그마 디지털 변환기를 사용하여 5 μW의 낮은 전력 소모로 동작하는 온도 센서 태그 구조를 제안하였으나 설계치보다 다소 높은 4℃/LSB 의 온도 분해능(resolution)을 나타내었다. 참고 문헌 [4]의 온도 센서는 RF 입력 신호의 크기에 무관한 클럭 신호를 발생하고, 또한 온도에 따른 클럭 주파수를 보정하는 회로를 내장한 구조를 채택하였다. 비교적 낮은 5.1 μW의 전력 소모와 1.9 ℃/LSB의 온도 분해능을 나타내었다.

본 논문에서는 0.18-μm의 CMOS 공정의 $CoSi_2$-Si 쇼트키 다이오드를 이용하여 무선 전력으로 구동되는 온도 센서를 설계 제작하였다. Sub-threshold 영역에서 동작하는 새로운 저전력 온도 센서를 이용하였으며, 식별자 코드를 인식할 수 있는 기능도 내장하였다. 제작된 온도 센서는 소모 전력은 약 64 μW로 4 W EIRP 조건에서 0 dB 태그 이득의 경우 최대 6.5 m의 인식거리를 가진다. 제작된 온도 센서는 0.64 ℃/LSB의 온도 분해능, 최대 0.5 ℃ 오차의 측정결과를 나타내었다.

Ⅱ. 무선 전력 온도 센서 구조

그림 1(a)에 UHF 대역 RF 신호를 받아 자체 전원을 생성하고, 온도를 센싱하는 무선 전력 구동 태그 칩의 구조를 나타내었다. 태그 칩은 전압체배기, 바이어스 발생회로, 리셋 (power-on-reset) 회로, 클럭발생기, 복조기, 온도센서, 8-bit 아날로그-디지털 변환기(ADC), 3-bit 태그 식별자 코드를 처리하는 데이터 디코더 등으로 구성된다. 안테나에 수신된 RF 신호는 전압체배기를 통해 DC 전압이 생성되어 태그 칩을 구동시킨다. 전압체배기는 쇼트키 다이오드를 이용하여 설계되어, 1.5 μA 전류와 1.5 V 전압을 공급하기 위해 필요한 전력은 약 30 μW로 측정되었다[5]. ASK 복조기는 리더로부터 수신한 RF 신호로부터 데이터를 복원하는데, 이 온도 센서에서는 디지털 제어부와 함께 리더에서 보내온 식별자 코드 (identification code)를 인식하는데 사용된다. 수신한 코드가 태그 칩 내부의 식별자 코드와 일치하면, 온도를 전압으로 변환하는 작업이 수행된다. 변환된 아날로그 전압은 칩에 탑재된 8-bit ADC에 의해 디지털 데이터로 처리되어 리더로 전송된다. 태그 칩 안테나에서 수신한 전력이 태그 칩을 구동할 수 있는 충분한 DC 전압을 생성하게 되면 리더로부터 수신한 신호로부터 식별자 코드를 복조해서 태그 칩 자체의 식별자 코드와 일치하는지 계속 확인한다. 일치하는 식별자 코드를 받게 되면, 온도 센서부를 활성화시키게 된다.

주변 온도를 수집하는 목적으로 설계되어 식별자 코드 외에 별도의 메모리는 내장하지 않았으나, 향후 온도 센싱한 태그를 식별하고 센싱된 온도 정보를 저장하여 리더의 요청에 따라 정보를 보내기 위해 메모리와 송신기 회로 등의 추가가 필요하다.

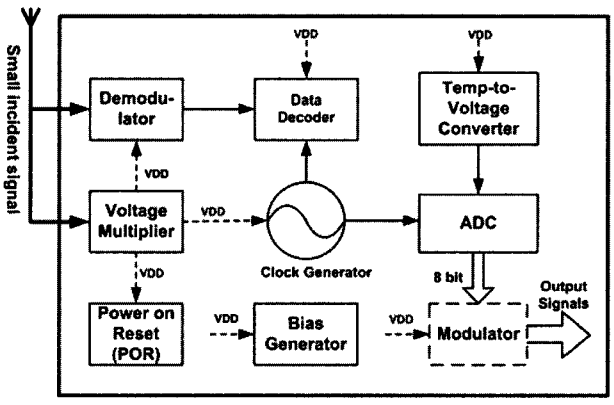


그림 1. 무선 전력 구동 온도 센서 태그 칩의 구조
Fig. 1. Architecture of wireless powered temperature sensor tag chip.

III. 전압체배기 및 ASK 복조기

전압체배기에 사용된 쇼트키 다이오드는 0.18-μm 공정의 $CoSi_2$-Si 접합을 이용하여 제작되었으며, 면적이 50 및 5 μm^2 를 가지는 쇼트키 다이오드는 1 μA 전류 구동 조건에서 각각 80 및 160 mV 의 전압 강하(turn-on voltage)를 나타내었다. 제작된 쇼트키 다이오드를 전압체배기 설계에 사용하기 위해 다이오드의 DC I-V 및 S-parameter를 측정하여 등가회로를 Agilent ADS 상에서 사용자 정의 모델로 구현하였다[6]. 이 모델을 사용하여 체배단 수 및 다이오드 크기에 따른 전압체배기의 성능을 분석하여 태그 칩 구동 전압 V_{DD}를 1.2 V로 했을 때 요구되는 입력이 가장 적은 체배단 수를 5 단으로 결정하였다. 체배기를 구성하는 약 1.0 pF 의 캐패시터는 비교적 적은 기생저항을 가지는 metal-insulator-metal (MIM) 커패시터로 구현하였다.

그림 2에 ASK 복조기의 회로도를 나타내었다. 이 구조는 데이터 전송율이 낮은 비동기식 ASK 복조를 저전력으로 설계할 수 있어 RFID 태그 칩에 적합하다. 이 복조기는 쉬미트 트리거(schmitt trigger)를 이용하는 방식에 비해 저전력으로 동작할 수 있고, 특히 히스테리시를 가지는 비교기의 차동 구동 특성으로 전압체배기에서 공급하는 전압이 변동하는 경우에도 강인한 데이터 복조기능을 나타낸다. 낮은 공급 전압(V_{DD} ≃ 1.2 V)에서 구동되는 비교기의 공동 모드 입력 범위(common-mode input range)를 고려하여 포락선 검출기 (envelope detector)의 단수는 2로 하였다. 비교기에서 데이터의 판별은 입력 신호의 평균값을 이용하므로 이를 구현하는 저역통과 필터의 시상수(τ=1/RC)는 입력 신호의 데이터 전송율을 고려하여 선택하였다.

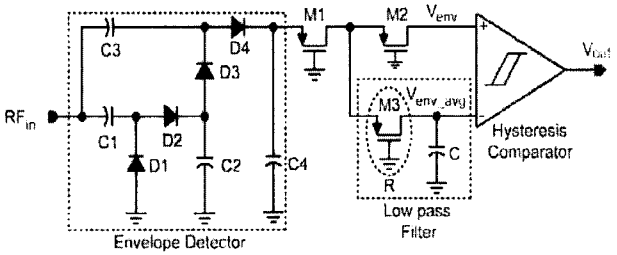


그림 2. ASK 복조기의 회로도
Fig. 2. Schematic of ASK demodulator.

IV. 온도-전압 변환기

그림 3에 온도-전압 변환기의 회로도를 나타내었다. 온도-전압 변환기는 일정한 바이어스 전류가 M5에 의해 공급되면 sub-threshold 영역에서 동작하는 트랜지스터 M6의 게이트-소스 전압이 온도에 따라 선형적으로 변하는 특성을 이용한다[7]. 이 구조는 간단하면서도 sub-threshold 영역에서 동작으로 nA 레벨의 매우 낮은 전력 소모를 가지도록 설계할 수 있어 RFID 태그 구조에 적합하다. 온도-전압 변환기에 필요한 일정한 전류는 M5에 의해 공급되며 이는 sub-threshold 영역에서 동작하는 beta-multiplier 기준전압 발생기의 출력을 이용한다. M1과 M2의 크기의 비율이 K, M5과 M3의 크기 비율이 K_r일 때, M5에 의해 M6에 공급되는 전류 I_r은 다음 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$I_r = \left(\frac{kT}{q}\right)\frac{mK_r \ln K}{R} \tag{1}$$

여기서 m은 body효과 계수이다[8]. 온도가 상승함에 따라 M5의 전자이동도 변화에 의해 I_r이 감소하나 시뮬레이션 결과 100 °C까지 온도가 증가하더라도 I_r은 약 3 %의 낮은 오차를 나타내었다. 온도 보상기능이 있는 기준 전류 발생기를 사용하여 온도 의존성을 낮출 수 있으나[9], 그 특성이 전원 전압에 민감하고 저전압 및 저전력으로 구동되는 수동형 태그 칩에 적용하기는 어렵다.

그림 4에 여러 전원 전압에서 구동되는 온도-전압 변환기의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 수동형 태그 칩의 경우 자체 전원이 없어 외부 RF 전력에 전원 전압이 의존하여 변동이 있기 때문에 전원 전압이 변동하는 경우의 특성을 고려하였다. 온도 범위 0°C to 100°C 에서 센싱 전압 V_{sen}은 235에서 80 mV로 감소해 0.645 °C/mV 의 변화율을 갖고, 선형도 R^2은 0.9927~0.999의 우수한 특성을 나타내었다.

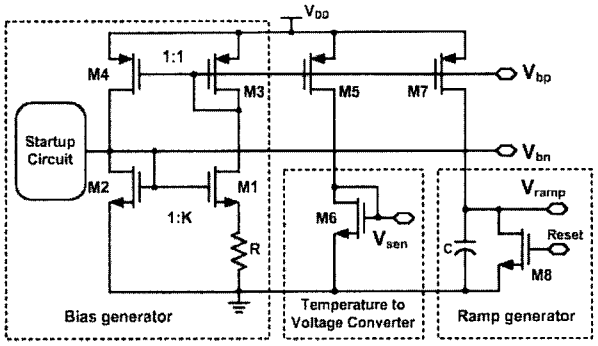


그림 3. 온도-전압 변환기와 램프 발생기의 회로도
Fig. 3. Schematic of temperature-to-voltage converter and ramp generator.

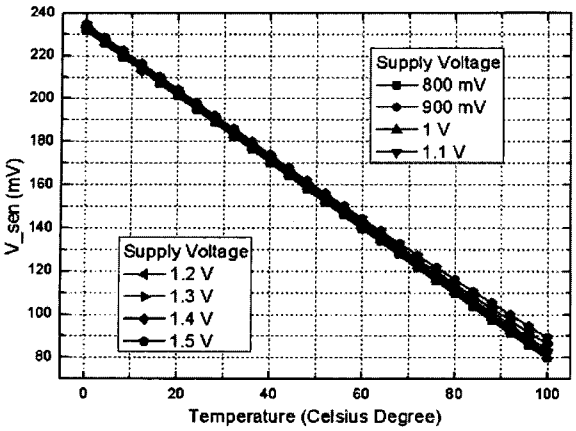


그림 4. 여러 전원 전압에서 구동되는 온도-전압 변환기의 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulation result of temperature-to-voltage converter as a function of temperature for various supply voltage.

그림 4에서 알 수 있듯이 sub-threshold 영역에서 동작하는 트랜지스터 M6의 게이트-소스 전압은 V_{DD}에 의존성이 크지 않으면서, 온도 변화에 따라 이에 반비례하는 전압을 나타냄을 알 수 있다. 이 온도-전압 변환기는 약 300 nA의 전류를 소모하며, 전원전압 V_{DD}의 변화 (0.8~1.5 V)에도 비교적 우수한 선형성을 나타내었다.

단일 경사 (single-slope) 아날로그-디지털 변환기에 필요한 램프 발생기는 그림 3의 M7, M8, 그리고 C를 이용한다. 수식 (1)에서 알 수 있듯이 M7에 의해 공급되는 전류는 전원 전압에 의존하지 않는다. 또한 M7은 채널 길이가 긴 소자를 사용하여 큰 출력 저항을 가지며, V_{ramp}가 최대 300 mV 까지 증가하더라도 일정한 전류가 C에 공급되어 전압 V_{ramp}는 비교적 우수한 선형성을 유지한다. 좀 더 복잡한 보정기능을 사용하여 V_{ramp}의 선형성를 향상시킬 수 있으나[9], 자체 전원이 없는 수동형 회로의 저전력 설계에는 적합하지 않다.

V. 아날로그-디지털 변환기 및 디지털 제어부

디지털 제어부는 비교적 간단한 데이터 디코더로 구성하여 식별자 코드를 인식하는 기능을 수행하도록 설계하였다. ASK 복조기에서 받은 데이터와 태그 칩 자체에 내장된 코드를 비교하여, 일치되는 코드를 수신하면 온도 센싱을 시작하도록 제어한다. 현재 회로에서는 3-비트 레지스터를 갖도록 설계하였으나, 필요에 따라 비트 수를 증가시킬 수 있다.

그림 5에 나타낸 회로에 내장된 3-비트 식별자 코드

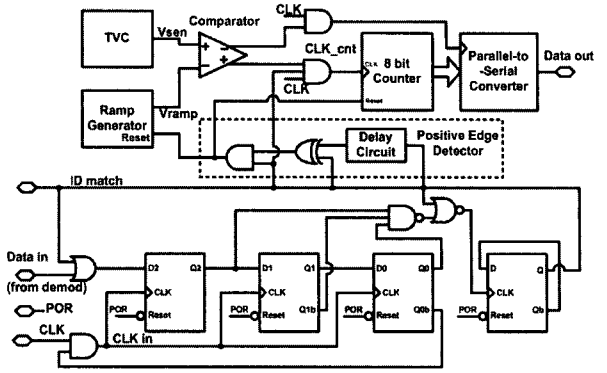


그림 5. 아날로그-디지털 변환기 및 식별자 코드를 검사하여 온도 센싱을 제어하는 디지털 회로부

Fig. 5. Single-slope analog to digital converter and related digital circuits for checking identification code.

는 '1-0-1' 이다. Power-on-reset (POR)후 초기화된 플립플롭으로 들어온 입력 데이터(Data_in)은 한 비트씩 쉬프터되어, Q0-Q1-Q2 의 출력이 '1-0-1'이 되면, 식별코드가 일치함을 나타내는 ID_match가 로직-'1'로 된다. 디코더로 들어온 식별자 코드가 일치하지 않을 경우 다음 리셋 신호가 들어올 때까지 더 이상 식별자 코드 데이터가 입력되지 않고 현재 상태를 유지한다.

측정된 온도는 그림 5에 나타낸 8-비트 단일 경사 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 디지털화된다. 이 변환기는 전압 램프 발생기, 비교기, 카운터로 구성되어 구조가 간단하여 낮은 전력 소모 및 적은 데이터량 처리에 적합하다. 비교기의 출력은 V_{ramp}가 V_{sen}보다 작을 경우 로직-'1'의 값을 갖고, 식별자 코드 출력 (ID_match), 클럭 신호 (CLK)와 함께 AND 게이트 로직을 구성하여 카운터 입력으로 사용된다. 아날로그-디지털 변환기에 사용된 비교기는 두 입력 레벨이 300 mV이하이므로 입력 차동단은 PMOS 트랜지스터를 사용하였다.

VI. 측정 결과

0.18-㎛ CMOS 공정으로 제작된 무선 전력 구동 온도 센서를 그림 6에 나타내었다. 칩 크기는 테스트용 패드를 포함하여 1.1 × 0.34 mm^2 이고, 250 pF 전원 전압 저장 커패시터가 칩 면적의 약 1/3을 차지한다.

제작된 칩은 약 5mm 길이의 bonding wire로 칩과 PCB상 패드가 연결되는 chip-on-board(COB)형태의 패키징을 구현하였으며, 무선 전력 구동 온도 센서의 측정 환경을 그림 7에 나타내었다. COB 후에 네트워크

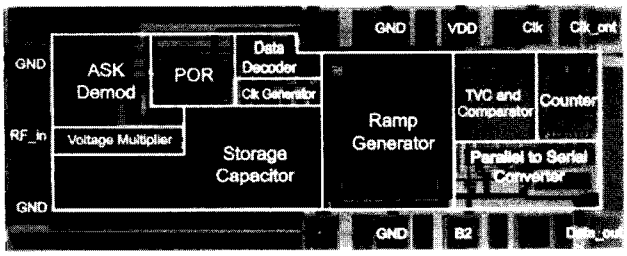


그림 6. 제작된 무선 전력 구동 온도 센서.
Fig. 6. Fabricated temperature sensor. size=1.1×0.34 mm^2.

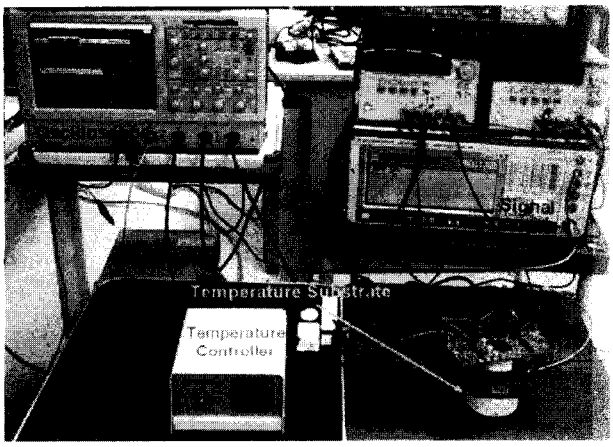


그림 7. 무선 전력 구동 온도 센서 측정 환경
Fig. 7. Measurement setup for RF powered temperature sensor tag.

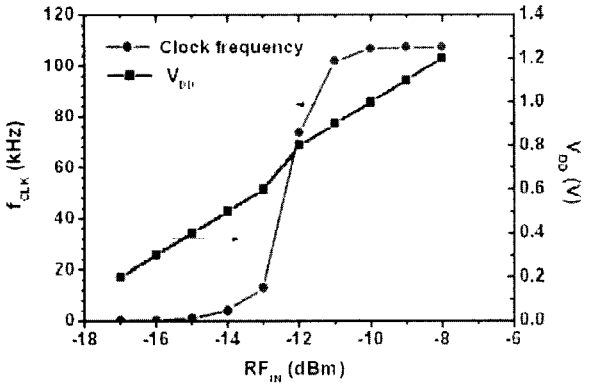


그림 8. 무선 전력 구동 온도 센서의 RF입력 전력에 다른 전원 전압(V_{DD})와 클럭발생기의 주파수 (f_{CLK})
Fig. 8. Measured supply voltage and clock frequency of the sensor as a function of input RF power.

분석기를 이용해 테스트 보드 상에서 측정된 입력 임피던스는 900 MHz에서 24.5 - j 496 5 Ω 이었다.

그림 8에 RF입력 전력에 따른 측정된 클럭 발생기의 출력 주파수를 나타내었다. 온도 센서 태그 칩 구동에 필요한 전원 전압 1.2 V 을 발생하기 위해 필요한 전력인 약 -11 dBm이상이 되면 그림 3의 바이어스 회로에

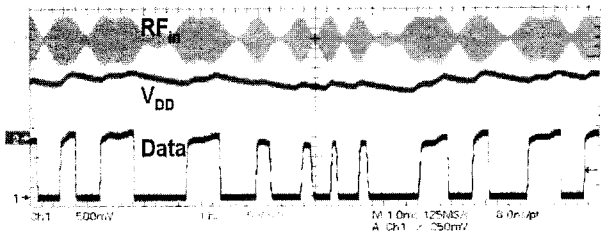


그림 9. 900 MHz RF 입력 신호를 입력으로 한 ASK 복조기의 출력
Fig. 9. Measured result of ASK demodulator. The upper is the RF input signal and the lower is the demodulated output.

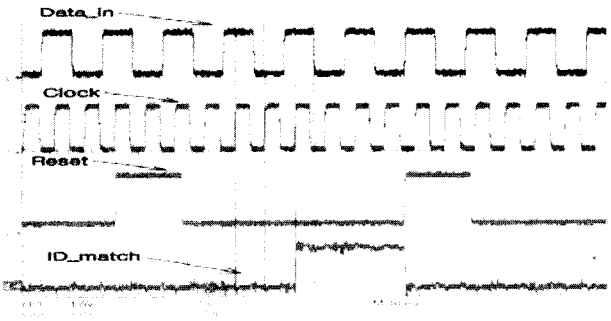


그림 10. 식별자 코드 측정 결과
Fig. 10. Measured identification code check operation.

의해 클럭발생기의 주파수가 약 100 kHz로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

그림 9에 100 mV의 크기를 가지는 900 MHz RF 입력 신호를 입력으로 한 ASK 복조기의 출력을 나타내었다. RF 입력에 따라 V_{DD}의 레벨이 바뀌지만 복조기능이 에러 없이 수행되는 것을 알 수 있다. RF 입력 전력 -15 dBm에서 복조기는 V_{DD}=0.5 V까지의 낮은 전압에도 정상적으로 동작하였으며 4 kb/s의 데이터율을 처리할 수 있었다. 이 조건에서 ASK 복조기는 0.7 nA의 매우 낮은 DC전류를 소모하였다. V_{DD} 전압을 0.8 V 까지 증가시킬 경우 200 kb/s의 데이터율의 데이터 복조가 가능하였다.

그림 10에 식별자 코드를 확인하는 데이터 디코더의 측정 결과를 나타내었다. 복조기에서 추출한 데이터가 '1-0-1' 일때 reset신호 후 ID_match 펄스가 생성되는 것을 알 수 있다.

그림 11에 외부 온도가 70°C 일 때 온도 센서의 출력 결과를 나타내었다. Reset 신호 후에 V_{ramp}가 V_{sen}보다 작은 시점까지 카운터 출력(Clk_cnt)가 동작하고, 이에 대한 8-bit 디지털 형태의 결과(Data_out)를 출력되는 것을 알 수 있다. 여기서 B2는 반복 출력되는 8-bit 데이터를 구분하기 위해 사용된다.

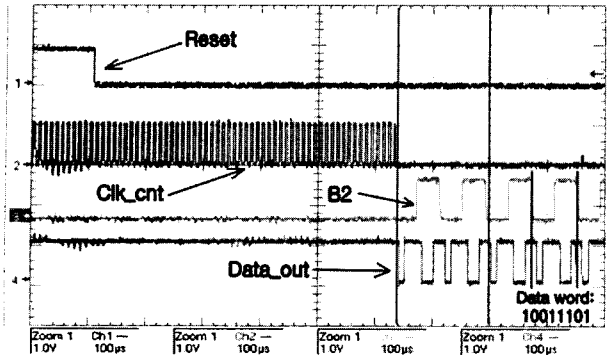


그림 11. 외부 온도가 70 °C 일 때 온도 센서의 출력 결과

Fig. 11. Measured temperature sensor output at 70 °C when driven by RF input power (900 MHz) of -6 dBm.

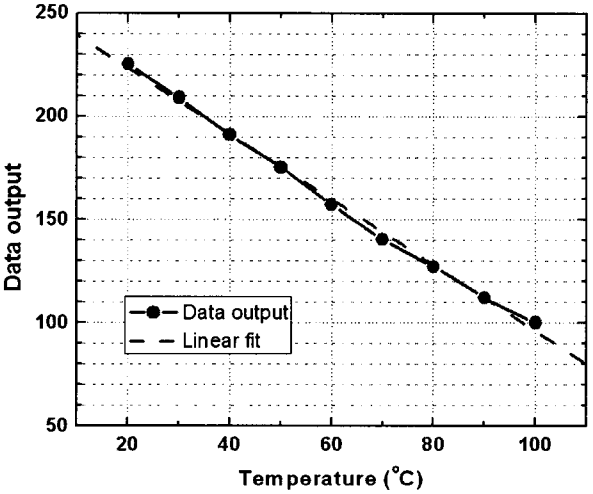


그림 12. 측정된 온도 센서의 출력 특성

Fig. 12. Measured output of the temperature sensor.

그림 12에 온도에 따른 측정된 온도 센서의 출력 특성을 나타내었다. 제작된 온도 센서는 주변 환경 온도 20°C to 100°C 사이의 온도에서 측정하였을 때 0.64°C/LSB의 해상도를 나타내었다. 온도 오차는 최대 0.5°C, 변환율은 12.5 k-samples/s을 나타내었다.

그림 13에 무선 전력 구동 특성을 확인하기 위해서 무반사실 내에서 측정 환경을 나타내었다. 30 dBm 출력을 사용하는 리더와의 거리가 약 1.2m 일 때 온도 센서 동작을 확인하였다. 태그 칩과 리더는 약 6dBi의 이득을 가지는 원형 편파 안테나를 사용하였다. 태그 칩의 전력 소모는 약 64μW이고 이 경우 Friss 전파 공식을 사용하였을 이론적인 인식거리는 1.8m 이다. 온도 센서의 인식거리가 이론치와 차이가 나는 것은 테스트 보드와 케이블의 손실 등에 기인하는 것으로 판단된다. 표 1에 제작된 온도 센스 태그 칩의 전력 소모를 회로 블록 별로 나타내었다. 설계된 센서 태그 칩의 인식거리가 낮은 이유는 그림 3의 start-up 회로의 누설전류(2 μA), 그리고 클록발생기의 비교적 높은 전류소모(45 μA) 때문인 것으로 측정되었다. 좀 더 회로를 저전력으로 최적화한다면 전체 회로의 전력소모를 5 μW이하, 6 m이상의 인식거리가 가능할 것으로 사료된다.

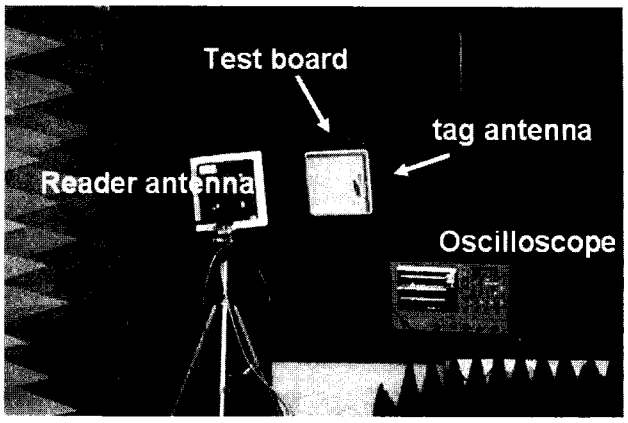


그림 13. 온도 센서의 무선 구동 측정 환경

Fig. 13. Wireless testing setup for fabricated temperature sensor tag.

표 1. 제작된 온도 센스 태그 칩의 전력 소모

Table 1. Power consumption of temperature sensor tag chip. V_{DD} = 1.2 V.

Circuit block	Power consumption (μW)
Demodulator	0.13
Data decorder	0.83
Temperature sensor	0.36
Bias generator	5.50
ADC	0.51
Clock generator	56.4
Power on reset	0.37
Voltage multiplier	0.00
Buffers	0.43
Total	64.53

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 광범위한 응용 분야를 바탕으로 많은 관심을 끌고 있는 UHF 대역 수동형 RFID 태그에 온도 센싱기능을 내장한 칩을 설계하고 특성을 측정하였다. 수동형 태그 칩의 특성상 저전력 요구 조건을 만족하기 위해 간략한 회로를 구성하면서도, 자체 전원이 없는 회로의 특성상 전원 전원이 가변하는 상황에서도 강인한 특성을 보이는 설계 방법을 적용하였다. 0.18-㎛ CMOS 공정으로 제작된 온도센서 태그 칩은

0.64°C/LSB의 해상도와 최대 0.5°C 의 온도 오차를 나타내었으며, 향후 태그 칩의 저전력 설계 및 정합회로 구성에 대한 연구를 통해 향상된 인식거리를 나타낼 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] E. H. J. Callaway, "Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols," New York: Auerbach, 2004.

[2] F. Kocer and M. P. Flynn, "An RF-powered, wireless CMOS temperature sensor," IEEE Sensors Journal, Vol. 6, No. 3, pp. 557-564, 2006.

[3] 김현식, 조정현, 김시호, "무선 전력 구동 센서 태그 내장형 온도센서의 설계," 전자공학회 논문지 제 44권 제 10호, pp. 831-836, 2007.

[4] N. Cho, S. J. Song, S. Kim, S. Kim, and H. J. Yoo, "A 5.1 μW UHF RFID tag chip integrated with sensors for wireless environmental monitoring," Proc. Eur. Solid-State Circuits Conf. (ESSCIRC), pp. 279-282, 2005.

[5] Nhan Tran, Bomson Lee, and Jong.-Wook. Lee, "Development of Long-Range UHF-band RFID Tag chip Using Schottky Diodes in Standard CMOS Technology," IEEE Radio Frequency Integrated Circuit (RFIC) Symposium, 2007, pp. 281-284.

[6] Agilent Technologies, Advanced Design System, 2004.

[7] G. Giustolisi, G. Palumbo, and F. Cultri, "A low-voltage low-power voltage reference based on subthreshold MOSFETs." IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 38, no. 1, pp. 151, 2004.

[8] J. Baker, CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, IEEE Press Series on Microelectronic Systems, Wiley Interscience.

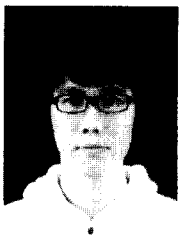
[9] C.-H. Lee and H.-J. Park, "All-CMOS temperature independent current reference," Electron. Lett., vol. 32, no. 14, 1996, pp. 1280.

[10] F. Azais, S. Bernard, Y. Betrand, X. Michel, and M. Renovell, "A low-cost adaptive ramp generator for analog BIST applications," IEEE proc. VLSI test Symp., 2001, pp. 266.

자 소 개

파함 듀이 동(학생회원)

2002년 Post and Telecommunications Institute of Technology (PTIT), Vietnam 학사
2004년~2005년 Research Institute of Posts and Telecommunications (RIPT), Vietnam
2008년 2월 경희대학교 전자정보대학 석사
2008년~현재 Institute of Microelectronics (IME), Singapore
<주관심분야 : Low power analog IC, RFID 설계>



황 상 현(학생회원)

2008년 9월~현재 경희대학교 전자정보대학 석사과정
<주관심분야 : CMOS RFIC 설계, 전력증폭기 설계>

정 진 용(정회원)

1974년 서울대학교 전기공학과 학사
1976년 KAIST 대학원 석사
1976년~1978년 Korea Semiconductor Inc 근무
1979년~1986년 California소재 National Semiconductor, Synertek, Vitelic사 메모리 설계
1987년~1991년 LG 반도체 DRAM 개발
1992년~1995년 San Jose 소재 Mosel-Vitelic사 고속 DRAM개발
1996년~2003년 하이닉스반도체 메모리 연구소 상무
2003년~현재 POSTECH 연구교수
<주관심분야 : 저전력 SRAM, 3D & System-in-Package design, nano-scale CMOS circuit design>

이 종 욱(정회원)

1993년 서울대학교 전기공학과 학사
1997년 서울대학원 전기공학과 석사
2003년 Purdue University at West Lafayette 공학박사
2004년 3월~2006년 2월 경희대학교 전자정보대학 전임강사
2006년 3월~현재 경희대학교 전자정보대학 조교수
<주관심분야 : RFID태그, RFIC설계, RF모델링>