

논문 2004-41TC-8-10

2.45 GHz 수동형 태그 RF-ID 시스템 개발

(Development of the passive tag RF-ID system at 2.45 GHz)

나 영 수*, 김 진 섭**, 강 용 철**, 변 상 기**, 나 극 환***

(Young-Soo Na, Jin-Sup Kim, Yong-Cheol Kang, Sang-Gi Byeon, and Kuk-Hwan Rha)

요 약

본 논문에서는 고속 데이터 무선인식에 적용 될 2.45 GHz 수동형 RF-ID 시스템을 개발하였다. RF-ID 시스템은 수동형 태그와 리더로 구성되어 있다. RF-ID 수동형 태그는 제로 바이어스 쇼트키 다이오드를 사용한 정류기, ID 칩, ASK 변조회로 그리고 backscatter 슬롯 안테나로 구성되어 있다. 또한, ASK 변조를 위한 스위칭 소자로서 바이폴라 트랜지스터를 이용하여 저전력 소모 변조회로를 구성하였으며 태그의 슬롯 안테나는 일반 패치 안테나보다 광대역 특성을 갖는다. RF-ID 리더는 circulator를 사용하여 단일 마이크로스트립 패치 어레이 안테나를 사용하였으며 종래의 방식에서 채택하는 double-balanced mixer 구조를 사용하지 않고 single-balanced mixer 구조를 채택함으로써 회로의 복잡성을 개선하고 전체적인 단말기 크기를 소형화 가능하도록 설계하였다. 측정결과 동작주파수는 2.4 GHz이고 출력은 27 dBm (500 mW)에서 감지거리 1 m로 나타났다. 리더에서 측정된 변조신호는 -46.76 dBm이며 주파수는 57.2 kHz이다.

Abstract

In this paper, the RF-ID system for ubiquitous tagging applications has been designed, fabricated and analysed. The RF-ID System consists of passive RF-ID Tag and Reader. The passive RF-ID tag consists of rectifier using zero-bias Schottky diode which converts RF power into DC power, ID chip, ASK modulator using bipolar transistor and slot loop antenna. We suggest an ASK modulation method using a bipolar transistor to compensate the disadvantage of the conventional PIN diode, which needs large current. Also, the slot loop antenna with wider bandwidth than that of the conventional patch antenna is suggested. The RF-ID reader consist of patch array antenna, Tx/Rx part and ASK demodulator. We have designed the RF-ID System using EM and circuit simulation tools. According to the measured results, The power level of modulation signal at 1 m from passive RF-ID Tag is -46.76 dBm and frequency of it is 57.2 kHz. The transmitting power of RF-ID reader was 500 mW

Keywords: RF-ID, 수동형 태그, ASK 변조, 슬롯 안테나, 유비쿼터스(무선인식)

I. 서 론

최근 주목을 받고 있는 유비쿼터스 환경은 기술, 비즈니스, 산업의 접목과 융합에 의한 새로운(공간) 가치와 재화의 창출을 그 특성으로 할 것이다. 즉 유비쿼터스 컴퓨팅을 기반으로 일상생활의 사물들, 어플라이언스, 상품들, 기업의 생산, 물류, 판매, 고객관리 등의 비

즈니스 프로세스를 구성하는 기기나 시스템들이 모두 지능화되고 네트워크로 연결됨으로써 매우 다양한 새로운 비즈니스를 출현시킬 것이다^[1]. 이와 관련된 기술의 필수적 요소는 전자기술이 집적된 RF-ID (Radio Frequency Identification) 태그(Tag)와 리더(Reader) 이다.

종래에는 저주파 자기상호결합 방식의 접촉식 스마트 카드가 사용되어 왔으나 여러 가지 비실용적인 문제점이 발견되어 이것을 단점을 보완하기 위하여 반영구적인 비접촉식 수동형 태그를 사용하는 RF-ID 시스템이 현재 개발되고 있다.

고주파 RF-ID 시스템은 저주파에 비해 긴 인식거리,

* 학생회원, *** 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Kwang Woon Univ. Dept. of Electronic Engineering)

** 정회원, 전자부품연구원
(Korea Electronics Technology Institute)
접수일자: 2004년6월18일, 수정완료일: 2004년7월2일

보다 많은 데이터 량, 고속이동물체 인식가능 등의 장점을 가지고 있으며 현재 UHF대역 국제 표준이 완성 단계에 이르러 국제사회에서 RF-ID 시장이 형성이 완성되고 있다.

본 논문에서는 비접촉식 마이크로파대역인 2.45 GHz에서의 수동형 RF-ID 시스템의 태그와 리더의 Front-end 부분을 설계하고 분석한다. 리더와 태그의 변조 방식에는 저전력 소모와 리더의 회로의 간소화를 위해 ASK 변조 방식을 채택하고 태그에서 ASK 변조방식을 위한 backscatter 슬롯 안테나를 제안하여 패치안테나의 크기문제와 임피던스 정합회로의 필요성, 협대역과 같은 단점을 보완하고 광대역 및 공진주파수 튜닝이 용이한 구조를 설계한다. 또한, ASK 변조를 위한 스위칭 소자로서 기존의 PIN 다이오드는 바이폴라 트랜지스터에 비해 비교적 고가이고 바이어스 전류가 크므로 수동형 RF-ID 태그에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 바이폴라 트랜지스터를 이용하여 저전력 스위칭 회로를 제작하고, 베이스 단자에 ASK 변조를 위한 맨체스터 ID 코드를 인가할 수 있도록 한다.

태그의 데이터를 인식하기 위한 리더에서는 500 mW의 출력을 갖는 MMIC 전력증폭기를 이용한 RF-ID 송신기와 하이브리드 결합기 형태의 직접변환 방식의 수신회로를 설계한다. 수신부에서는 저가격화를 위한 하이브리드 혼합기와 직접변환 방식의 문제인 DC 오프셋 현상을 없애기 위한 저역통과 특성을 갖는 연산증폭 회로를 구성하고 태그로부터의 ASK 변조된 신호를 복조하여 비교 분석한다.

II. 수동형 RF-ID 태그 설계

1. 슬롯 안테나 설계

RF-ID 태그에 적용시키는 송신용 안테나에 대한 슬롯 구조는 마이크로스트립 패치 안테나보다 넓은 대역을 갖는 특징이 있지만 전방향성을 가지고 있기 때문에 패치 안테나보다 이득이 적고 폭이 넓은 슬롯의 경우 전계가 폭 방향뿐만 아니라 길이 방향으로도 존재한다.

일반적으로 슬롯을 이용한 안테나에서 좁은 슬롯은 직접 방사용으로 쓰이지 않고 개구면 급전 안테나에서와 같이 급전용으로 쓰이는데 반하여 넓은 슬롯은 직접 방사용으로 이용된다. 넓은 슬롯의 경우 좁은 슬롯에 비해 급전선에 정합시키기가 어려워 설계가 용이하지 않는 단점이 있지만, 급전 방법과 슬롯의 변형으로 인해 대역폭을 넓힐 수 있는 장점이 있다. 그리고 패치 안

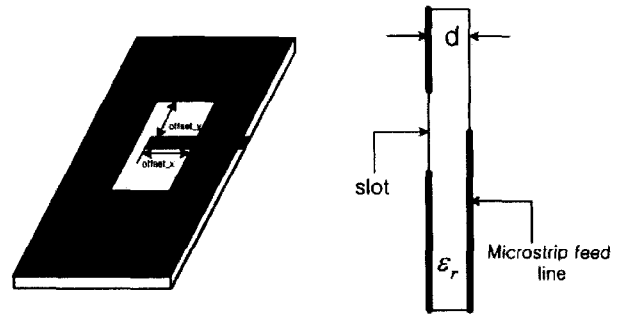


그림 1. 슬롯 안테나
Fig. 1. Slot antenna.

테나와는 달리 접지면에 슬롯이 있어 방사 패턴이 전방향성을 갖는 특징이 있으나 이득이 낮다.

그림 1은 넓은 슬롯을 갖는 가장 기본적인 슬롯 안테나로서 접지면에 $W \times L$ 의 크기를 갖는 슬롯을 두고 반대면에 특성임피던스 50Ω 의 $\lambda/8$ 전송선로로 급전시켜 안테나 임피던스 정합회로가 불필요하도록 설계하였다. 접지면에 안테나를 제작한 형태이므로 마이크로파 회로 및 디지털 회로를 같은 기판에 실장하여 소형화할 수 있고 RF-ID 무선카드용으로도 적합하다. $\epsilon_r = 4.4$, 두께 0.6 mm 의 FR-4 기판을 사용하였고 안테나는 스마트카드 크기에 실장할 수 있어 향후 스마트 카드를 대체할 수 있는 구조이다^{[2][3]}.

2. RF-ID 태그 회로 설계

그림 2는 2.45 GHz RF-ID 태그 블럭도를 나타낸다. 수신용 슬롯루프 안테나에서 수신된 RF신호는 전력검출 회로에 의해 검파되어 RF-ID 태그를 대기모드에서 구동모드로 전환 시키게 되고 저장된 고유의 ID코드는 ASK 변조회로를 거쳐 송신용 슬롯 안테나로 전송하는 구조이다. 수신 모드에서 RF 신호를 DC로 변환하는 소자로는 Agilent사의 HSMS-2850 쇼트키 다이오드를 사용하며, 외부에서 인가되는 전압이 없는 무전원 수동 방식이기 때문에 일반적으로 검파용 재료 바이어스 다이오드를 사용하였으며 리더에서 송출되는 RF신호를 검파한다. 쇼트키 다이오드가 재료 바이어스 상태인 경우에는 용량성 임피던스를 가지며, 무선카드는 단말기로부터의 변조 반송파 수신 모드에서 L형 임피던스 정합회로에 의해 임피던스 정합된다.

마이크로파 대역에서는 backscattering 스위칭 소자로서 주로 PIN 다이오드와 FET(Field Effect Transistor)를 이용하는데 PIN 다이오드의 경우는 소모전류가 크고 고가이기때문에 저가와 저전력 소모를 위한 RFID

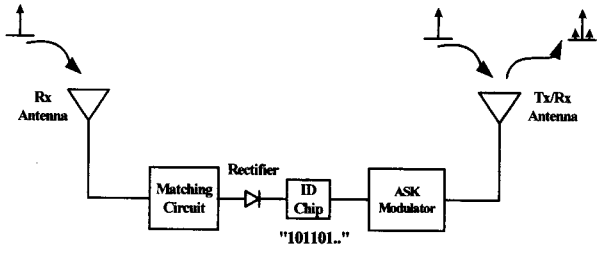


그림 2. RF-ID 태그 블럭도
Fig. 2. RF-ID Tag block diagram.

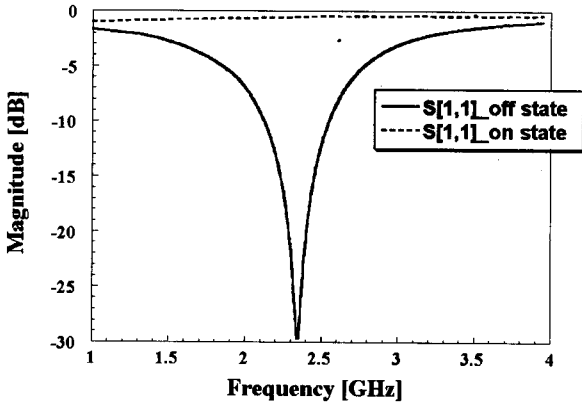


그림 3. ASK 변조회로의 임피던스 변화
Fig. 3. Impedance variation of ASK Modulation circuit.

태그용으로는 FET나 BJT가 적합하다. 따라서 본 논문에서는 2.45 GHz에서 바이폴라 트랜지스터를 이용한 스위칭 회로를 구현하였다. 그림 3은 ADS를 이용하여 Γ_{out} 에서 바라본 ASK 변조회로의 임피던스를 특성을 보여준다. 맨체스터 코드의 신호가 "1"일 때 2.45 GHz에서 거의 50Ω에 정합된 것을 보여주고, 코드 신호가 "0"일 때 S_{11} 값이 0 dB에 근접하므로 완전반사가 된 것을 보여준다^[4].

다음은 backscattering 방식을 이용하는 ASK 변조회로의 이론적 수식을 나타낸다.

$$P_{avail} = \frac{v_0^2}{8R_{antenna}} \quad (1)$$

식 (1)은 RF-ID 태그가 수신하는 전력 값이며 $R_{antenna}$ 는 태그 안테나의 임피던스의 실수 값이다^[5].

$$P_{bs} = \frac{v_0^2 R_{antenna}}{32R_{antenna}^2} (1 - \gamma_2) - (1 - \gamma_1)^2 \quad (2)$$

$$= \frac{P_{avail}}{4L_{antenna}} \gamma_1 - \gamma_2^2$$

$$P_{bs-ask} = \frac{P_{avail}}{4L_{antenna}} \quad (3)$$

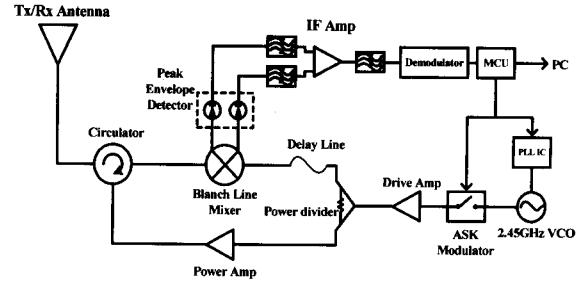


그림 4. RF-ID 리더 블럭도
Fig. 4. RF-ID Reader block diagram.

식 (2)는 태그에서 backscatter 되는 신호의 전력을 나타낸다. 여기서 ASK 방식을 사용할 때 RF-ID 칩에 의해 신호가 "on" 혹은 "off" 될 때 반사계수 값이 1과 0의 값을 가진다. 따라서 ASK 변조 방식의 태그의 backscatter된 신호의 전력은 식(3)과 같이 나타낸다.

$$P_{in} = \Gamma_1 P_{avail} \quad (4)$$

식 (4)는 RF-ID 태그가 리더로부터 수신하는 전력을 나타낸다. ASK 변조 방식에서는 Γ_1 은 0.5 정도가 되며 태그의 송신 안테나를 무손실 안테나로 가정하였을 때 수신 전력의 1/4의 정도가 backscattered 된다.

III. RF-ID 리더 설계

RF-ID시스템의 단말기는 그림 4와 같이 마이크로스트립 안테나, RF 회로부, 변복조 회로부, digital board로 구성된다. Digital board는 PC와 연결되며 운영 프로그램에 의해 RF-ID시스템을 제어하게 된다.

RF 회로부는 circulator, single-balanced mixer, hybrid coupler, power divider, power combiner, oscillator 및 변복조 회로부로 구성된다.

RF 회로부에서 circulator는 송신반송파가 수신부에 직접적으로 주입되는 것을 막고 적당한 isolation을 유지하기 위한 목적으로 사용되기 때문에 송수신 안테나를 겸용으로 사용할 경우에는 필히 요구되며, 송신안테나와 수신안테나가 별도로 있는 경우에는 제외될 수 있다. 본 논문에서 설계한 RF-ID 리더는 매우 안정된 주파수 스펙트럼이 요구되기 때문에 LO신호 발생원으로는 주파수안정도가 우수한 PLL 모듈이 사용되어야 하므로 위상잡음 및 출력특성이 우수한 PLL 모듈을 개발하여 LO신호 발생원으로 사용하였다. 이 PLL에서 발생한 국부발진(LO)신호는 wilkinson power divider에 의해 분배되어 1개의 hybrid coupler에 인가하도록 설계

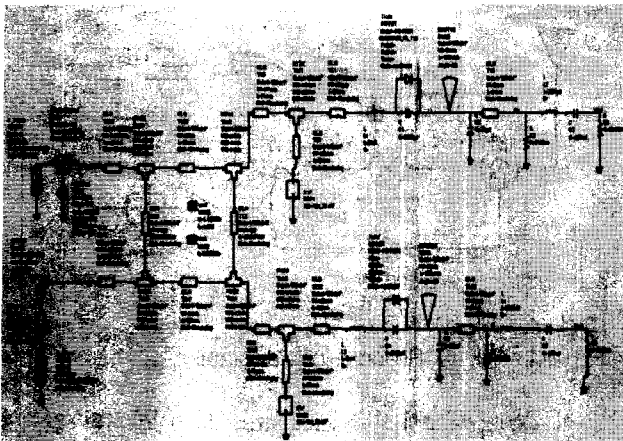


그림 5. RF-ID 리더 시스템 모의실험 회로도
 Fig. 5. Simulation schematic of RF-ID Reader System.

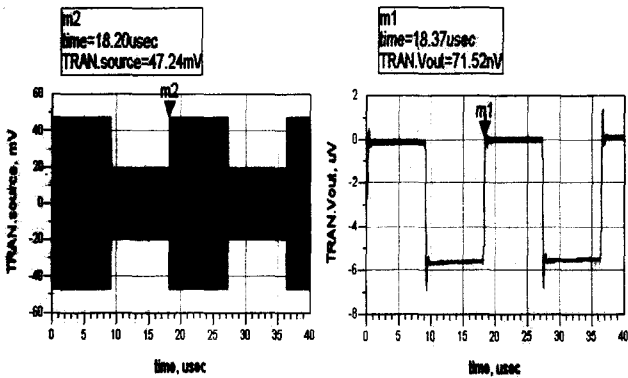


그림 6. RF-ID 리더 시스템 모의실험 결과
 Fig. 6. Simulation results of RF-ID Reader System.

하였다. 또한 단말기 안테나로부터 수신된 RF 신호와 LO 신호는 hybrid coupler와 detector로 구성된 single balanced mixer에서 신호 mixing에 의해 cancel out 개념을 위상까지 일치시켜 mixing out 시킴으로서 효율적인 IF 신호 선택이 가능하게 되었다.

Mixer 출력부의 IF 신호는 매우 미약한 신호이므로 이미지 및 잡음신호의 제거를 위하여 먼저 대역통과 필터를 거쳐 고이득의 초단 IF 증폭기를 통하여 증폭한다. 또한 고주파 성분을 제거하기 위하여 고역 차단 특성이 우수한 저역필터를 거쳐 digital part로 전송한다. 이때 복조된 데이터의 유효성을 판단하기 위한 RSSI 기능이 내장된 IF 증폭기를 사용하였고 증폭된 신호를 논리신호로 변환하기 위한 파형 정형기를 거쳐 복조 데이터가 형성되고 digital part로 전송된다.

그림 5와 6은 리더의 single-balanced mixer와 demodulator를 ADS를 이용하여 모의 실험한 것이다. Back-scatter 된 신호를 입력한 결과 그림 6과 같이 55 kHz 정형파가 출력되는 것을 확인하였다.

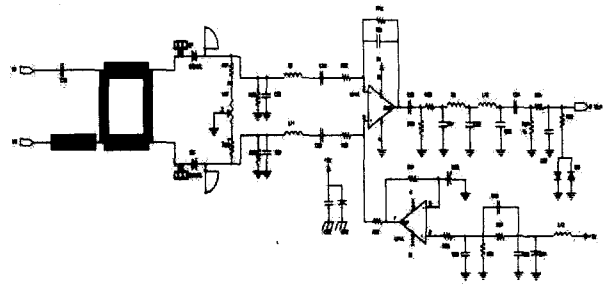


그림 7. RF-ID 리더 시스템 회로도
 Fig. 7. Schematic of RF-ID Reader System RF front-end.

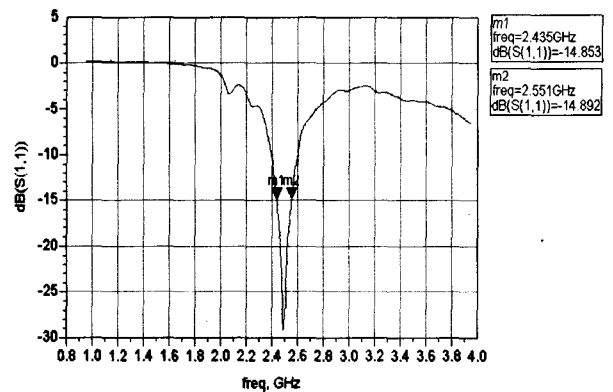


그림 8. 슬롯 안테나 측정결과
 Fig. 8. Measured result of Slot antenna.

그림 7은 RF-ID 리더의 RF front-end 최종 회로도이다.

III. 실험

RF-ID 태그에서 backscattering 슬롯 안테나는 그림 8에서 보이는 바와 같이 네트워크 분석기로 측정한 결과로서 2.45 GHz에서 반사손실은 -30.3 dB이고 대역폭은 2.43 GHz~2.55 GHz의 약 5 %로서 일반적인 패치안테나의 대역폭 2~3 %보다 광대역 특성을 보여준다.

그림 9는 2.35 GHz, 2.4 GHz, 2.45 GHz, 2.5GHz에서 슬롯 안테나의 E 필드와 H 필드 방사패턴을 보여준다. 그림 9는 모의실험과 형태는 비슷하나 이득에서 2 dBi정도 적게 측정되어 제작상의 오차로 보인다.

그림 10은 RF-ID 태그에서 송출되는 backscatter 신호를 리더에서 측정한 스펙트럼이다. Backscatter 신호는 직접 측정할 수가 없고 리더의 안테나 수신부를 통하여 관측이 가능하다. 리더에서 송출되는 캐리어 신호는 중심주파수가 2.45 GHz, 출력 전력이 27 dBm이고, 서클레이터와 안테나를 통하여 태그로 방사된다. 리더 안테나 이득은 14.57 dBi이고, 태그와 리더와의 거리가 1

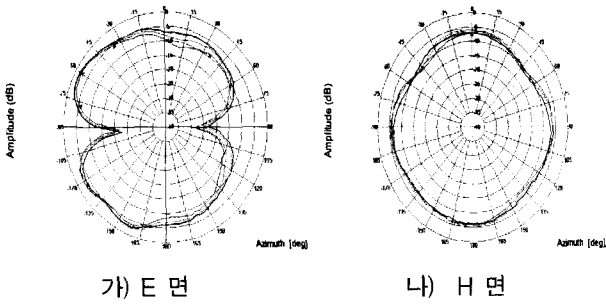


그림 9. 슬롯 안테나 방사패턴
Fig. 9. Radiation patterns of Slot antenna.

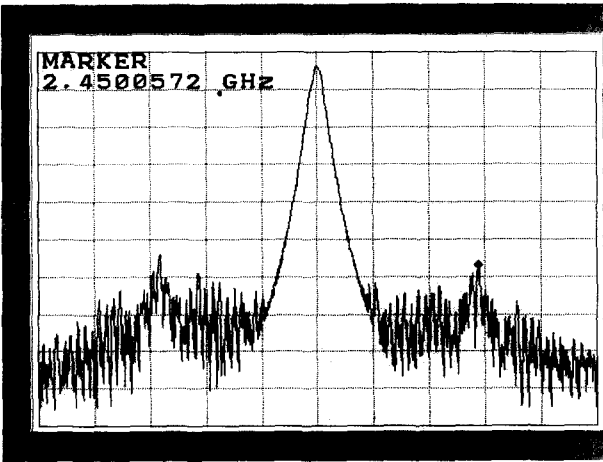


그림 10. 리더에 수신된 변조 신호의 레벨
Fig. 10. Power level of received modulation signal.

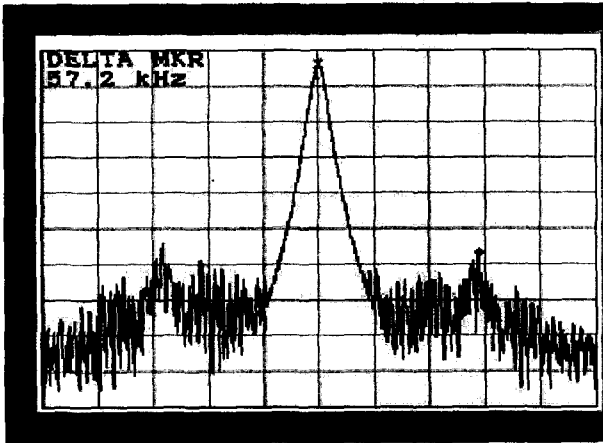


그림 11. 변조신호 주파수 특성
Fig. 11. Frequency characteristics of received modulation signal.

m인 지점에서 RF-ID 태그에서 송출된 ID 데이터는 리더의 캐리어 신호에 반송되어 리더 안테나에 수신된다. 그림 11에서와 같이 수신레벨은 -46 dBm, ASK변조 주파수는 57.2 kHz를 나타내고 있다.

중심 주파수 2.45 GHz 성분은 리더부 전력증폭기가 서클레이터를 경유할 때 발생하는 아이솔레이션에 의해 감쇄된 것으로서 8 dBm을 나타내고 있다. 서클레이터

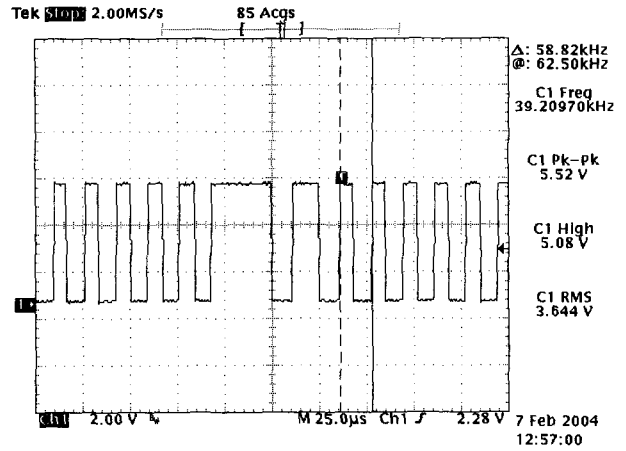
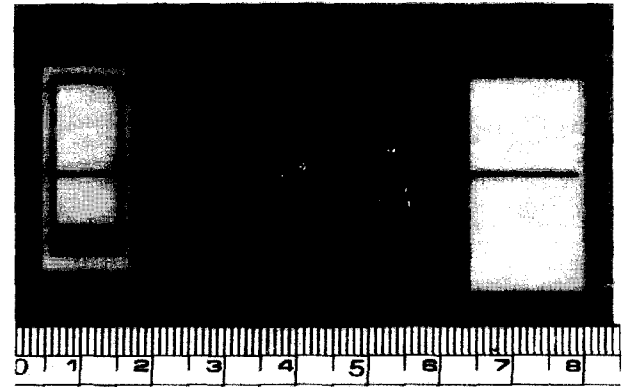
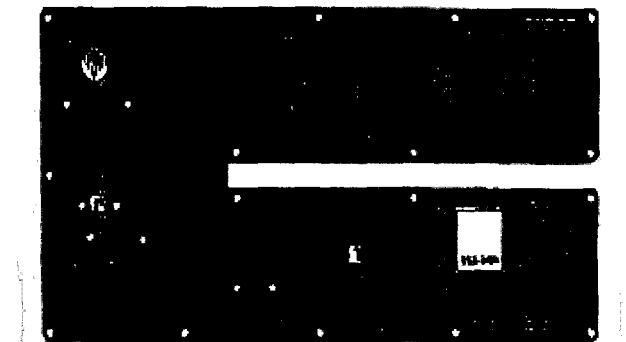


그림 12. 리더에서 복조된 신호
Fig. 12. Demodulated signal in RF-ID reader.



가) 제작된 수동형 RF-ID 태그 사진



나) 제작된 RFID 리더

그림 13. RF-ID 수동형 태그와 리더 사진
Fig. 13. Photograph of passive tag and RF-ID Reader.

의 아이솔레이션이 클 경우 2.45 GHz 성분이 낮아지므로 LNA를 통하여 증폭 할 경우 ASK변조 주파수 성분도 동시에 증폭되므로 안테나 이득을 증가시킨 것과 같은 효과가 있다. ASK변조 주파수에 대한 스펙트럼이 넓게 나타난 것을 태그의 ID 데이터가 디지털 데이터이고,

Manchester code인 연유이다.

그림 12는 태그로부터 backscatter 신호를 리더의 복조기를 거쳐 측정된 데이터이다. 태그의 ID 데이터가 정확히 detecting 되는 것을 볼 수 있다.

그림 13은 제작된 2.45 GHz 수동형 태그와 RF-ID 리더의 RF front-end의 모습이다. 제작된 태그는 일반 스마트 카드의 크기와 동일하며 RF-ID 리더는 ASK방식을 이용 회로구조를 간단하면서 최적화 시켜 크기를 10 cm×20 cm로 소형화 하였다.

IV. 결 론

RF-ID System은 최근 국제표준이 확정되면서 유통·물류뿐만 아니라 모든 기반산업에서 혁신을 일으킬 기술로 부각되고 있으며 정부에서도 체계적인 육성정책 아래 RF-ID 사업을 지원하고 있다. 특히 감지거리가 긴 UHF 대역 RF-ID 기술은 미국·일본 등지에서 저가의 tag chip 양산기술이 상용화되면서 활용이 급진전되고 있다. 이러한 기술적 흐름에 선행하여 수행된 본 논문에서는 수동형 태그를 이용한 2.45 GHz 대역 RF-ID 핵심기술을 개발하였으며 stand-alone 운용이 가능하도록 수동형 태그 및 단말기 RF-ID 기술을 개발하여 유틸리티스 환경에 적용할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 개발된 태그는 저주파 태그용으로 동시에 사용되는 ID chip에 렉테나와 변조기 및 송신안테나를 최적 설계하여 구현하였다. 태그에 채택한 태그 전원공급용 렉테나는 전방향성 슬롯 안테나를 채택하였으며 개발된 태그 안테나는 이득 2.38 dBi이며 급전선을 50Ω 1/8 전송선로로 사용하여 특별한 매칭 회로 없이 Schottky detector와의 정합하여 소형화하였고 광대역 동작 특성을 갖는 구조를 고안하였다. 무선카드의 송신부는 일반적인 방식에서 ASK 변조회로로 사용하는 PIN 다이오드 스위칭 방식을 배제하고 저전력에서 동작하는 바이폴라 RF 트랜지스터를 사용하여 backscatter modulator를 구현하여 태그 자체의 전류소모가 적게 되어 감지거리를 증대시키는 우수한 기술을 개발하였다. 이 방식은 디지털 ID 신호를 바이폴라 트랜지스터 베이스단에 인가하여 PSK 방식을 ASK 방식으로 스위칭 하는 것이다. 이로서 리더에 종래의 방식에서 채택하는 double-balanced mixer구조를 사용하지 않고 single-balanced mixer구조를 채택 할 수 있었으며 회로의 복잡성을 개선하고 전체적인 단말기 크기를 소형화 가능하도록 설계하였다.

RF-ID 리더에 circulator를 사용하여 단일 마이크로 스트립 패치 어레이 안테나를 사용하였다.

본 논문에서 연구된 태그는 두께가 0.6 mm이고 카드의 메모리 용량은 64 bit이며 RF-ID 시스템의 전송속도는 55 kbps이다. 또한 동작주파수는 2.45 GHz이고 출력은 27 dBm (500mW)에서 감지거리 1 m로 나타났다.

개발된 수동형 태그는 2.45 GHz RF-ID기술은 감지거리가 길고 전송속도가 빠르기 때문에 현재 유틸리티스 비즈니스 모델에 직접적으로 활용될 것으로 전망된다. 또한 개발된 수동형 태그 2.45 GHz RF-ID기술은 UHF 태그 chip 개발에 활용가능하고 UHF 대역 리더의 소형화에 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] 이근호 "무선식별(RFID) 기술", TTA 저널 제89호, 한국과학기술 정보연구원 2003.
- [2] W. S. Chan, W. S. Wong, "5.8 GHz Active Transponder for Electronic Road Pricing", Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp. 694-697, 1995.
- [3] Jin-Kuk Hong, "Design of a Passive RFID Transponder at 2.45 GHz", Asia-Pacific Microwave Conference, Seoul, Vol. 2, pp. 1395-1398, 2003. 11
- [4] 변상기, "RFID Tag 기술", 한국전자과학회지, 제 15권 제2호, pp. 39, 2004. 4
- [5] Udo K, "Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC With 16.7μW Minimum RF input Power" IEEE journal, Vol 38, No. 10, pp 1602-1608, 2003.
- [6] Kraus, F. "RFID Handbook", John wiley & Sons, Ltd, 2003.

저 자 소 개



나 영 수(학생회원)
2003년 광운대학교 전자공학부
학사 졸업.
2003년~현재 광운대학교
전자공학과 일반대학원
석사 과정

<주관심분야: RFID, VCO, 필터>



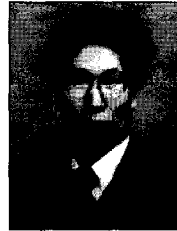
강 용 철(정회원)
1993년 LG 전자부품
선임 연구원.
1996년 삼성전기 선임 연구원.
1996년~현재 전자부품연구원
책임 연구원.

<주관심분야: RF부품, RFID, LPA, 무선통신기기>



김 진 섭(정회원)
1999년 광운대학교 전자공학과
학사 졸업.
2001년 광운대학교 전자공학과
석사 졸업.
2001년~현재 전자부품연구원
전임 연구원

<주관심분야: RF-ID system, RF 능수동부품 등>



변 상 기(정회원)
1974년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.
1978년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.
1989년 Auburn University
전자공학과 박사 졸업.

1992년~현재 전자부품연구원 수석연구원
<주관심분야: RF부품, MMIC, RFID, 무선통신기기>



나 국 환(정회원)
1973년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.
1977년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.
1987년 프랑스 ENSEEIHT
국립종합공과대학 박사졸업

1988년~현재 광운대학교 전자공학과 교수
<주관심분야: 초고주파 모듈, 위성통신 시스템>

