RFID Antenna Module with High Isolation Characteristic between Tx and Rx

박 동 훈* · 김 귀 성** · 김 형 은** · 박 혜 미** · 위 개** · 임 은 천** · 이 문 규†
(Dong-Hoon Park · Gui-Sung Kim · Hyung-Eun Kim · Hye-Mi Park · Kai Wei · Eun-Cheon Lim · Moon-Que Lee)

Abstract - In this paper, we propose an antenna module with high isolation between Tx and Rx in RFID reader module. The proposed module consists of a quadrafilar antenna and a directional coupler with a switchable dummy load to improve the directivity. The proposed module achieves the isolation higher than 20 dB between Tx and Rx. To show the validity of the proposed scheme, we have performed the measurement of tagging range and multi-tagging ability. The experiment results show that the detecting range and multi-tagging ability are enhanced by 81% and 200%, respectively.

Key Words : RFID, RFID Front-End, Tx-Rx isolation, Directional coupler, Tx leakage, Tagging range, Multi tagging

1. 서 론

RFID(radio frequency identification)시스템은 동일 주파수에서 물리적인 송신과 수신에 이루어지는 특성을 갖는다. RFID 리더 시스템의 송·수신의 분리는 두 개의 안테나를 이용하는 bi-static 구성과 하나의 안테나를 이용하여 송·수신을 겸하는 mono-static 구성으로 나눌 수 있다[1]. bi-static 구성을 사용하는 경우 송·수신의 분리가 물리적으로 이루어지기 때문에 송·수신 사이에 높은 격리도를 얻을 수 있지만, 안테나를 두 개를 이용하게 됨으로써 두 배의 면적이 필요하게 되어 구현 면적이 커지고, 회로의 복잡성이 증대되며, 가격이 높아지는 단점을 갖는다. 따라서 높은 격리도 특성을 요구하는 고정형 시스템을 제외한 RFID 시스템에서는 mono-static 구성을 사용하게 된다. mono-static 구성에서 송·수신의 분리는 방향성 결합기를 이용하여 분리한다[2]~[5]. 하지만 방향성 결합기의 이상적이지 않은 격리도 특성과 안테나의 반사특성에 의해 송신 누설전력이 수신 단으로 입력되며, 수신단으로 입력된 송신 누설전력은 수신 단 첫 번째 소자인 저잡음 증폭기를 포화시켜 수신 감도를 저하하는 원인이 된다[6]. 본 논문에서는 하나의 안테나를 이용하여 송·수신을 겸하는 mono-static 구성에서 높은 격리도 특성을 갖는 안테나 모듈의 구조를 제안하고, 설계 제작 하였다. 제작된 안테나 모듈은 하나의 안테나를 이용하

며 안테나의 사용 환경 변화에 따른 안테나 반사계수의 변화에도 높은 격리도를 가질 수 있는 장점이 있다.

2. 본 론

2.1 송신 누설 전력을 줄이기 위한 RFID 안테나 모듈의 구조

그림 1 송신 누설 전력을 줄이기 위한 전치단의 구조.

Fig. 1 Front-end scheme for the elimination of the Tx leakage power.

Mono-static 구성을 이용하는 경우 송신 누설 전력은 크게 2가지의 경로를 갖는다[7]. 첫 번째 경로는 송신 전력이 안테나의 반사에 의해 되돌아와 방향성 결합기의 결합도를 통해 수신 단으로 입력되는 경로이며, 두 번째 경로는 방향성 결합기의 이상적이지 않은 격리 특성에 의해 송신 누설 전력이 수신 단으로 입력되는 경로이다. 제안하는 안테나

* 정 회 원 : 서울시립대 전자전기컴퓨터공학부 박사과정
** 준 회 원 : 서울시립대 전자전기컴퓨터공학부 석사과정
† 교신저자, 정회원 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수

E-mail : mqlee@uos.ac.kr

접수일자 : 2010년 9월 13일

최종완료 : 2010년 12월 17일

모듈에서는 송신 누설 전력을 상쇄시키기 위해서 세 번째 경로를 이용하여 부정합 부하를 이용한 상쇄 신호를 생성하여 송신 누설 전력을 제거 할 수 있는 전치단 구조를 이용한다. 부정합 부하의 값을 수식적으로 분석하기 위해 방향성 결합기의 산란행렬을 식(1)로 쓸 수 있다[8].

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & T & I & CT \\ T & 0 & C & I \\ I & C & 0 & T \\ C & I & T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

방향성 결합기의 통과 단자 출력은 T , 결합계수는 C , 격리도는 I 이다. 또한 각 a_n 은 n 단자에서의 입사파, b_n 은 n 단자에서의 반사파를 나타낸다. 단자 2에 반사계수를 Γ_A 의 값을 갖는 안테나가 연결되고, 단자 4 반사계수 Γ 의 부정합 부하가 연결되면 식(1)은 아래와 같이 정리 된다.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$s_{11} = C^2 T + \frac{(T + CT)^2 + \Gamma_A}{1 - I^2 \Gamma_A} \quad (2a)$$

$$s_{12} = (I + CT) + \frac{(C + IT) + (T + CT)\Gamma_A}{1 - I^2 \Gamma_A} \quad (2b)$$

$$s_{21} = (I + CT) + \frac{(C + IT) + (T + CT)\Gamma_A}{1 - I^2 \Gamma_A} \quad (2c)$$

$$s_{22} = IT^2 + \frac{(C + IT)^2 \Gamma_A}{1 - I^2 \Gamma_A} \quad (2c)$$

송신단자 1에서 수신단자 4로 송신 누설전력이 완전히 상쇄되는 부정합 부하의 값 Γ 를 식(2)로부터 구하면 아래와 같은 값이 된다.

$$\Gamma = -\frac{I + IT_A C}{CT + CITC + IT_A} \quad (3)$$

따라서 부정합 부하의 값을 식(3)과 같은 값이 되도록 한다면 이론상 송신 누설전력은 완벽하게 제거할 수 있다[9].

2.1.1 부정합 부하의 설계

송신 누설 전력을 완벽히 상쇄시킬 수 있는 부정합 부하의 값은 식(3)에 의해 구해진다. 하지만 실제 사용 환경에서 안테나의 반사계수 Γ_A 의 값은 안테나 사용 환경 변화에 따라 변하는 값이 된다. 따라서 사용 환경에 따른 안테나의 부정합 변화에 의해 송신 누설 전력의 양이 변화하게 된다. 따라서 본 논문에서는 부정합 부하의 값을 가변 가능하도록 설계 하여 안테나의 사용 환경 변화에 따른 안테나 반사계수 Γ_A 의 변화에도 송신 누설전력을 줄여줄 수 있도록 가변 가능한 부정합 부하를 설계 제작 하였다. 가변 가능한 부정

합 부하의 값을 설계하기 위해서는 먼저 부정합 부하의 가변 범위를 정해야 한다. 송신 전력을 P_{TX} 라고 하면, 송신 누설 전력의 양은 그림 1의 두 경로에서 아래의 식(4), 식(5)와 같은 값으로 나타난다.

$$L_{path1} = P_{TX} IT_A C \quad (4)$$

$$L_{path2} = P_{TX} I \quad (5)$$

식(4)와 식(5)의 송신 누설 전력의 크기를 비교해 보면 격리도 특성이 좋은 방향성 결합기를 사용할 때 경로 2의 누설 전력은 방향성 결합기의 격리도 특성에 의해 작은 값이 되지만, 경로 1에서 발생하는 송신 누설 전력은 방향성 결합기의 격리도 특성에는 관계없이, 안테나의 반사계수 Γ_A 에 의해 송신 누설전력이 변하는 값이 되는 것을 알 수 있다[7]. 따라서 설계할 방향성 결합기 모듈의 송신 누설 전력의 크기는 Γ_A 에 가장 큰 영향을 받으므로 부정합 부하의 값을 안테나의 반사 값이 갖는 범위 안에서 구현 하면 안테나의 반사 값이 변하는 범위 안에서 송신 누설 전력이 최소가 되는 부정합 부하를 구현 할 수 있다.

그림 2 SP4T를 이용한 부정합 부하의 구성도.

Fig. 2 The implementation of the controllable mismatch load using a SP4T switch.

그림 2는 SP4T(Single Pole Four Throw)를 사용하여 구현한 가변 가능한 부정합 부하의 구성도이다. SP4T는 4개의 스위치를 이용하기 때문에 부하의 값을 $2^4(=16)$ 개를 구현할 수 있다. 스위치 입력단의 값은 스위치가 모두 off된 상태에의 부정합 부하의 값이 되어야 한다. 스위치 입력단의 인덕터(L)와 저항(R)의 값은 부정합 부하의 값 중 실수값이 가장 크고, 허수 값이 +에서 가장 클 때의 값으로 정한다. 4개의 스위치 경로에 병렬로 연결된 저항(R_1, R_2)은 부정합 부하의 실수 성분의 크기를 줄여주며, 커패시터(C_1, C_2)는 허수성분의 값을 줄여주거나 음의 성분으로 만들어 줄 수 있도록 정하면 스위치 조합에 따라 16개의 부정합 부하의 값을 만들 수 있다. 그림 3(a)는 안테나의 반사계수가 약 12dB 일 때, 부정합 부하의 값이 12dB 근처에서 16개의 값을 갖도록 구성하였을 때 부정합 부하의 값을 스미스 차트를 이용하여 본 결과이며, 그림 3(b)는 부정합 부하의 값을 어드미턴스로 표시한 결과이다.

그림 3(a) SP4T를 이용한 부정합 부하의 스미스 차트 값.
Fig. 3(a) Implemented mismatch load on the Smith chart.

그림 3(b) SP4T를 이용한 부정합 부하의 어드미턴스 값.
Fig. 3(b) Implemented mismatch load on the admittance plot.

2.1.2 안테나 모듈의 송수신 격리 특성 모의 실험

제안한 안테나 모듈의 송·수신격리 특성을 모의실험 하기 위해 중심 주파수 917MHz에서 10dB의 결합도를 갖는 이상적인 방향성 결합기와 그림 3의 부정합 부하의 값을 이용하여 송·수신 격리 특성을 모의실험 하였다. 모의실험에 안테나 부정합을 반영하기 위해 12dB의 반사 손실을 갖는 RFID용 안테나의 측정결과를 모의실험에 이용하였다.

그림 4 송·수신 격리 특성 모의 실험 결과.
Fig. 4 Simulation result of the isolation characteristic between Tx and Rx.

모의실험결과 스위치 변화에 따라 16개로 부정합 부하의 값이 바뀌면, 안테나 모듈의 송·수신 격리 특성도 서로 다른 16개의 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 부정합 부하를 50Ω으로 하였을 때와 비교해 보면 송·수신 격리 특성이 30dB 이상 개선되는 부정합 부하의 값이 존재 하는 것을 모의실험을 통해 확인할 수 있었다.

2.2 제작 및 측정

그림 5(a) 제작된 안테나 모듈의 블록 다이어그램.
Fig. 5(a) Block diagram of the designed antenna module.

그림 5(b) 제작된 안테나 모듈의 사진.
Fig. 5(b) Photograph of the designed antenna module.

그림 5는 제안하는 안테나 모듈의 블록 다이어그램과 제작된 사진이다. 안테나 모듈의 제작을 위해 액테나社의 RFID용 QHA(Quadrifilar Helix Antenna) 안테나인 AQUA_6010을 이용하였으며, 방향성 결합기는 RN2社의 10dB 방향성 결합기인 RCP890Q10을 사용하였고, SP4T는 MACOM社의 MASW-007813을 사용하였다. 제작에 사용한 안테나인 AQUA920H_6010은 안테나의 반사손실이 약 40dB 정도로 매우 우수한 특성을 가지고 있기 때문에 부정합 부

하를 설계할 때, 모의실험과는 달리 스미스 차트의 반사계수 20dB의 원을 이용하여 반사값이 작은 변화값을 갖도록 설계 하였다.

그림 6(a) 제작된 안테나 모듈의 부정합 부하값 측정 결과
Fig. 6(a) Measurement result of the fabricated mismatch load of antenna module.

그림 6(b) 제작된 모듈의 송·수신 격리 특성 측정 결과.
Fig. 6(b) Measurement result of Tx-Rx isolation characteristics of fabricated antenna module.

제작된 안테나 모듈은 RFID 리더 시스템의 전치단을 포함하고 있기 때문에 송신단과 수신단이 분리되어 있는 RFID리더를 이용하여 수신 성능 향상을 측정해 볼 수 있다. 실험을 위해 송신과 수신단에 별도의 전치단이 없는 RFID 리더를 PHYCHIPS社의 PR9000 리더칩을 이용하여 제작하였다. 그림 7의 제작된 리더의 송신 최대 출력은 약 27.5dBm, 수신단의 반사 특성은 약 -20dB로 측정 되었다.

그림 7(a) 제작된 리더 모듈의 사진.
Fig. 7(a) Photograph of the fabricated reader module.

그림 7(b) 제작된 리더 모듈의 송신 출력 특성.
Fig. 7(b) Tx output characteristic of the fabricated reader module.

그림 7(c) 제작된 리더 모듈의 수신 반사 특성.
Fig. 7(c) Rx return characteristic of the fabricated reader module.

제한한 송·수신 격리 특성이 개선된 RFID 안테나 모듈을 이용할 때, RFID 리더의 수신 성능 개선을 측정하기 위해 두 가지의 실험을 진행 하였다. 첫 번째는 그림 8(a)와 같이 RFID 태그 1개를 이용하여 태그의 최대 인식 거리를 측정하는 방법으로 리더의 수신감도 향상이 태그 인식거리 향상으로 나타나는 방법이며, 두 번째는 그림 8(b)와 같이 여러 개의 태그를 동시에 읽을 때, 한 번에 읽을 수 있는 태그의 개수가 늘어나는 것으로 수신 성능이 향상됨을 알 수 있는 실험이다. 실험 환경은 그림 9와 같다.

그림 8(a) 태그 인식 거리 측정 환경 구성도.
Fig. 8(a) Test setup for measurement of tagging range.

그림 8(b) 다중 태그 인식 측정 환경 구성도.
Fig. 8(b) Test setup for measurement of multi tagging ability.

그림 9 측정 환경 사진.

Fig. 9 Photograph of measurement setup.

태그 인식거리 향상의 측정에는 UHF대역 RFID용으로 판매되고 있는 18개의 상용 태그를 이용하였다. 측정 환경이 실내 복도로서 좁은 공간이기 때문에 정확한 인식거리 측정은 어려웠지만, 제안한 안테나 모듈을 이용하는 경우에 부정합 부하를 50Ω을 이용하는 경우 보다 태그 인식거리가 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

표 1 태그 인식 거리 측정 결과.

Table 1 Measurement result of tagging range.

태그 P/N	태그 인식 거리 [meter]		태그 P/N	태그 인식 거리 [meter]	
	50Ω	제작된 회로		50Ω	제작된 회로
ALN-9662	0.28	0.71	AD-641	0.30	0.70
ALN-9640	0.32	0.76	AD-805	0.80	0.14
ALN-9629	0.14	0.15	AD-814	0.70	0.16
ALN-9634	0.50	0.55	AD-815	0.55	0.70
ALN-9654	0.53	0.82	AD-824	0.32	0.75
AD-223	0.49	0.87	AD-826	0.68	0.80
AD-224	0.30	0.70	AD-840	0.72	0.85
AD-230	0.26	0.82	AD-843	0.44	0.78
AD-240	0.69	0.87	3001210	0.54	0.71

두 번째로 다중 태그 인식특성은 태그 인식률이 좋은 상용 태그 중 ALIEN社의 ALN-9640을 이용하였다. A4용지에 태그 41개를 붙이고, 거리를 고정시킨 후에, 같은 거리에서 제안한 안테나 모듈을 이용할 때와, 부정합 부하 대신 50Ω 부하를 이용하는 경우에 태그 인식의 수를 비교하였다. 측정결과 표 2와 같이 제안한 안테나 모듈을 이용하는 경우에 다중 태그 인식 수가 크게 늘어나는 것을 확인할 수 있었다.

표 2 다중 태그 인식 측정 결과.

Table 2 Measurement result of multi tagging ability.

인식거리 [meter]	인식 태그의 수 [개]	
	50Ω	제작된 회로
0.20	1	14
0.30	2	4
0.40	0	3
0.50	0	1

3. 결 론

본 논문에서는 송신 누설 전력을 줄이기 위해 송·수신 격리 특성을 향상한 안테나 모듈을 제안하고 설계, 제작하였다. 제작된 안테나 모듈의 측정 결과 송신 누설 전력이 약 20dB 이상 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 제안한 안테나 모듈을 이용할 때의 RFID 리더의 수신 성능이 향상 것을 검증하기 위해 송신단자와 수신단자가 분리되어 있는 RFID 리더 모듈을 제작 하였으며, 제작된 RFID 리더모듈을 이용하여 태그 인식 거리와 다중 태그 인식 특성을 실험 하였다. 실험 결과 태그 인식 거리특성은 사용된 태그의 종류에 따라 차이가 있었지만, 제안한 안테나 모듈을 이용하는 경우 태그 인식거리가 향상되는 특성을 확인할 수 있었고, 다중 태그 인식 특성 역시 측정된 거리에 따라 차이가 있었지만, 제안한 안테나 모듈을 이용하는 경우에 태그 인식수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 제안한 안테나 시스템은 RFID의 수신 성능 개선 및 태그 인식 거리 향상을 위해 많이 이용될 것으로 기대 된다.

감사의 글

이 논문은 서울시 특허기술과제(PA090935)의 지원을 받음.

참 고 문 헌

- [1] Daniel M. Dobkin, The RF in RFID : passive UHF RFID in practice, Newnes, 2007.
- [2] K. Penttil, L. Sydneimo, and M. Kivikoski, "Implementation of Tx/Rx isolation in an RFID reader," Int. J. Radio Freq. Identification Technol. Appl, Vol. 1, No. 1, pp.74-79, 2006.
- [3] Won-Gyu Lim, Seo-Young Park, Wang-Ik Son, Moon-Que Lee, and Jong-Won Yu, "RFID Reader Front-End Having Robust Tx Leakage Canceller for Load Variation," IEEE Trans. Microwave theory and Techniques, Vol. 57, No. 5, pp.1348-1355, May 2009.
- [4] Won-Gyu Lim, and Jong-Won Yu, "Balanced Circulator Structure with Enhanced Isolation Characteristics," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 50, No. 9, pp.2389-2391, September 2008.
- [5] Hyeong-Seok Jang, Won-Gyu Lim, and Jong-Won

Yu, "UHF RFID Reader Front-end Having Wideband and Stable Tx/Rx Isolation Characteristic," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 52, No. 11, pp.2467-2473, November 2010.

- [6] Behazad Razavi, RF Microelectronics, Prentice-Hall, 1998.
- [7] Moon-Que Lee, "Lumped directional coupler with a varactor tuned reflector for RFID applications," IEICE Electronics Express, Vol.6, No.2, pp.129-134, January 2009.
- [8] David M. Pozar, Microwave Engineering, Jhon Wiley and Sons. Inc 3rd Edition, 2005.
- [9] 나원, 이문규, "UHF 대역 RFID를 위한 우수한 신호분리 특성을 가진, 송수신 분리 방향성 결합기", 제2회 RFID/USN 연구논문 공모 수상작, pp.1-5, 2006.

저 자 소 개

박 동 훈 (朴 東 勳)

2006년 2월: 경원대학교 전자공학과 공학사, 2007년 12월: 인터그린트테크놀로지스(주) 연구원, 2010년 8월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 공학석사, 2010년 9월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야>

- 마이크로파 회로 및 부품 설계
- 마이크로파시스템, UHF 대역 RFID

김 귀 성 (金 貴 誠)

2009년 2월: 안양대학교 정보통신공학과 공학사, 2009년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

<관심분야>

- RF/Microwave 회로설계

김 형 은 (金 亨 垠)

2009년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 공학사, 2009년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

<관심분야>

- 마이크로파 회로 및 부품 설계
- LTCC 부품 개발

박 혜 미 (朴 惠 美)

2010년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

<관심분야>

- RFID 회로설계
- RF/Microwave 회로 및 시스템

위 개 (魏 愷)

2007년 12월: 중국 전자과학기술대학교 (UESTC), School of electronic engineering 공학사, 2010년 3월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

<관심분야>

- RF/Microwave circuit and system

임 은 천 (林 銀 天)

2007년 2월: 순천대학교 컴퓨터학과 학사, 2009년 2월: 순천대학교 대학원 정보통신공학부 멀티미디어공학과 공학석사, 2008년 4월~2009년 10월: 은천출판 운영, 2010년 9월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

<관심분야>

- RF/Microwave CMOS IC
- 마이크로파시스템
- 소프트웨어 엔지니어링

이 문 규 (李 文 揆)

1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사, 1994년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 1999년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 공학박사, 2002년 2월: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원, 2002년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수

<관심분야>

- RFIC
- MMDS용 초저가 발진기 개발
- UHF대역 RFID 및 안테나 모듈