

UHF 대역 RFID를 위한 송수신 분리 방향성 결합기 설계

Design of Directional Coupler for TX/RX Isolation in UHF Band RFID Application

나 원* 김 완 규** 유 종 원** 이 문 규***
(Won Na) (Wan-Kyu Kim) (Jong-Won Yu) (Moon-Que Lee)

요 약

본 논문에서는 UHF 대역 RFID에서 송신과 수신신호의 격리도를 개선한 새로운 구조의 방향성 결합기 모듈을 설계 제작하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 방향성 결합기자체가 갖는 격리도와 안테나의 부정합으로 인한 TX의 반사를 모두 제거할 수 있는 구조이다. 제안한 방법을 검증하기 위하여 분포소자 및 집중소자로 방향성 결합기를 설계 및 제작하였다. 또한 바랙터 다이오드를 통한 가변회로를 설계하여 안테나의 부정합을 보상할 수 있도록 설계하였다. 제작한 회로의 특성은 모두 910MHz 중심주파수에서 45dB이상의 격리 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, new directional couplers for T/R switch of UHF RFID applications are proposed to overcome TX-to-RX leakage problem. The proposed method can remove TX-to-RX leakage caused by both imperfect isolation characteristic of the conventional directional coupler and the mismatch of antenna impedance. Two directional couplers are implemented using distributed elements and lumped elements respectively for the verification. The varactor tuneable circuits for compensation of the antenna mismatch is also proposed. The measurement result shows excellent TX-to-RX leakage suppression, more than 45dB in 910MHz.

Key words : UHF RFID, circulator, directional coupler, Tx-Rx leakage

본 연구는 산업기술평가원에서 수행한 지하공동 탐지용 분석시스템 개발(GPR RF 모듈 개발, 과제번호 10023090-2007-23) 과제의 지원을 받았음.

* 주저자 : 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부 석사과정

** 공저자 : 한국과학기술원

*** 공저자 : 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부 부교수

† 논문접수일 : 2008년 3월 6일

1. 서론

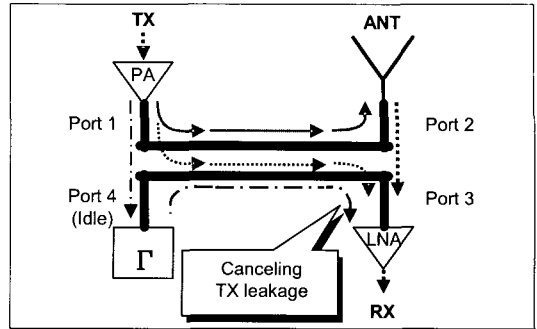
일반 통신 송/수신 시스템에 비해 수동형 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템이 갖는 가장 중요한 특징 중 하나는 반 듀플렉싱 방식이라고 하더라도 동일한 주파수를 사용하여 리더에서 태그로의 전력 공급과 동시에 수신이 이루어진다는 점이다. 이때 RFID의 인식거리를 제한하는 주된 요인 중의 하나는 수동 태그를 사용하는 경우 리더의 송신 전력이 리더의 수신기에 결합으로 인한 수신기의 포화와 기저대역에서의 LO 위상잡음의 영향을 생각해 볼 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 방법이 제시되었다. 먼저 가장 기본적으로 두 개의 안테나를 사용하는 방법이 있다. 참고문헌 [1]을 살펴보면 2개의 패치 안테나를 사용하는 경우에 대한 모의실험 결과와 안테나의 위치에 따른 영향이 기술되어있다. 그 외에 로컬 발진기의 출력을 위상천이기와 가변이득 증폭기 등을 사용하여 누설전력 상쇄회로를 부착하는 방법 또한 제시되었으나, 위의 방법들은 추가회로를 부착하여야 하기 때문에 약점이 있다[2].

다음으로 방향성 결합기나 순환기를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이 경우 결합기의 격리도가 충분히 보장되어야 한다. 특히 수동 RFID의 경우에는 인식거리의 제한 요인은 잡음 지수 보다는 저 잡음 증폭기(LNA, low noise amplifier)의 포화가 주된 요인으로 이를 극복하기 위해서는 격리도가 매우 높은 방향성 결합기가 요구된다. 이를 위하여 본 논문에서는 신호반사 부하를 부착한 새로운 방향성 결합기 구조를 제시하였으며, 이를 집중소자와 분포소자를 사용하여 구현하였다.

II. 제안한 방법의 분석

송수신 분리 방향성 결합기를 설계하기 위하여 본 논문에서 제안한 방법은 신호반사 단자의 반사파를 이용하여 상쇄 신호를 만들어 내는 방법이다.

리더기의 송수신 결합 부를 <그림 1>과 같이 도시하면, 안테나 부정합과 이상적이지 못한 방향성



<그림 1> 방향성 결합기를 송수신 분리회로로 사용할 때의 누설전력의 경로
 <Fig. 1> Leakage signal path in the directional coupler used as transmitter/receiver isolator

결합기의 격리도로 인하여 점선과 같은 누설전력의 경로가 생겨난다. 이를 1점 쇄선으로 표시된 반사파를 생성하여 제거하는 방법이다. 즉 제안한 방법은 실제 유효 격리도를 제한하는 두 요인을 적절한 값의 신호반사 부하를 부착해줌으로서 모두 제거하게 된다.

제안된 신호반사 부하의 값을 구하기 위하여 이를 수식적으로 풀어보면 다음과 같다. 먼저 일반적인 방향성 결합기의 S-행렬을 살펴보면 다음과 같이 나타내어진다.

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

이때 T, I, C 값은 각각 방향성 결합기의 Through, Isolation, Coupled S-Parameter 값을 나타내며 각각 a_n 은 n 단자에서의 입사 전압을, b_n 은 반사 전압을 나타낸다. <그림 1>의 단자 4에 부착된 신호반사 부하의 값을 대입하여 S-파라미터 행렬을 재구성하면 다음과 같다. 구하고자 하는 신호반사 부하의 값에 대해서 $a_4 = \Gamma b_4$ 의 값을 대입한다. 다음으로 안테나의 부정합에 따른 반사계수의 값을 Γ_A 라 하면 단자 2에서의 입력 $a_2 = \Gamma_A b_2$ 가 된다. 위의 경계조건을 수식 (1)의 행렬에 대입하면,

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^2\Gamma + \frac{(T+CT)^2\Gamma_A}{1-\beta^2\Gamma_A} & (I+CTT) + \frac{(C+\beta T)(T+CT)\Gamma_A}{1-\beta^2\Gamma_A} \\ \frac{(I+CTT) + \frac{(C+\beta T)(T+CT)\Gamma_A}{1-\beta^2\Gamma_A}}{1-\beta^2\Gamma_A} & \frac{(T+CT)^2\Gamma_A}{1-\beta^2\Gamma_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

최종적으로 요구되는 신호반사 부하의 값은 행렬(2)의 S₃₁값 즉 TX-to-RX 누설전력을 0로 만들어야 하므로 요구되는 신호반사 부하의 값은 안테나의 반사계수와 방향성 결합기의 S-파라미터의 값으로 나타내어진다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

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

수식 (2)를 살펴보면, TX단인 단자 1의 정합특성에 관한 값 또한 나오게 된다. 안테나의 반사손실은 일반적으로 15dB 정도 이므로 두 번째 항을 무시하면 결과적으로 TX단의 반사계수는 $\Gamma_{TX} = C^2\Gamma$ 가 된다. 즉 결합계수가 15dB 정도이면 신호반사부하에 의한 영향은 거의 없다. 다음으로 RX 단을 살펴보면 근사적으로 $\Gamma_{RX} = CTT$ 이 되어 정합특성이 약간 틀어지게 된다. 그러나 이는 LNA의 잡음 혹은 전력 정합에서 보정 될 수 있는 사항이라 생각된다.

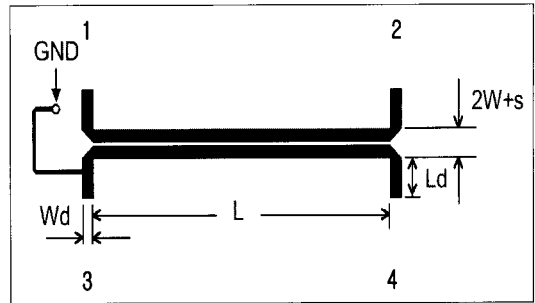
III. 제안한 방법의 구현

1. 분포소자를 사용한 구현

1) 설계

위에서 격리 도를 향상시키기 위한 방법으로 신호반사 부하를 부착하는 방법을 제시하였다. 또한 신호반사 부하의 값은 수식 (3)에 의해 정해지며, 계산 시 요구되는 S-parameter의 값은 컴퓨터 모의 실험을 통해 쉽게 구할 수 있다.

제안한 방법을 구현하기 위하여 본 논문에서는 먼저 <그림 2>와 같이 결합된 마이크로스트립 라인을 이용한 방향성 결합기를 타코너 사의 TLX-9 기판에 설계하

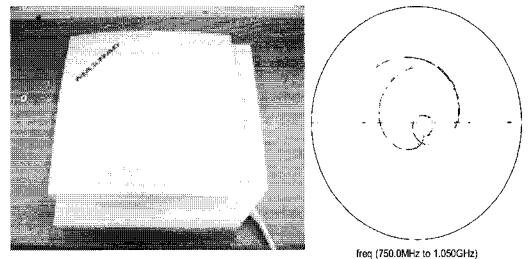


<그림 2> 구현된 방향성 결합기의 레이아웃
<Fig. 2> Layout of the implemented directional coupler

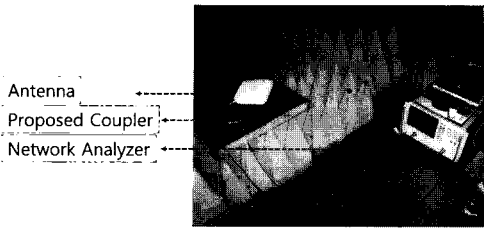
고, 병렬 스테브를 통하여 신호반사 부하를 구성하였다. <그림 2>의 레이아웃에서 L=57.7mm, Wd=2.25mm, Ld=6mm, W=2.1mm, s=0.45mm 이며, 3번 단자의 신호반사 부하는 0.7mm 50-Ohm 라인과 22.5mm 100-Ohm 병렬 스테브를 사용하여 구현하였다[3].

2) 실험 결과

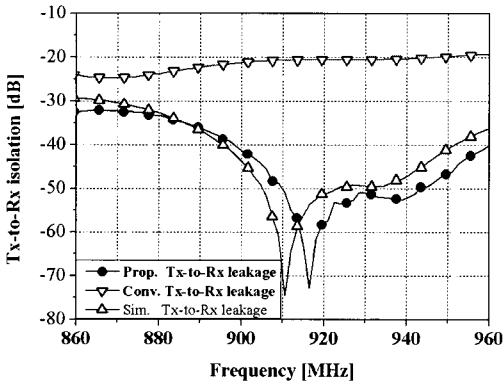
제안한 방향성 결합기와 기존의 방향성 결합기의 S-Parameter를 측정하였다. 이때 단자 2의 안테나는 MAXRAD사의 MP9026CPR 안테나를 사용하여 유효 격리 도를 측정하였다. <그림 3>은 안테나의 임피던스 측정결과를 나타내며 <그림 4>는 안테나를 단자 2에 부착한 방향성 결합기의 측정 사진을 보여준다. 이를 2단자 네트워크 분석기를 사용하여 TX-to-RX 격리 도를 측정하였으며, 측정은 무반향실에서 수행하였다. 안테나는 중심주파수에서 15 dB 정도 반사손실을 갖는다. <그림 5>에 격리도 측정결과를 그래프로 나타내었다.



<그림 3> 실험에 사용된 안테나와 입력 임피던스
<Fig. 3> Adopted antenna and its input impedance



<그림 4> 측정 환경
<Fig. 4> Test configuration



<그림 5> 제안된 방향성 결합기의 격리도 측정결과
<Fig. 5> Measured isolation characteristic of the proposed directional coupler

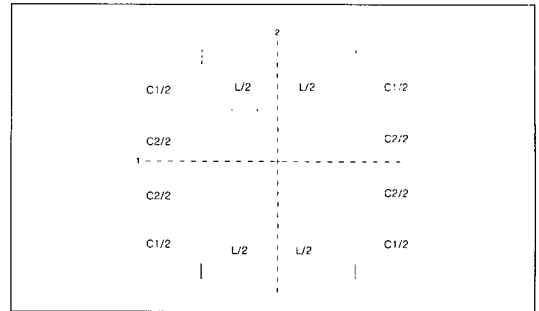
측정결과를 살펴보면 TX-RX 누설전력이 기존 구조에 비해 크게 제거되었음을 살펴볼 수 있다. 기존의 구조가 중심 주파수 근처에서 20dB의 격리도를 보이는 반면, 제안된 구조는 50dB 정도의 격리 특성을 갖는다. 특히 915MHz에서 70dB의 격리 특성을 보이는데 이는 기존의 구조에서 50dB가량이 개선된 특성을 보이는 것이다.

2. 집중소자를 사용한 구현

1) 설계

집중소자를 사용한 방향성 결합기 구조는 기존에 많은 연구가 되어 왔으며[4] 여기서는 그중 간단한 구조인 <그림 6>의 구조를 사용하였다.

<그림 6>의 구조에서 C_1 , C_2 와 L 의 값은 대칭면을 이용한 우 모드와 기 모드 분석을 통하여 정해지며, 이를 수식으로 풀어내면 다음과 같다. 먼저 대칭면 1, 2에 대하여 우 모드분석을 하기위해 같은



<그림 6> 집중소자를 사용한 방향성 결합기
<Fig. 6> Lumped directional coupler

전압을 가한 경우 C_2 의 커패시터 끝이 개방이 되며, 이때 보이는 입력 임피던스는 일반적인 결합 선로 방향성 결합기의 등가회로와 같아야 하므로

$$C_2 = \frac{\tan \frac{\theta}{2}}{\omega Z_{oe}} \quad (4)$$

이때 Z_{oe} 는 일반적인 15dB 결합 선로 방향성 결합기의 우 모드 특성 임피던스이며 59.85Ohm이다. 또한 θ 는 45° 이므로 C_2 는 2.92pF이 나오게 된다.

C_1 또한 마찬가지로의 방법으로 구하면,

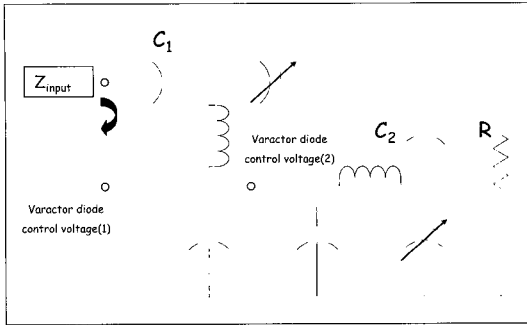
$$C_1 = \frac{\tan \frac{\theta}{2}}{2\omega} (Y_{oo} - Y_{oe}) \quad (5)$$

이며, 약 0.63pF가 된다.

다음으로 L 값의 경우에는 S_{11} 이 0임을 만족하는 조건과 결합계수의 값이 15dB를 만족하는 조건을 연립방정식으로 풀어 계산하였다. 계산된 값은 약 8.65nH이며, 위의 값들을 사용한 모의 실험결과 결합계수의 값이 15.0dB로 계산되었다.

그러나 대량생산되는 집중소자 R, L, C에는 위와 같은 값들이 없으므로 충분한 TX-RX 격리도를 보장하지 못한다. 더욱이 안테나의 부정합을 고려하면 유효 격리도는 더욱 낮아지게 된다. 그래서 본 논문에서는 제안된 방법을 사용하여 격리도를 향상시킨 방향성 결합기를 설계 및 제작하였다.

또한, 안테나의 임피던스가 주변 환경에 민감하게 변화하기 때문에 이를 보상해주기 위한 회로를 설계하였다. <그림 7>은 두 개의 바레터 다이오드



<그림 7> 조정 가능한 신호반사 부하의 회로도
 <Fig. 7> Impedance tuner at the signal reflection port

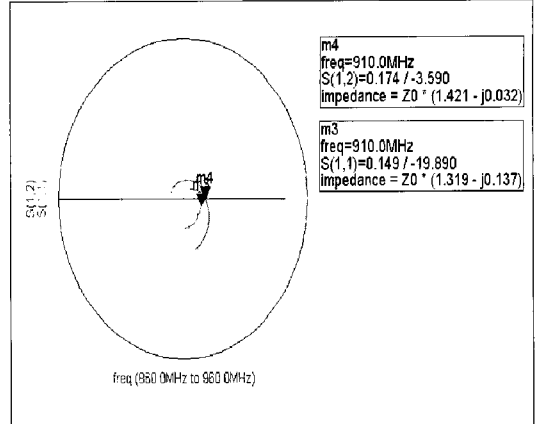
를 사용한 가변 부하의 모습이다. 이때 C₁이 C₂에 비해 매우 크면 입력 임피던스는 다음과 같이 정해진다.

$$Z_{input} = \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)R + \frac{1}{j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} \quad (6)$$

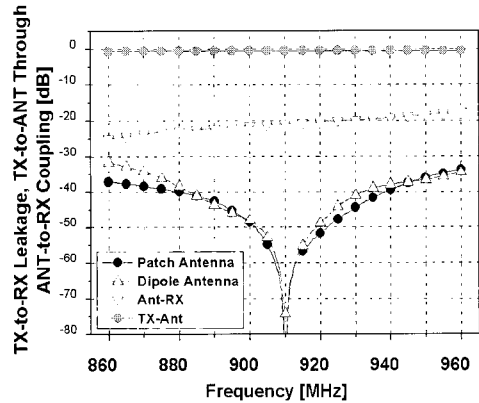
2) 제작 및 실험결과

설계한 회로를 FR-4 0.8T 기판에 무라타 사의 칩 커패시터 및 인덕터를 사용하여 구현하였다. 또한 바랙터 다이오드는 1SV285 다이오드를 사용하였다. 특히 패치안테나와 다이폴 안테나의 두 가지 안테나에 대하여 실험을 함으로서 제안된 회로가 안테나의 임피던스를 보상할 수 있음을 검증하였다. 다음 <그림 8>은 두 안테나의 임피던스를 나타내며 <그림 9>는 각각의 안테나에 대한 TX-to-RX 누설전력 및 S₁₁, TX-to-Ant인 Through를 측정된 결과이다.

측정결과를 살펴보면 제안된 방향성 결합기는 각기 다른 안테나의 임피던스를 보정할 수 있음을 TX-to-RX 격리도 측정결과를 통해 알 수 있다. 이때 안테나의 반사계수는 일반적으로 RFID 시스템에서 많이 쓰이는 안테나들을 기준으로 하였다. 특히 격리도가 910MHz에서 70dB이상의 특성을 보였다. 바랙터 다이오드의 조정전압은 파워 서플라이를 이용하여 직접 조정하였으나 실제로는 리더의 결합부에 Calibration 과정을 첨가함으로써 디지털적으로 제어가 가능하리라 생각된다.



<그림 8> 두 개 안테나의 임피던스 측정결과
 <Fig. 8> Measured S-parameters of adopted antennas



<그림 9> 실험에 사용된 안테나에 대한 S-parameter 측정 결과

<Fig. 9> Measured S-parameters of directional coupler (Patch antenna, dipole Antenna)

IV. 결 론

본 논문에서 수동 RFID 응용에서 리더의 CW 전력파의 손실을 최소화하기 위한 방향성 결합기를 분포소자 타입과 집중소자 타입으로 설계 제작하여 그 유용성을 보였다. 일반적인 방향성 결합기보다 높은 50~70dB의 격리 특성을 통해 T/R 스위치로서의 기능을 충분히 할 수 있도록 설계 되었다.

참고문헌

- [1] K. Penttila, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Implementation of Tx/Rx isolation in an RFID reader," *Int. J. Radio Frequency Identification Technology and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 74-89, July 2006.
- [2] J. Y. Lee, J. H. Choi, K. H. Lee, B. K. Kim, M. S. Jeong, Y. H. Cho, H. Y. Yoo, K. G. Yang, S. Y. Kim, S. M. Moon, J. Y. Lee, S. K. Park, W. C. Kong, J. Kim, T. J. Lee, B. E. Kim, and B. K. Ko, "A UHF mobile RFID reader IC with self-leakage canceller," *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symp. Dig.*, pp. 273-276, June 2007.
- [3] W. K. Kim, M. Q. Lee, J. H. Kim, H. S. Lim, J. W. Yu, B. J. Jang, and J. S. Park, "A passive circulator with high isolation using a directional coupler for RFID," *MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1177-1180, June 2006.
- [4] W. S. Tung and Y. C. Chiang, "Wide-band lumped-element directional coupler with an arbitrary coupling coefficient," *IEE Proc.-Microwaves, Antennas, and Propagation*, vol. 151, no. 4, pp. 303-306, Aug. 2004.

저자소개



나 원 (Na, Won)

2006년 8월 : 서울시립대학교 물리학과 (이학사)

2006년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학석사)



김 완 규 (Kim, Wan-Kyu)

2005년 2월 : 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학사)

2007년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)



유 중 원 (Yu, Jong-Won)

1992년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)

1994년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1998년 7월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

2000년 3월 : 삼성전자 (선임연구원)

2001년 9월 : Head of Hardware Team in IMT2000 division, Wide Telecom, Korea

2004년 1월 : Telson, USA. (책임연구원)

2004.2 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (부교수)



이 문 규 (Lee, Moon-Que)

1992년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)

1994년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

2002년 2월 : 한국전자통신연구원 (선임연구원)

2002.3 ~ 현재 : 서울시립대학교 공과대학 전자전기 컴퓨터공학부 (부교수)