

UHF 대역 RFID를 위한 송수신 분리 방향성 결합기 설계

Design of Directional Coupler Isolating TX from RX in RFID at UHF band

나 원

임채호

이문규

(서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부)

Key Words : RFID, TX to RX leakage power, Lumped element directional coupler

목 차

I. 서론	2. Mismatched 회로의 구조 및 설계
II. 제안된 구조의 분석	IV. 실험 및 측정결과
1. 부정합 구조를 이용한 방향성 결합기	1. Network analyser를 사용한 격리특성 측정
2. 안테나 미스매치를 고려한 부정합 부하	2. 실제 RFID 송신기를 사용한 격리특성 측정
III. 집중소자를 사용한 제안된 구조의 설계	V. 결론
1. 집중소자를 사용한 방향성 결합기 구조	참고문헌

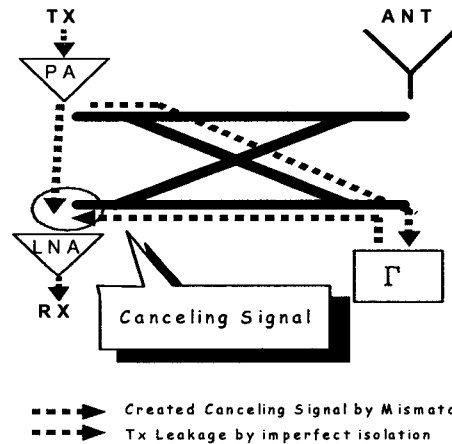
I. 서론

다른 송/수신 시스템에 비해 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템이 갖는 가장 중요한 특징 중 하나는 동일한 주파수를 사용하여 송신과 수신 신호 전송이 동시에 이루어진다는 점이다. 이때 RFID의 인식거리를 제한하는 주된 요인 중의 하나는 수동 태그를 사용하는 경우 리더의 송신 전력이 리더의 수신기에 결합되어 수신기가 포화되어 성능의 저하가 발생하는 요인이 매우 크다. 송신 전력이 수신부로의 결합의 경로는 방향성 결합기(혹은 순환기)의 이상적이지 못한 격리 특성과 안테나의 부정합이 요인이다. 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 집중소자를 사용한 방향성 결합기 구조를 제시하였고, 이를 안테나 부정합을 보상할 수 있도록 설계하였다.

II. 제안된 구조의 분석

1. 부정합 부하를 이용한 방향성 결합기

송수신 분리 방향성 결합기를 설계하기 위한 첫 번째 제안은 부정합 단자의 반사파를 이용하여 상쇄 신호를 만들어 내는 방법이다. 안테나가 정합된 상태라고 가정하면 누설전력은 그림 1과 같은 경로로 흐르게 되며, 이를 붉은 점선으로 표시된 반사파로 제거하는 방법이다.



<그림 1> Mismatch에 의한 상쇄신호 발생원리

부정합 부하를 수식적으로 분석하기 위하여 먼저 일반적인 방향성 결합기의 S-행렬을 살펴보면 다음과 같다.

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

이때 T, I, C 값은 각각 through, isolation, coupled 단자에서의 S-Parameter 값을 나타내며 각각 a_n 은 n단자에서의 입사파를, b_n 은 반사파를 나타낸다. 그림 1의 부정합 부하의 값을 포함하여 S-행렬을 재구성하면 다음과 같다.

즉, $a_4 = \Gamma b_4$ 의 조건을 위의 행렬에 대입하면,

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^2\Gamma & T + C\Gamma I & I + C\Gamma T \\ T + C\Gamma I & I^2\Gamma & C + T\Gamma I \\ I + C\Gamma T & C + T\Gamma I & T^2\Gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

와 같은 형태로 수식을 재구성할 수 있다. 이때 입력이 1번 단자에 가해지고 출력이 3번 단자로 나오는 항을 0으로 만들므로서 격리 특성을 향상 시킬 수 있다. 그 결과는 다음과 같다.

$$I + C\Gamma T = 0$$

$$\Gamma = -\frac{I}{TC} \quad (3)$$

2. 안테나 부정합을 고려한 부정합 부하

실제 안테나는 위에서 가정한 것과는 달리 임피던스 부정합이 생길 수 있으므로 우수한 격리 특성을 위해서는 이를 감안한 설계가 필수적이다. 실제 설계 시 안테나가 정합되지 않았을 경우에는 정합된 경우와 그 격리 특성이 많은 차이를 보였다. 이를 살펴보기 위하여 안테나 임피던스에 의해 생성되는 반사파를 $a_2 = \Gamma_A b_2$ 와 같이 표현하고 S-행렬을 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^2\Gamma + \frac{(T+CTD)^2\Gamma_A}{1-\Gamma^2\Gamma_A} & (1+CT\Gamma) + \frac{(C+TD)(T+CTD)\Gamma_A}{1-\Gamma^2\Gamma_A} \\ (1+CT\Gamma) + \frac{(C+TD)(T+CTD)\Gamma_A}{1-\Gamma^2\Gamma_A} & T\Gamma^2 + \frac{(C+TD)^2\Gamma_A}{1-\Gamma^2\Gamma_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

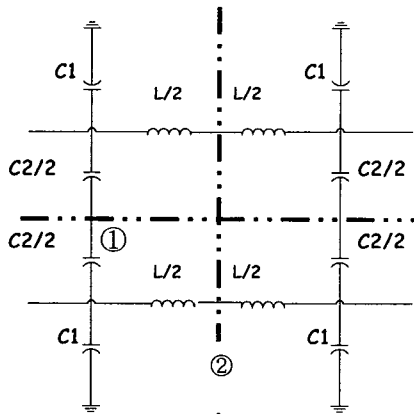
위와 마찬가지로 부정합 부하를 구해내면 다음과 같다.

$$\Gamma = \frac{H + T\Gamma_A C}{CT + C\Gamma_A C + T\Gamma_A T} \quad (5)$$

III. 집중소자를 사용한 제안된 구조의 설계

1. 집중소자를 사용한 방향성 결합기 구조

집중소자를 사용한 방향성 결합기 구조는 기존에 많은 연구가 되어 왔으며 본 논문에서는 그중 간단한 구조인 그림 2의 구조를 사용하였다.



<그림 2> 집중소자 방향성 결합기 구조

그림 2의 구조에서 C1, C2와 L의 값은 대칭면을 이용한 우

모드 및 기 모드 분석을 통하여 정해지며, 이를 수식으로 풀어내면 다음과 같다. 먼저 대칭면 1,2 에 대하여 우 모드 분석을 하기위해 같은 전압을 가한 경우 C2의 커패시터 끝이 개방이 되며, 이때 보이는 입력 임피던스는 일반적인 방향성 결합기의 등가회로와 같아야 하므로

$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega C_2} \quad (6)$$

과 같이 나타내어진다. 또한 이 임피던스는 일반적인 마이크로 스트립 방향성 결합기의 2단자 등가회로의 임피던스와 같아야 하므로 위 두식을 등가적으로 놓으면,

$$C_2 = \frac{\tan \frac{\theta}{2}}{\omega Z_{oe}} \quad (7)$$

로 C2 값이 주어진다. 이때 Z_{oe}는 일반적인 15dB 마이크로 스트립 방향성 결합기의 우 모드 특성 임피던스이며 59.85Ω 이므로 이를 사용하면 C2는 약 2.7 pF 이 나오게 된다.

C1 또한 마찬가지로 방법으로 구하면,

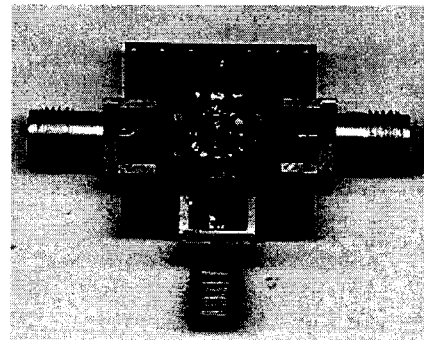
$$C_1 = \frac{\tan \frac{\theta}{2}}{2\omega} (Y_{oo} - Y_{oe}) \quad (8)$$

수식을 이용하여 계산하면, 약 0.6pF가 된다.

다음으로 L값의 경우에는 수치해석을 통한 최적화를 통하여 계산할 수 있으며, 그 값은 약 8.7nH 이다.

2. Mismatched 회로의 구조 및 설계

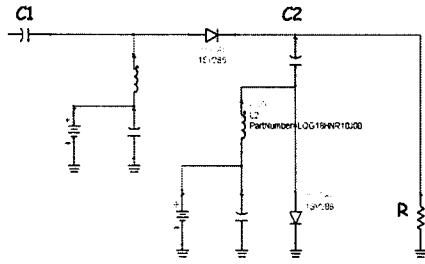
먼저 제안된 구조 1 에서는 간단한 저항 및 커패시터를 사용한 부정합 로드를 부착하였다.



<그림 3> 제안된 방향성 결합기 - 1

전체 크기는 20mm × 20 mm 이며 실제 방향성 결합기를 구성하는 크기는 6mm × 10 mm 이다.

다음으로 제안된 구조 2는 그림4 과 같은 바랙터 다이오드를 사용하여 부정합 로드의 값을 조정가능 할 수 있도록 제작하였다.

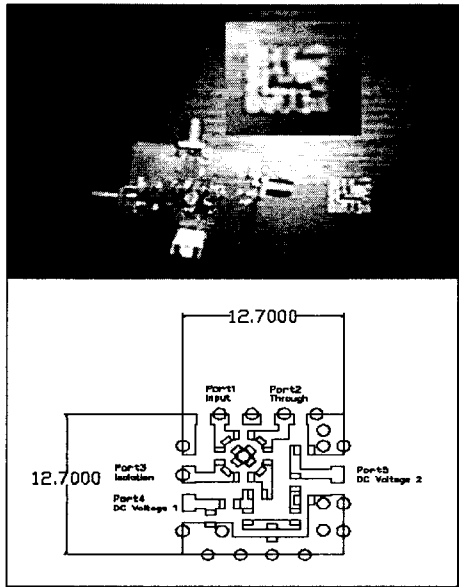


<그림 4> 조정가능한 부정합 부하

이때 입력 임피던스의 식은 C1이 C2보다 매우 크면 다음과 같은 근사식으로 표현된다.

$$Z_{in} = (1 + \frac{C2}{C1})R + \frac{1}{j\omega(\frac{C1C2}{C1+C2})} \quad (9)$$

위 식에서 부정합 부하의 값을 구현하는 저항 및 커패시턴스의 값을 구할 수 있다. 이를 통하여 실제 방향성 결합기를 시뮬레이션 및 제작하였다

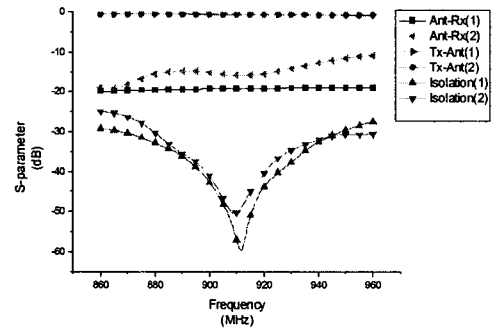
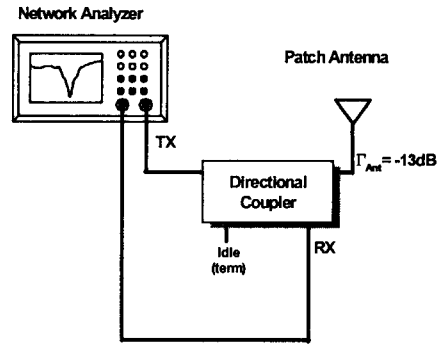


<그림 5> 제안된 방향성 결합기 -II

IV. 실험 및 측정 결과

1. Network analyzer를 사용한 격리 특성 측정

먼저 격리 특성을 측정하기 위하여 그림 6 과 같이 구성하였다. 실험에 사용한 안테나는 patch 안테나이다. 실제 안테나는 중심 주파수에서 약 -13dB 정도의 반사계수가 측정되었으며, 이를 고려한 방향성 결합기의 설계가 앞에서 설명된 바와 같이 진행되었다.

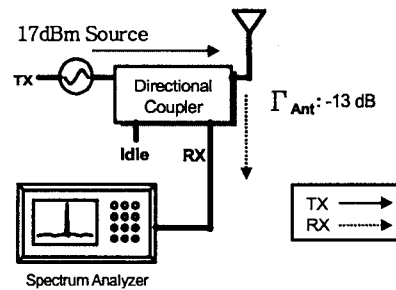


<그림 6> 네트워크 분석기 실험 구조 및 결과

격리 특성이 중심주파수 근처에서 -50dB 근처로 상당히 높음을 관측할 수 있다.

2. 실제 RFID 송신기를 사용한 격리 특성 측정

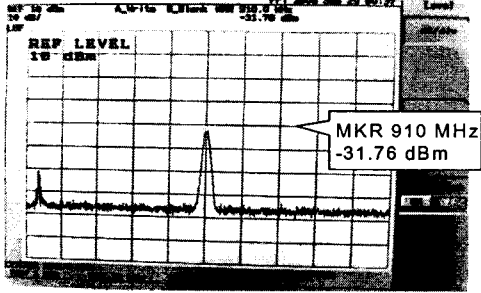
두 번째로 그림 7 과 같이 실제 RFID 리더기에 직접 기기를 부착하여 그 격리 특성을 측정하였다.



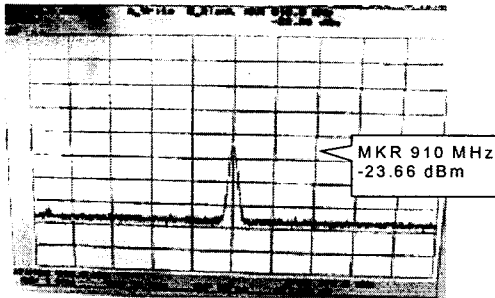
<그림 7> 스펙트럼 분석기 실험 구조

V. 결론

본 논문에서 제안된 송수신 분리 결합기는 상대적으로 작은 크기를 갖도록 제작할 수 있었으며, 이는 이동성이 중시되는 RFID 리더기의 부품으로서 적합한 특성을 갖고 있음을 보여준다. 또한 일반적인 방향성 결합기보다 높은 격리 특성을 통해 T/R 스위치로서의 기능을 충분히 할 수 있도록 설계 되었다.



<그림 8> 방향성 결합기 -I 실험 결과



<그림 9> 방향성 결합기 -II 실험 결과

참고문헌

1. D. M. Pozar, Microwave engineering, 2-nd edition, Wiley, 1998.
2. 김완규, 이문규 외 4명, "A Passive Circulator with High Isolation using a Directional Coupler for RFID, 2006 International Microwave Symposium.