

Lambda/8 선로를 이용한 하이브리드 방향성 결합기의 설계

백현, 최진규, 김군태, 최혁재, 김형석
 중앙대학교 전자전기공학부

Design of hybrid ring directional coupler using lambda/8 section

Hyun Paek, Jin-Kyu Choi, Koon-Tae Kim, Hyuk-Jae Choi, So-Hyun Kwon, Hyeong-seok Kim
 School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang University

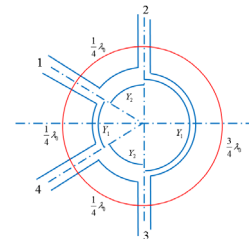
Abstract - RFID system had used same frequency for transmit and receive signal. RFID recognize range is restrict, because of receive and transmit signal coupled each other. That cause directional coupler is not ideal isolation characteristic and antenna mismatching. So we proposed lambda/8 section directional coupler and design high isolation to use RFID.

내는 산란행렬 [S]를 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{13} \\ S_{13} & S_{23} & S_{22} & S_{12} \\ S_{14} & S_{13} & S_{12} & S_{11} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1. 서론

다른 송/수신 시스템에 비해 RFID(Radio Frequency Indetification)시스템이 갖는 가장 중요한 특징 중 하나는 동일한 주파수를 사용하여 송신과 수신 신호 전송이 동시에 이루어 진다는 것이다. 이때 RFID의 인식거리를 제한하는 주된 요인중의 하나는 수동 태그를 사용하는 경우 리더의 송신 전력이 리더의 수신기에 결합되어 성능의 저하가 발생하는 요인이 매우 크다. 송신전력이 수신부로의 결합의 경로는 방향성 결합기(혹은 순환기)의 이상적이지 못한 격리특성과 안테나의 부정합이 요인이다. 수동 RFID의 경우에는 인식거리의 제한 요인은 잡음 지수보다는 저잡음 증폭기(LNA, Low noise amplifier)의 포화가 주된 요인으로 이를 극복하기 위해서는 격리도가 매우 높은 방향성 결합기가 요구된다. 이를 위하여 본 과제에서는 $8/\lambda$ 링 결합기를 제안하고 이를 이용하여 다른 형태의 방향성 결합기를 제시하였고, 설계하였다.

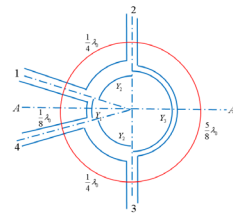


<그림 1> 기존의 $\lambda/4$ 하이브리드 링 결합기

그러나 그림 1의 방향성 결합기는 대칭성으로 보아 대칭축을 가로지르는 $3\lambda/4$ 구간을 Y_1 이 아닌 Y_3 로 대체하여 설계의 자유도를 높이고, 또 대칭축을 가로지르는 2구간의 길이를 $\lambda/8$ 가 기본이 되는 선로로 대체하면 원주상의 링의 전체 길이는 1.25λ 가 되며, 여기서는 그림 2에 나타내는 바와 같이 원주상 링의 길이가 1.25λ 인 방향성 결합기의 설계법에 관하여 검토한다.

2. 본론

하이브리드 링 방향성 결합기는 일찍이 마이크로파 회로에 사용되는 가장 기본적인 소자의 하나로서, 이들은 모두 1축 대칭성을 가지며, 출력 포트간의 아이솔레이션이 취해지고, 입력 포트의 정합이 얻어지므로 안테나용 비임형성 회로등에 있어서 전력분배소자, 마이크로파 집적회로용 믹서 회로소자 등에 사용되고 있다. 특히 종래의 T또는 Y분기 전력분배기와는 달리, 방향성 결합기는 복사소자간의 상호 결합을 최소화하기 위하여 전력 분배기의 출력포트간의 아이솔레이션이 중요한 RFID시스템에 유용하다.



<그림 2> 제안된 1.25λ 하이브리드 링 커플러

하이브리드 링 방향성 결합기의 설계법에 관해서는, 종래의 rat race라고 불리는 3dB 하이브리드 링 방향성 결합기의 경우 전 원주상의 규격화된 특성 임피던스가 $\sqrt{2}$ 로 알려져 있으며, 이후 가상 포트의 개념을 도입한 개량된 하이브리드 링 방향성 결합기의 CAD에 의한 광대역 설계법을 개발하였으며, 임의의 결합도의 하이브리드 링 결합기가 설계된 바 있다.

상기한 브랜치라인, 결합선로형 결합기나 래트레이스, 하이브리드 링 결합기는 공통적으로 $\lambda/4$ 파장의 선로를 기본으로 하고 있는 것이 특징이며, 또한 거의 모든 마이크로파 소자가 $\lambda/4$ 파장 선로를 이용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 $\lambda/4$ 파장 선로가 아닌 즉 $\lambda/8$ 파장 선로를 이용한 1.25λ 3dB 하이브리드 링 방향성 결합기의 설계법을 제안하고 설계한 결합기의 결합도, 격리도의 주파수 특성을 해석한다.[1][2]

2.1.2. 1.25λ -링의 설계법

포트1(또는 포트4)를 입력으로 하면 설계 중심 주파수에서의 고유 반사계수 Γ_e 및 Γ_o , 고유 투과계수 T_e 및 T_o 는 각각 식(3)~(6)과 같다.

$$\Gamma_e = \frac{2\sqrt{2} Y_1 + j(1 - Y_2^2 - Y_1^2)}{2Y_1 + j(1 + Y_2^2 + Y_1^2)} \quad (3)$$

$$\Gamma_o = \frac{-2\sqrt{2} Y_1 + j(1 - Y_2^2 - Y_1^2)}{2Y_1 + j(1 + Y_2^2 + Y_1^2)} \quad (4)$$

$$T_e = \frac{2Y_2}{2Y_1 + j(1 + Y_2^2 + Y_1^2)} \quad (5)$$

$$T_o = \frac{2Y_2}{2Y_1 + j(1 + Y_2^2 + Y_1^2)} \quad (6)$$

따라서, 산란행렬의 각 요소는 식(7)~(10)과 같이 계산된다.

$$S_{11} = (1/2)(\Gamma_e + \Gamma_o) = \frac{j(1 - Y_1^2 - Y_2^2)}{2Y_1 + j(1 + Y_1^2 + Y_2^2)} \quad (7)$$

2.1.1 $\lambda/8$ 선로를 이용한 하이브리드 링 방향성 결합기의 주파수 응답 특성의 해석 및 설계법

$\lambda/4$ 선로를 기본으로 하는 종래의 하이브리드 링 방향성 결합기는 그림 1에 나타내는 바와 같다.[3][4]

4개 포트의 특성 어드미턴스를 1로 규격화된 원주상의 각 구간의 특성 어드미턴스는 각각 Y_1, Y_2 가 되며, 이때 어느 포트에서 입력하더라도 각 입력 포트에서 정합이 되기 위한 조건은 식 (1)과 같이 된다.

$$Y_1^2 + Y_2^2 = 1 \quad (1)$$

일반적으로 그림 1과 같은 1축 대칭 가역 회로는 입.출력 특성을 나타

$$S_{41} = (1/2)(\Gamma_e - \Gamma_o) = \frac{2\sqrt{2} Y_1}{2Y_1 + j(1 + Y_1^2 + Y_1^2)} \quad (8)$$

$$S_{21} = (1/2)(T_e + T_o) = \frac{2Y_2}{2Y_1 + j(1 + Y_2^2 + Y_1^2)} \quad (9)$$

$$S_{31} = (1/2)(T_e - T_o) = 0 \quad (10)$$

여기서 그림 2에 나타낸 1.25λ링 회로가 방향성 결합기로 동작하기 위한 조건을 구한다. 우선 $S_{42} = S_{31} = 0$ 로 완전 아이솔레이션의 조건을 만족시키고 있으므로, 완전 정합의 조건은 $S_{11} = S_{22} = 0$ 을 만족시키는 것이다. 즉,

$$Y_1^2 + Y_2^2 = 1 \quad (11)$$

또, 등분배(3dB Coupling)의 조건은 식(3)~(10)에서 $|S_{21}| = |S_{41}|$ 및 $|S_{12}| = |S_{32}|$ 이므로

$$Y_2 = \sqrt{2} Y_1 \quad (12)$$

이다.

식 (11), (12)으로부터 Y_1 및, Y_2 의 값을 구하여 $Y_1 = 1/\sqrt{3}$, $Y_2 = \sqrt{2}/\sqrt{3}$ 이 되도록 그림 2의 회로를 구성하면 3dB 방향성 결합기로 동작하며, Y_1 과 Y_2 의 비를 바꾸면 분배율(coupling)을 조절할 수 있음을 알 수 있다.

이때, 포트 1(또는 포트 4)을 입력 포트로 하면 출력 신호간의 위상은

$$\angle S_{21} - \angle S_{42} = \angle S_{34} - \angle S_{14} = 0^\circ \quad (13)$$

이므로 동상(in-phase)이고, 포트 2(또는 포트3)를 입력으로 하면

$$\angle S_{12} - \angle S_{42} = \angle S_{43} - \angle S_{23} = 180^\circ \quad (14)$$

이므로 역상(out-of-phase)이 된다.

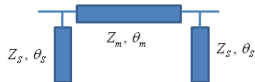
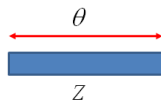
이 식을 이용하여 링상의 각 구간의 특성 어드미턴스 및 섹션의 길이를 설계하면 다음 표1과 같다.

<표 1> 설계된 1.25λ 링 하이브리드 결합기

section	Y_1	Y_2	Y_3
normalized admittance	$1/\sqrt{3}$	$\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$
length of each section	$\lambda/8$	$\lambda/4$	$5\lambda/8$

2.2.3 병렬 오픈 스텝의 적용

임의의 길이 θ 와 임피던스 Z 를 가지는 트랜스미션 라인을 그림 3과 같이 병렬로 연결된 오픈 스텝을 활용하여 길이를 작게 만들 수 있다. 트랜스미션라인의 ABCD파라미터와 오픈스텝으로 연결된 ABCD파라미터를 구하면 다음 식 (15), (16)과 같이 구할 수 있다.[5]



<그림 3> 병렬로 연결된 오픈스텝

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ\sin\theta \\ jY\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jY_s \tan\theta_s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_m & jZ_m \sin\theta_m \\ jY_m \sin\theta_m & \cos\theta_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jY_s \tan\theta_s & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

식 (16)에서의 θ_m 과 θ_s 는 각각 병렬연결된 마이크로스트립형태의 메인라인의 길이와, 스텝의 길이이다. 이 두 식 (15), (16)을 같다고 두고 계산한다면 임의의 길이 θ_m 과 θ_s 를 이용하여, Z_m 과 Z_s 를 계산할 수 있다. 다음 식 (17), (18)은 Z_m 과 Z_s 를 계산한 식이다.

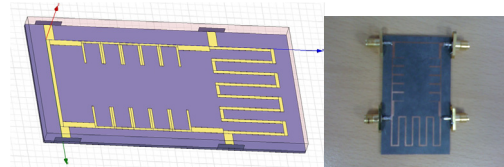
$$Z_m = \frac{Z\sin\theta}{\sin\theta_m} \quad (17)$$

$$Z_s = \frac{Z\sin\theta\tan\theta_s}{\cos\theta_m - \cos\theta} \quad (18)$$

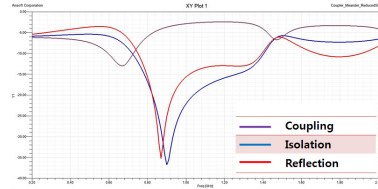
위의 식 (18), (19)을 이용하여 적절한 길이를 선택한다면 전체적인 크기를 줄일수 있다. 하지만 지나치게 길이를 줄이게 될 경우, 임피던스는 높아지고 따라서 마이크로스트립으로 구현하기 힘들다. 이것을 유의한다면 전체적인 크기를 줄일 수 있다.

2.2.4 커플러의 설계

위의 방법을 이용하여 0.912GHz 커플러를 구현하였다. 그림 4와 5는 완성된 커플러의 모델과 결과이다.



<그림 4> 설계된 0.912GHz 커플러



<그림 5> 설계된 커플러의 결과

제안된 커플러와 본래의 링형 커플러의 넓이를 표 2에 나타내었다.

표 2. 설계된 커플러의 면적

	넓이
1.25λ 링 커플러	6763mm ²
제안된 커플러	2758mm ²

표 2에서 볼 수 있듯이 제안된 형식으로 본래 링 커플러에서 약 59%를 줄인 결과를 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 종래의 λ/4선로를 이용한 마이크로파 소자의 설계법에 서 과감히 탈피하여 λ/8선로를 기본으로 한 1.25λ-ring 3dB 방향성 결합기의 설계법을 제안하고, 크기를 작게 하기 위한 방법으로 병렬 오픈 스텝을 활용하여 커플러를 설계하였다.

이 커플러의 격리특성을 이용한다면, 동일한 주파수를 사용하여 송신과 수신 신호전송이 이루어지는 RFID에서 효율적인 전송과 인식거리 제한을 완화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-14) 주관으로 수행된 과제임.

[참고 문헌]

- [1] W.V. Tyminski and A. Z. Hylas, "A Wide-Band Hybrid Ring for UHF", Proc. IRE, Vol 41, pp 81-87, Jan. 1953
- [2] C. Y. Pon "Hybrid-Ring Directional Coupler for Arbitrary Power Division", IRE Trans. On MTT, Vol 9, pp 529-535, Nov. 1961
- [3] David Pozar "Microwave Engineering", Wiley, 2005
- [4] Mongja Bahl, "RF and Microwave Coupled-Line Circuits", Artech House, 2005
- [5] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized Ring Coupler of Arbitrary Reduced Size", IEEE microwave and wireless components letters 15:11, 16-18, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005