

높은 지향성을 갖는 결합기 특성

박용욱^{1*}

¹남서울대학교 전자공학과

Characteristics of Coupler with high Directivity

Yong Wook Park^{1*}

¹Electronic Engineering, Namseoul University

요 약 본 논문에서는 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기의 특성을 연구하였다. 방향성 결합기는 이동통신 기지국의 송신단에서 신호의 크기나 주파수 혹은 안테나에서의 반사 등을 확인하기 위해 사용된다. 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기를 개발하기 위해 시뮬레이션을 통해 특성을 분석하였고 이를 바탕으로 방향성 결합기를 제작 분석하였다. 제작된 결합기는 약 31dB 정도의 높은 지향성 특성을 보였다.

Abstract In this paper, properties of directional coupler with high directivity was investigated. The directional coupler is used to check and verify the power, frequency, and antenna reflection of signal at transmission station for mobile communications. To get the high directivity in the directional coupler, directional coupler was simulated and fabricated. we obtained the directional coupler having more than 31dB directivity.

Key Words : Directivity, Directional Coupler, frequency

1. 서론

이동통신기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 RF부품으로는 안테나, 전력증폭기, 여파기, 방향성 결합기, 필터, 전력 분배기 등이 있다. 이런 핵심 부품중 방향성 결합기는 신호를 분배, 또는 결합하는 수동소자로 방향성 결합기의 용도는 매우 다양하다. 또한 방향성 결합기는 정재파비를 결정하기 위한 입사와 반사된 전력을 측정, 신호 샘플링, 신호 주입, 신호 흐름을 측정할 때 많이 사용되어 진다. 특히, 최근의 이동통신 시스템에서 기지국의 상호변조 특성을 개선하고자 쓰이는 선형 증폭기, 저잡음 증폭기 등의 핵심 RF 부품으로도 방향성 결합기가 사용되고 있다. 이와 같은 방향성 결합기의 주요한 특성으로는 결합계수, 지향성 및 방향성이 중요 소자 특성인데 이는 결합기의 성능을 평가하는 기준이 된다. 통신시스템과 정밀 측정 장비의 주요 부품으로 사용되기 때문에 방향성 결합기의 넓은 대역폭과 높은 지향성을 얻기 위한 많은 구조가 제시되고 연구되었다. 마이크로웨이브 시스템에서 주로 사용되는 방향성 결합기는 크게 하이브리드형 방향성 결합기와 평행 결합 마이크로스트립 방향

성 결합기 등으로 나눌 수 있다[1-2]. 본 연구에서는 결합기내의 모드 위상 속도를 같게 하기 위하여 같은 매질의 스트립 평행 결합선로 구조를 사용하여 특성을 연구하였다. 먼저 4-포트 비대칭 결합선로 방향성 결합기의 회로 해석을 기본으로 하고 이를 이용하여 방향성 결합기의 회로를 분석하였다. 이중 방향성 결합기는 6-포트로 입사파의 신호와 반사파의 신호를 모니터링을 할 수 있는 것처럼 두 가지 역할을 동시에 수행할 수 있다. 각 선로의 커패시턴스를 구하기 위해 Z와Y-파라미터를 먼저 구하였고 결합선로의 임피던스가 각기 다른 비대칭 방향성 결합기를 우, 기모드 해석방법으로 해석하였다[3-5]. 본 논문에서는 이를 이용하여 우리가 원하는 임의의 결합도를 결정하여 우모드 및 기모드 임피던스를 구할 수 있는 수식을 유도하였고 비대칭 방향성 결합기를 병렬로 연결하여 6-포트인 높은 지향성을 갖는 평행 결합 스트립 선로 구조의 방향성 결합기를 시뮬레이션을 통해 특성을 분석하고 800MHz 대역에서 30dB의 방향성 결합도를 갖는 결합기를 $h=3.048\text{mm}$, $t=0.035\text{mm}$, $\epsilon_r = 2.5$ 의 특성을 갖는 구리가 도금된 테프론 기판위에 제작하여 방향성 결합기의 특성을 비교 분석하였다.

*교신저자 : 박용욱(pyw@nsu.ac.kr)

접수일 11년 11월 17일

수정일 11년 12월 12일

재제확정일 12년 01월 05일

2. 방향성 결합기 설계이론

임의의 N-Port 회로망을 해석하기 위해 여러 가지 파라미터들이 사용되어진다. 낮은 주파수대에서 Z, Y 및 H 파라미터들은 전압과 전류를 측정할 수 있기 때문에 적용이 가능하다. 그러나 주파수가 높아지면 일정 방향으로 진행하는 신호나 또는 정재파의 전력과 위상을 측정하는 것이 더 용이하므로 전압과 전류보다는 신호의 흐름과 직접 관련이 있는 산란 파라미터(Scattering parameter)를 사용한다. 이 파라미터로 구성된 행렬은 입사파, 반사파 및 전송 파의 개념을 토대로 한다. 이 파라미터를 마이크로 파 회로망에서 주로 사용하는 이유는 정합된 임피



[그림 1] 2 포트 회로망
[Fig. 1] 2 Port Network

던스 시스템에서 이들을 측정할 수 있다는 것이다. 높은 주파수에서는 개·폐(open·short)회로방식에 의한 회로망의 파라미터를 측정하는 것이 어렵기 때문이다. 그림 1은 산란 계수를 구하기 위해 사용하는 일반적인 2-포트 회로망을 나타내었다. 여기서, 산란 계수를 정의하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (1)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

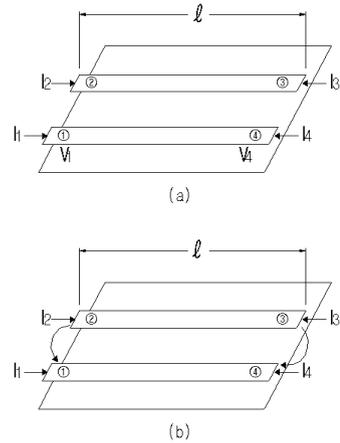
$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (a_2 = 0) : \text{입력 반사계수} \quad (2)$$

$$S_{12} = \frac{b_2}{a_1} \quad (a_2 = 0) : \text{순방향 전송계수} \quad (3)$$

$$S_{21} = \frac{b_1}{a_2} \quad (a_1 = 0) : \text{출력 반사 계수} \quad (4)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (a_1 = 0) : \text{역방향 전송계수} \quad (5)$$

또한, 비대칭의 평행 선로에서 우모드(Even mode) 및 기모드(Odd mode)의 전류 및 전압 출력 특성을 임피던스와 어드미턴스를 사용하여 아래와 같이 표현할 수 있다.



[그림 2] 결합선로의 전압(a)과 전류(b) 특성
[Fig. 2] V(a) and I(b) value of strip line

평행한 결합선로의 전압과 전류의 관계는 그림 2와 같이 표현할 수 있고 선로에서 흐르는 각 전류는 다음과 같다

$$I_1 = I_1 + I_2 \quad I_1 = 1/2 (I_1 + I_2)$$

$$I_2 = I_1 - I_2 \quad I_1 = 1/2 (I_1 - I_2)$$

$$I_3 = I_3 - I_4 \quad I_3 = 1/2 (I_4 + I_3)$$

$$I_4 = I_3 + I_4 \quad I_4 = 1/2 (I_4 - I_3)$$

각 포트에서 전압을 우모드(Even mode) 및 기모드(Odd mode)를 사용하여 구하면

1) Even mode

여기서 I_1 전류에 의한 포트1 또는 포트2에서의 전압은 ($Z=0$)에서 식(6)과 같고

$$V_{a1}(Z) = V_{b1}(Z) = -jZ_{oc}i_1 \frac{\cos\beta(l-Z)}{\sin\beta l} \quad (6)$$

I_3 전류에 의한 포트3 또는 포트4에서의 전압은 ($Z=l$)에서 식(7)과 같다

$$V_{a3}(Z) = V_{b3}(Z) = -jZ_{oc}i_3 \frac{\cos\beta Z}{\sin\beta l} \quad (7)$$

2) Odd mode

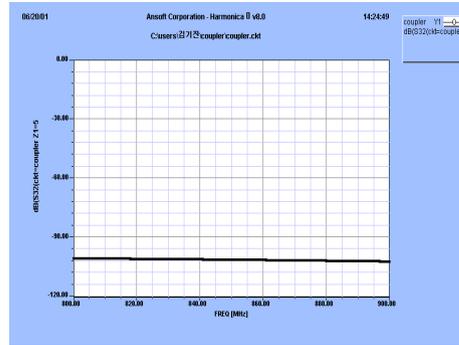
I_2 전류에 의한 포트1 또는 포트2에서의 전압은 ($Z=0$)에서 식(8)과 같고 I_4 전류에 의한 포트3 또는 포트 4에서의 전압 ($Z=l$)에서 식(9)와 같다.

$$V_{a2}(Z) = -V_2(Z) = -jZ_{0o}i_2 \frac{\cos\beta(l-Z)}{\sin\beta l} \quad (8)$$

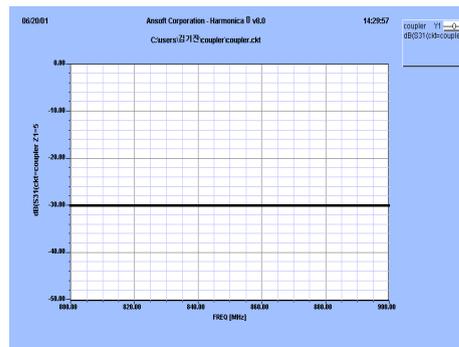
$$V_{a4}(Z) = -V_4(Z) = -jZ_{0o}i_4 \frac{\cos\beta Z}{\sin\beta l} \quad (9)$$

3. 실험 및 결과

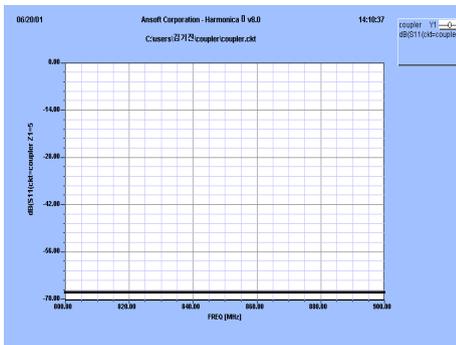
본 논문에서는 평행 결합 마이크로 스트립 선로를 사용한 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기를 먼저 시뮬레이션을 통하여 특성을 분석하였다. 시뮬레이션을 통하여 결정된 평행 결합 스트립 방향성 결합기의 동작 특성은 다음과 같이 결합기의 중심 주파수는 850MHz로 결정하였고 주파수 대역은 100MHz 범위에서 동작하도록 하였다. 또한, 결합도는 -30dB 이상의 값을 갖도록 방향성 결합기를 설계하였다. 그림 3은 이상적인 방향성 결합기의 시뮬레이션 결과로 a) 반사손실, b) 삽입손실, c) 분리도, d) 결합도의 출력 특성을 보여주고 있다. 그림 3. a)의 반사손실 특성(S₁₁)의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 약 -70dB의 우수한 특성을 보여주고 있다.



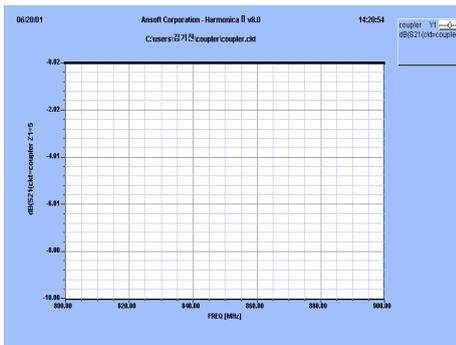
(c) 분리도



(d) 결합도



(a) 반사손실



(b) 삽입손실

[그림 3] 방향성 결합기 시뮬레이션 결과
[Fig. 3] Simulation results of directional coupler

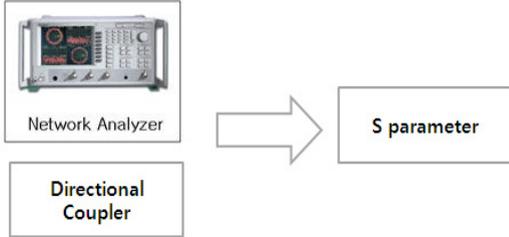
또한 삽입손실(S₂₁) 특성을 나타내는 그림 b)의 결과에서 약 -0.05 dB의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 결과 c)와 d)에서 -100dB의 분리도와 -30dB의 결합도가 갖는 우수한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다. 또한 시뮬레이션 결과를 통한 이상적인 결과를 근거로 결합도와 격리도 차이로 지향성을 구한 결과 약 70 dB의 지향성 값을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 위와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제로 고전력 증폭단에 사용할 수 있는 방향성 결합기를 h=3.048mm, t=0.035mm, ε_r = 2.5의 특성을 갖는 구리가 도금된 테프론 기판을 사용하여 제작하였다. 제작된 방향성 결합기의 동작

[표 1] 방향성 결합기의 물리적 치수
[Table 1] Physical dimension of directional coupler

결합도(dB)	B(mm)	W(mm)	S(mm)
30	3.048	2.207	2.204

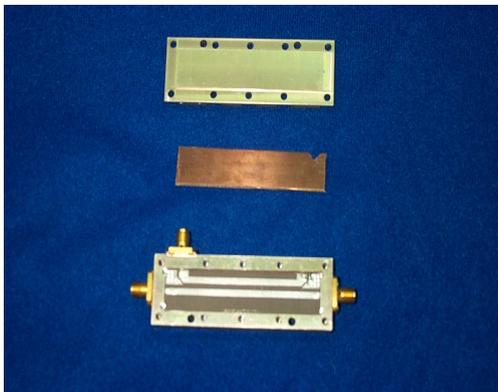
특성은 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 그림 4와 같은 측정시스템으로 주

파수 특성을 측정하였다. 표 1은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 30dB 이상의 결합도를 갖도록 설계한 평행 결합 스트립 결합선로의 물리적인 치수를 보여주고 있다.



[그림 4] 측정 장치도
[Fig. 4] Measuring system

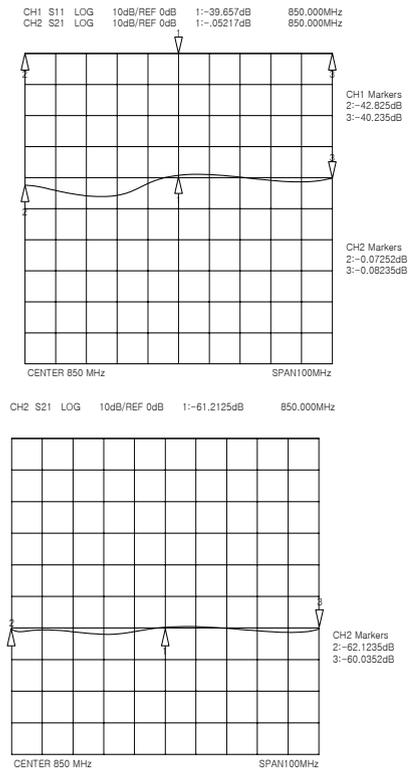
본 논문에서는 방향성 결합기가 30dB의 지향성 특성을 갖는 것을 목표로 하여 제작하였다. 먼저 결합선로와 포트 접속에서 50Ω 전송선에서 전달 신호의 결합을 방지하기 위해 주선로는 접속 포트에 향하게 하였고 다른 포트는 100Ω 저항을 병렬로 연결하여 내부 Term 구조를 갖도록 제작하였다. 스트립 구조를 이루기 위해 같은 유전체 매질인 두 개의 기판을 사용하였는데 하나의 기판은 표 1과 같은 치수를 가지는 스트립 패턴을 형성하고 다른 하나의 기판은 메탈을 완전히 제거한 후 두 기판을 합착하는 방법으로 방향성 결합기를 제작하였다.



[그림 5] 제작된 방향성 결합기 사진
[Fig. 5] Photo of fabricated directional coupler

또한 외부 영향을 제거하기 위하여 두 기판에 공간이 생기지 않도록 방향성 결합기용 케이스를 준비하여 충분히 밀착할 수 있게 하였다. 아래 그림 5는 실제 제작된 방향성 결합기를 보여 주고 있다. 그림 6은 그림 5와 같이 제작된 결합기의 주선로에서 얻은 반사손실 및 삽입손실

및 결합 특성과 분리특성을 보여주고 있다. 회로망 분석기를 사용하여 측정한 결과 -41.5 dB의 반사손실, -0.07 dB의 삽입손실, 분리도는 -61 dB의 특성을 보였고 지향성은 -31 dB의 값을 가지는 방향성 결합기를 제작할 수 있었다. 이와 같은 특성을 시뮬레이션 결과와 비교하여 표 2에 나타내었다.



[그림 6] 제작된 방향성 결합기 특성
[Fig. 6] Results of fabricated directional coupler

표 2에서 알 수 있듯이 측정값과 시뮬레이션 결과에서 분리도를 제외한 다른 특성은 아주 양호한 결과를 보여주고 있다. 물론 분리도에서 발생한 오차는 기판과 케이스의 밀착도를 향상

[표 2] 방향성 결합기의 특성
[Table 2] Properties of directional coupler

	시뮬레이션 결과	측정 결과
반사손실	-68 dB	-41.5 dB
삽입손실	-0.05 dB	-0.07 dB
분리도	-100 dB	-61 dB
결합도	- 30 dB	-30.1 dB
지향성	-70 dB	-31 dB

시키고 기판과 측정시스템을 연결하는 커넥터의 임피던스 매칭을 향상시키면 개선 될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이와 같은 오차를 개선하면 우수한 지향성 특성을 갖는 결합기를 설계 제작 할 수 있을 것 이다.

4. 결 론

본 연구에서는 평행 결합 마이크로 스트립 선로를 사용한 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기를 설계한 후, 실제 제작한 결합기의 특성을 분석하였다. 제작된 방향성 결합기는 -41.5 dB의 반사손실, -0.07 dB의 삽입손실, 분리도는 -61 dB의 특성을 보였고 지향성은 -31 dB의 값을 가지는 우수한 방향성 결합기를 제작할 수 있었다.

References

- [1] C.P Tresselt, "The Design and Construction of Broadband High-directivity Line Technique". IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, vol. MTT-14, pp.647-656, 1996.
- [2] David M .Pozar " Directional coupler & coupled line" pp.470-474, 1996.
- [3] K.Shibata, and H.Yangisawa, "Method for Improving Microstrip Coupler Directivity" pp. 352-383, 1996.
- [4] M. F. Wong, and V. F. Hanna, "Analysis and Design of Slot-Coupled Directional Couplers between Double-side Substrate Microstrip Line", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, vol. MTT-29, pp.2123-2129, 1991.
- [5] T. Tsunda, "Slot-Coupled Directional Coupler Double-side Substrate Microstrip Line and Their Application", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, pp.1757-1759. 1988.

박 용 옥(Yong-wook Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 부교수

<관심분야>

RF 디바이스, 전자소자, 센서