

## 높은 지향성을 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기 설계

김 철수, 임 종식\*, 김 종화\*\*, 안 달\*\*

순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터

\*서울대학교 전기컴퓨터공학부

\*\*순천향대학교 정보기술공학부

E-mail : chul@ramrec.sch.ac.kr

### Microstrip directional coupler with the high directivity

Chul-Soo Kim, Jong-Sik Lim\*, Jong-Hwa Kim\*\*, and Dal Ahn\*\*

RRC for Wireless Communication Devices, Soonchunhyang Univ.

\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National Univ.

\*\*Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ.

### Abstract

마이크로스트립 구조의 방향성 결합기는 이방성 유전체로 인하여 지향성 특성이 저하된다. 즉, 우, 기모드의 위상차에 의해 격리특성이 저하된다. 이러한 문제점을 개선하고자 결합선로간의 대칭형으로 입출력단에 위상 보상용 커패시터를 구현해주어 격리특성을 개선하였다. 보상용 커패시터는 평면형으로 구현하여 제작의 편리하고, 우, 기모드 위상차를 줄여주어 높은 지향성 특성을 얻을수 있었다. 부가적으로 결합선로의 길이를 약 10%를 줄일수 있다. 제시된 방법의 타당성을 입증하기 위하여 12dB, 20dB와 30dB의 마이크로스트립 방향성 결합기를 제작하여 30dB의 높은 지향성 특성을 얻었다.

### I. 서론

4-포트인 평면형태의  $\lambda/4$  마이크로스트립 결합선로를 이용한 방향성 결합기는 구현이 용이하고 다른 밀리미터파나 마이크로파 소자와의 결합이 용이하여 널리 사용되어진다. 그러나 마이크로스트립 전송선로는 유전체와 공기층 사이에 존재하는 전송도체가 이방성 유전체 특성으로 인하여 결합선로를 구현하였을 때 우, 기모드의 유효 유전율이 달라 각 모드의 위상 전파 속도차가 발생하여 결합선로의 지향 특성을 저하시키는 단점이 발생한다. 지향성 특성은 결합도가 작을수록 그리고 유전상수가 증가할수록 나빠진다[1]. 일반적으로 높은 지향성을 얻기위해 우기모드 위상이 같은 스트립구조로 방향성결합기가 제작되어왔다. 따라서 마이크로스트립 결합선로를 이용한 방향성 결합기의 위상 전파 속도차를 보상하여 지향성 특성을 향상시키기 위하여 많은 연구가 시도되었다. 톱니모양의 wiggly 선로를 사용하는 방법[2], 이방성 기관의 사용[3], 결합선로의 적절한 위치에 집중소자로 보상 커패시터나 인덕터를 사용하는 방법[4]이 연구되어졌다. 또한 강한 결합도와 높은 지향성을 갖

기 위하여 coaxial type과 위상속도차 보상을 해주기 위해 Interdigital 커패시터를 갖는 re-entrant mode 구조 등이 있다.[5-6]. 그러나 적절한 설계정보가 부족하고 실제 구현할 때 공정상의 번거로움이나 적절한 소자값을 찾기가 힘들다.

본 논문에서는 마이크로스트립 구조를 가지면서도 결합선로의 입출력단에 대칭적으로 커패시터를 평면형 구조로 구현해주어 높은 지향성 특성을 갖는 방향성 결합기를 제시하였다. 평면형으로 구현된 커패시터는 마이크로스트립 전송선로의 구조적인 문제인 우, 기모드의 위상 속도차를 줄여 지향성 특성을 크게 개선시킬 수 있었다. 제시된 방법은 다양한 결합도에서도 적용가능하며 높은 입사전력에서도 견딜수 있도록 보상 커패시턴스를 위한 스테브를 주전송선로가 아닌 보조선로에만 구현하였다. 본 논문에서 제시한 설계 방법과 설계 변수를 이용하여 20dB와 30dB의 결합도를 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기를 설계 및 제작하였다. 제시된 보상 커패시터는 평면형 구조이므로 제작 및 재현성이 용이하다. 제작된 결합기는 중심주파수 2GHz에서 400MHz의 대역폭에서 30dB 이상의 높은 지향성 특성을 나타내었다.

## II. 설계 방법

그림 1은 일반적인 마이크로스트립 결합선로 구조에 우, 기모드 위상차를 줄여주기 위한 커패시터를 결합선로 양 끝단에 달아준 모습을 보여주고 있다.

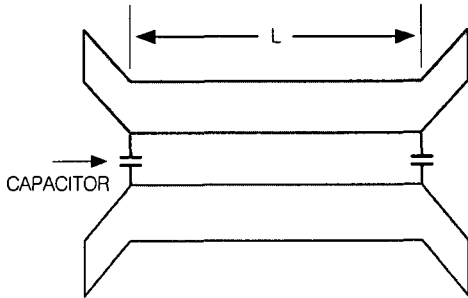


그림 1. 위상 보상용 커패시터를 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기

스트립 결합선로의 경우 우, 기모드의 유효 유전상수가 같다. 그러나 일반적인 마이크로스트립 결합선로의 경우 우모드 유효유전상수가 기모드 보다 크다. 즉 유효 유전상수의 차만큼 전파상수가 달라져 지향성 특성을 저하시킨다. 각 모드의 유효 유전상수차를 줄이기 위해 그림 1과 같이 위상 보상용 커패시터를 달아주었다. 위와 같은 구조를 해석하기 위하여 우, 기모드 해석방법을 사용하였다.[7] 그림 2는 우, 기모드의 등가회로를 나타내었다.

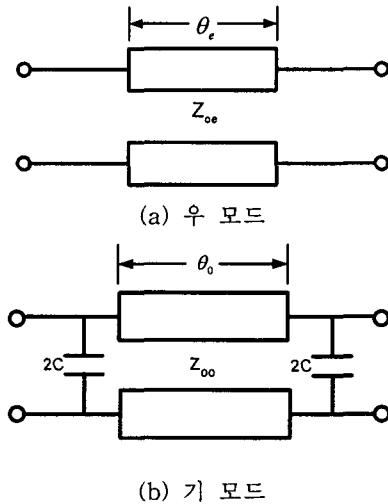


그림 2. 보상용 커패시터를 갖는 방향성 결합기의 우, 기모드 등가회로

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_o = \begin{pmatrix} \cos \theta_o - Z_{oo} 2wC \sin \theta_o & jZ_{oo} \sin \theta_o \\ j(4wC \cos \theta_o + (Y_{oo} - Z_{oo}(2wC)^2) \sin \theta_o) & \cos \theta_o - 2wC Z_{oo} \sin \theta_o \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_e = \begin{pmatrix} \cos \theta_e & jZ_{oe} \sin \theta_e \\ jY_{oe} \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{pmatrix} \quad (2)$$

그림 2의 각 모드에서의 ABCD-파라미터를 구해보면 식 (1)과 (2)와 같다. 위식에서 우모드의 경우 보상용 커패시터의 영향은 없고 보상용 커패시터는 기모드의 경우에만 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 보상용 커패시터의 영향을 해석하기 위하여 그림 3과 같이 기모드에서 전기적 길이가 우모드와 같게되는 이상적인 구조와 그림 1에 제시된 구조와의 관계를 나타내었다.

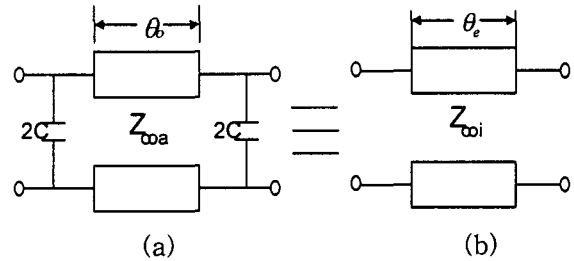


그림 3. (a) 구현된 기모드 (b) 이상적인 기모드의 등가회로

즉, 그림 3(a)의 기모드 특성이 (b)와 같이 우모드의 위상특성과 원하는 기모드 특성임피던스를 갖아야 한다. 따라서 위의 등가관계를 만족하는 조건을 찾기 위하여 아래의 조건을 만족하여야 한다. 먼저, 식 (3)은 이상적인 기모드의 ABCD-파라미터이다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{oi} = \begin{pmatrix} \cos \theta_e & jZ_{oi} \sin \theta_e \\ jY_{oi} \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (1)과 (3)의 식에서 등가관계를 만족하기 위하여 A항과 B항은 식 (4)과 (5)처럼 등가 관계를 갖는다.

$$\cos \theta_e = \cos \theta_o - 2wC Z_{oo} \sin \theta_o \quad (4)$$

$$Z_{oo} \sin \theta_o = Z_{oi} \sin \theta_e \quad (5)$$

식 (4)와 (5)로부터 다음의 관계식을 얻는다

$$\cos \theta_e = \cos \theta_o - 2\omega C Z_{ooi} \sin \theta_e \quad (6)$$

중심주파수를 우모드에서 식 (7)과 같이 정하고

$$\theta_e = \pi/2 \quad (7)$$

따라서 식 (6)에 대입하여 보상용 커패시터의 값을 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{\cos \theta_o}{2\omega C Z_{ooi}} \quad (8)$$

where

$$\theta_o = \frac{2\pi}{\lambda g_o} l = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_{effo}}{\epsilon_{effe}}} \quad (9)$$

그러므로 최종적인 용량 값과 기모드 특성 임피던스는 다음과 같다.

$$C = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_{effo}}{\epsilon_{effe}}}\right)}{2Z_{ooi}\omega} \quad (10)$$

$$Z_{ooa} = \frac{2Z_{ooi}}{\sqrt{1 - \left(\cos\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_{effo}}{\epsilon_{effe}}}\right)\right)^2}} \quad (12)$$

### III. 시뮬레이션 및 측정

그림 1과 같이 마이크로스트립의 구조로 위상 보상용 커패시터를 평면형으로 구현해주어 지향성 개선에 합당한 구조임을 시뮬레이션 및 제작을 통해 확인하였다. 사용된 기판은 두께 31mil, 비유전상수는 2.5, 중심주파수는 2GHz로 하였고, 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 마이크로스트립 구조로 하였다. 실험실 수준에서 구현이 용이한 결합도 12dB, 20dB, 30dB의 경우를 설계 및 제작하였다.

표 1에서 위상보상용 커패시터가 있는 구조와 없는 구조의 특성을 각각 결합도에 따른 비교를 하였다. 표 1에서 알수있듯이 위상 보상용 커패시터를 달아주어 마이크로스트립 구조의 방향성 결합기의 지향성 특성이 크게 개선된 것을 알 수 있다. 중심주파수에서 400MHz 대역폭 기준으로 약 30dB의 지향성 특성을 얻어 기존의 스트립구조를 마이크로스트립 구조로 대체할수있을 것이다.

표 1. 결합도에 따른 지향성 비교(BW : 400MHz 기준)

결합도	구조	지향성 [dB]	삽입손실 [dB]	중심주파수 [GHz]	보상용량 [pF]
12dB	기존	13	0.28	2.0	
	보상	28	0.31	1.8	0.12
20dB	기존	9	0.11	2.15	
	보상	28	0.12	1.9	0.08
30dB	기존	5	0.08	2.3	
	보상	43	0.07	2.0	0.03

또한 삽입손실, 반사손실 특성에는 변화가 없었고, 중심주파수는 약 200MHz 정도 감소되는 부가적인 효과도 얻었다. 그림 4는 결합도 12dB의 측정 결과이다. 그림 5는 결합도 12dB의 경우 실제 제작된 사진을 보여주고 있다. 그림에 나타난것처럼 보상용 커패시터는 결합선로의 주 전송선로가 아닌 보조선로에 구현해주어 높은 입사전력에도 견딜 수 있도록 하였다. 또한 보상용 커패시터가 평면형 스텐드로 구현되어 구현이 용이하고, 다른 소자와 쉽게 연계할수있으며 재현성이 우수한 장점이 있다.

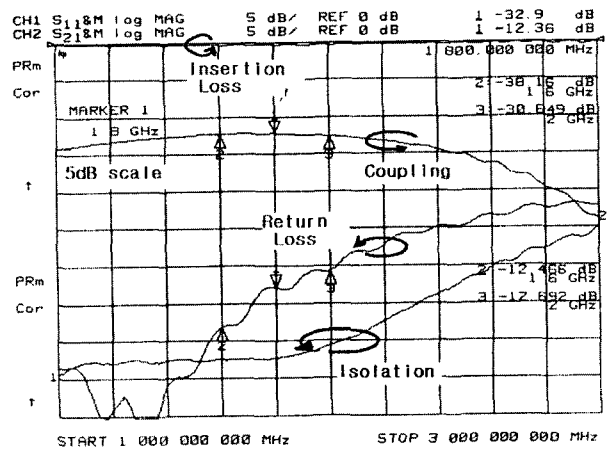


그림 4. 결합도 12dB의 방향성 결합기 측정 결과

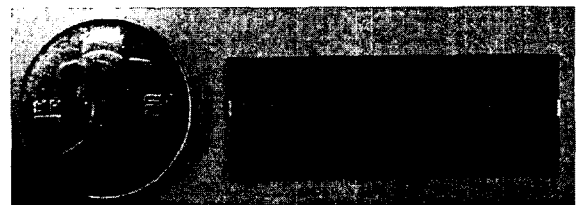


그림 5. 제작된 보상용 커패시터를 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기 사진

#### IV. 결론

마이크로스트립 방향성 결합기는 결합선로가 유전체와 공기층 사이에 위치하여 결합선로에서의 위, 기모드 위상 속도가 달라 지향성 특성이 나쁘게 된다. 본 논문에서는 마이크로스트립 결합선로에서 위, 기모드 위상속도 차를 줄이기 위하여 결합선로의 입출력단에 대칭형으로 위상보상용 커패시터를 구현해주었다. 보상용 커패시터는 평면형으로 구현되어 제작이 용이하고 다른 소자와 쉽게 연계 될 수있으며 재현성이 뛰어나다. 보상 커패시터에 의해 10%의 중심주파수 감소현상과 마이크로스트립 구조임에도 불구하고 제작된 방향성 결합기는 지향성 특성이 30dB의 우수한 특성을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대 BIT무선부품연구센터(R12-2002-052-02004-0)의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- [1] S. L. March, "Phase velocity compensation in parallel coupled microstrip," *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 410-412, 1982.
- [2] A. Podell, "A high directivity microstrip coupler technique," *IEEE MTT-S, Dig.*, pp.33-36, 1970.
- [3] N. G. Alexopoulos and C. M. Krowne, "Characteristics of single and coupled microstrips on anisotropic substrates," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-26, pp. 387-393, 1978.
- [4] M. Dydyk, "Microstrip directional couplers with ideal performance via single element compensation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-47, pp.956-964, 1999.
- [5] S. B. Cohn, "The re-entrant cross section and wideband 3dB hybrid couplers," *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-11, pp.254-258, 1963.
- [6] T. Edwards, "Foundations for microstrip circuit design," John Wiley & Sons, pp. 199-214, 1992.
- [7] D. M. Pozar, "Microwave Engineering," Addison Wesley, pp.411-425, 1990.