

# 개선된 지향성을 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기 설계

## A Design of Microstrip Directional Coupler with the Improved Directivity Characteristic

김철수 · 임종식\* · 김동주\*\* · 안 달\*\*

Chul-Soo Kim · Jong-Sik Lim\* · Dong-Joo Kim\*\* · Dal Ahn\*\*

### 요 약

본 논문에서는 높은 지향성을 갖는 1~3단까지의 마이크로스트립 방향성 결합기 구조를 제시하였다. 마이크로스트립 구조의 우, 기모드의 위상차에 의한 지향성 특성이 저하되는 구조적인 문제점을 개선하고자 결합선로의 입출력단에 위상 보상용 커패시터를 구현해 주어 격리특성을 개선하였다. 용량성 보상은 결합선로의 보조 선로에 형성해준 개방 스텐브를 이용하여 구현되었다. 따라서 개방 스텐브에 의한 삽입손실의 증가, 입사전력 제어에 영향을 받지 않는다. 위상 보상용 커패시터는 평면형으로 구현되어 제작이 편리하고 재현성이 우수하며 다른 소자와 연계가 쉬워 집적화를 가능하게 한다. 제작된 1~3단 방향성 결합기는 마이크로스트립 구조임에도 불구하고 각각 30 dB, 27 dB, 25 dB의 높은 지향성을 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this paper, single, two, and three-section microstrip directional couplers are implemented for realizing the high directivity characteristics. The achievement of the high directivity with microstrip configuration is carried out by the distributed capacitor to decrease the even and odd mode phase difference. Capacitive compensation is performed by gap coupling of open stub formed in sub-coupled line. Therefore, insertion loss and power handling capability are not affected by the gap coupling. The proposed structure is easy to fabricate and incorporate another microwave device due to the planner microstrip. We designed and fabricated single, two, and three-section directional coupler with 20 dB coupling. In spite of microstrip structure, the capacitive compensation structure shows 30 dB, 27 dB, and 25 dB of directivity in single, two, and three-section directional couplers, respectively.

Key words : Directivity, Directional Coupler

### I. 서 론

$\lambda/4$  마이크로스트립 결합선로를 이용한 방향성 결합기는 구현이 용이하고 다른 밀리미터파나 마이크로파 소자와의 결합이 용이하여 널리 사용되어진다. 그러나 마이크로스트립 전송선로는 결합선로의 우, 기모드의 유효 유전율이 달라 각 모드의 위상

전파 속도차에 의해 지향성이 저하되는 단점이 있다. 지향성은 결합도가 작을수록 그리고 유전상수가 증가할수록 나빠진다<sup>[1]</sup>. 따라서 높은 지향성을 얻기 위해서는 일반적으로 우, 기모드 위상이 같은 스트립 구조로 방향성 결합기가 제작되어왔다. 그러나 마이크로스트립 구조에 비해 제작이 어렵고, 고비용, 집적화에 단점이 있다. 마이크로스트립 결합선

「본 연구는 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터(R12-2002-052-02004-0)의 지원으로 이루어졌음.」  
순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터(RRC for Wireless Communication Devices, Soonchunhyang Univ., Korea)

\*한국특허청(Korean Intellectual Property Office, Korea)

\*\*순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ., Korea)

· 논문 번호 : 20040309-026

· 수정완료일자 : 2004년 5월 21일

로 구조에서 우, 기모드의 위상 속도 차를 보상하여 지향성 특성을 향상시키기 위하여 많은 연구가 시도되었다. 튜니모양의 wiggly 선로를 사용하는 방법<sup>[2]</sup>, 이방성 기판의 사용<sup>[3]</sup>, 결합선로의 적절한 위치에 집중소자로 위상 보상용 캐패시터나 인덕터를 사용하는 방법<sup>[4],[5]</sup>이 연구되어졌다. 또한 강한 결합도와 높은 지향성을 갖기 위하여 coaxial type과 re-entrant mode 구조 등이 있다<sup>[6],[7]</sup>. 그러나 적절한 설계정보가 부족하고 실제 구현할 때 공정상의 번거로움이 있다.

본 논문에서는 마이크로스트립 구조를 가지면서도 결합선로의 입출력단에 커패시터를 평면형 구조로 구현해 주어 우, 기모드의 위상 속도차를 보상하여 높은 지향성 특성을 갖는 방향성 결합기의 구조를 제시하였다. 제시된 방법은 약 10 dB 이하의 약한 결합도에 적용 가능하며 입사전력과 삽입손실에 영향을 주지 않도록 보상 커패시턴스를 위한 개방 스테르브를 주 전송선로가 아닌 보조선로에만 구현하였다. 본 논문에서 제시한 설계 방법을 이용하여 20 dB의 결합도를 가지며 1~3단까지의 마이크로스트립 방향성 결합기를 설계 및 제작하였다. 제작된 결합기는 일반적인 마이크로스트립 구조보다 크게 개선된 25 dB 이상의 지향성을 나타내었다.

## II. 설계 방법

그림 1은 일반적인 마이크로스트립 결합선로 구조에 우, 기모드 위상차를 줄여주기 위한 커패시터를 결합선로의 양 끝에 달아준 구조이다.

스트립 결합선로의 경우 우, 기모드의 유효 유전

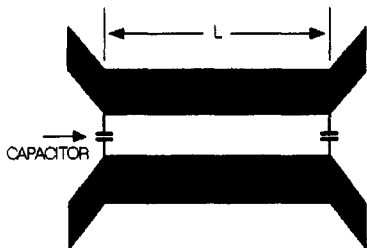
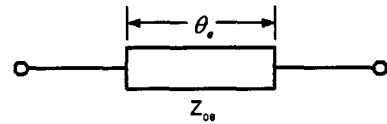
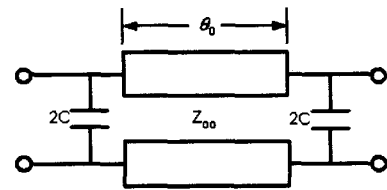


그림 1. 위상 보상용 커패시터를 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기

Fig. 1. Microstrip directional coupler with compensating capacitors.



(a) 우 모드  
(a) Even mode



(b) 기 모드  
(b) Odd mode

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

Fig. 2. The equivalent circuit of even and odd mode with compensating capacitor.

상수가 같지만 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<sup>[8]</sup>. 그림 2는 우, 기모드의 등가회로를 나타내었다.

그림 2의 각 모드에서의 ABCD-파라미터를 구해 보면 식 (1) 및 (2)와 같다. 아래의 식에서 우모드의 경우 일반적인 우모드의 경우와 같으므로 보상용 커패시터의 영향이 없다. 반면에 기모드의 경우에는 보상용 커패시터에 의해 파라미터가 변화되어진다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_e & jZ_{oo} \sin \theta_e \\ jY_{oo} \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{pmatrix} \quad (1)$$

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

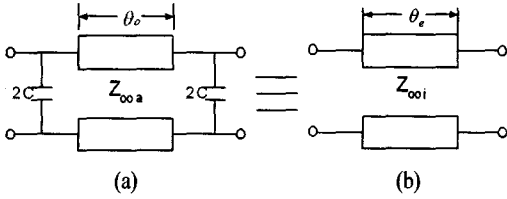


그림 3. (a) 구현된 기모드 (b) 이상적인 기모드의 등가회로의 등가관계  
 Fig. 3. The equivalent relationship of (a) actual and (b) ideal odd mode circuit.

따라서 그림 3과 같이 보상용 커패시터를 갖는 기모드의 등가회로가 그림 3(b)와 같이 이상적인 기모드와 등가 관계가 된다면 우, 기모드의 위상차를 같게 할 수 있다. 즉, 그림 3(a)의 기모드 특성이 (b)와 같이 우모드의 위상특성과 이상적인 기모드 특성임피던스를 가져야 한다. 식 (3)은 이상적인 기모드의 ABCD-파라미터이다.

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

where  $Z_{ooi}$ : actual odd mode characteristic impedance  
 $Z_{ooi}$ : ideal odd mode characteristic impedance

위와 같은 등가관계를 만족하는 조건에 의해 각 파라미터를 추출할 수 있다. 먼저 식 (2)와 (3)의 식에서 등가관계를 만족하기 위하여 식 (3)의 A항과 B항은 식 (4)와 (5)의 등가 관계를 갖는다.

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

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

식 (4)와 (5)로부터 다음의 관계식을 얻는다

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

여기서 중심주파수를 식 (7)과 같이 우모드에서  $\lambda/4$ 를 갖게 되고

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

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

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

여기서

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

$\epsilon_{effo}$ : effective permittivity of odd mode  
 $\epsilon_{effe}$ : effective permittivity of even mode

그러므로 최종적인 용량 값과 실제 기모드 특성 임피던스는 다음과 같다.

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

$$Z_{ooa} = \frac{2Z_{ooi}}{\sqrt{1 - \left(\cos\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_{effo}}{\epsilon_{effe}}}\right)\right)^2}} \quad (11)$$

위와 같은 보상방법은 다단 방향성 결합기에도 적용될 수 있다. 그림 4는 2단 비대칭 방향성 결합기의 등가회로이다. 각 단의 이상적인 우, 기모드 임피던스는 참고문헌 [9]로부터 구할 수 있고, 위에서 구한 위상 보상방법을 적용하였다. 이러한 방법의 타당성을 검증하기 위해 1~3단까지 20 dB의 결합도를 갖는 비대칭 방향성 결합기를 각각 구현하였다.

### III. 시뮬레이션 및 측정

그림 5는 제시된 1단 방향성 결합기의 형태를 보여주고 있다. 마이크로스트립 구조에서 우, 기모드

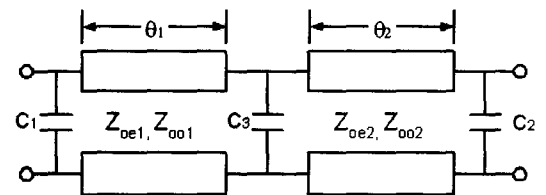


그림 4. 2단 방향성 결합기의 등가회로( $C_3=C_1+C_2$ )  
 Fig. 4. The equivalent of the two-section directional coupler.

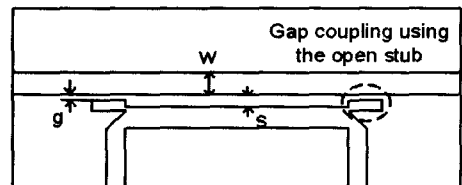


그림 5. 1단 마이크로스트립 방향성 결합기의 개략도  
 Fig. 5. Schematic of the single-section microstrip coupler.

의 위상차를 줄여주기 위하여 개방 스테르브를 이용하여 위상 보상용 커패시턴스를 집중소자가 아닌 평면형의 분포소자로 구현하였다. 식 (10)에 의해 구해진 보상용 커패시턴스는 그림 5의 점선 표시된 것과 같이 개방 스테르브와 주 전송선로 사이의 갭으로 구현하였다. 각각의 크기는  $w=2.15$  mm,  $s=1.0$  mm,  $g=0.3$  mm이고, 스테르브의 크기는 1.2 mm×4 mm이다. 시뮬레이션 및 제작에 사용된 기판은 비유전상수는 2.5, 두께 31 mil이다. 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS V8.5를 이용하였다. 결합도는 20 dB이고 결합기의 단수는 각각 1~3단까지 구현하였다.

그림 6은 1단 방향성 결합기의 일반적인 구조와 제시된 구조에 대한 EM-시뮬레이션 결과이다. 특히 격리도 특성이 크게 개선되었음을 볼 수 있다.

그림 7은 1단 방향성 결합기의 측정결과이다.

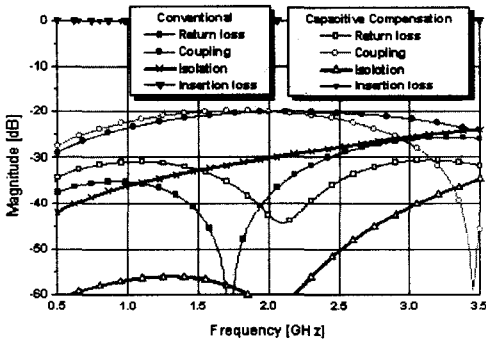


그림 6. 1단 방향성 결합기의 시뮬레이션 특성  
Fig. 6. Simulation results of the single-section directional coupler.

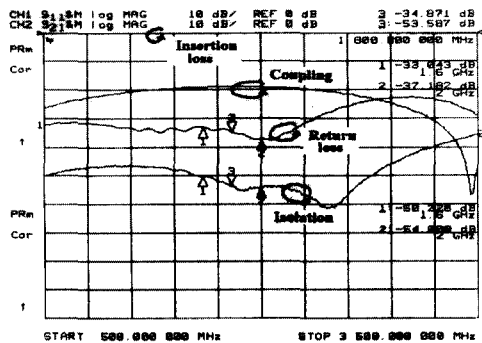


그림 7. 1단 마이크로스트립 결합기(20 dB 결합도)의 측정 결과  
Fig. 7. The measurement of single-section microstrip coupler with 20 dB coupling.

19.8 dB의 결합도와 통과대역(1.6 GHz~2.0 GHz)에서 격리도는 -50 dB 이하(지향성=30 dB), 삽입손실은 0.12 dB 이하의 특성을 나타내었다. 일반적인 구조에 비해 약 21 dB의 지향성 개선효과를 보였다.

그림 8은 2단 방향성 결합기의 일반적인 마이크로스트립 구조와 제시된 구조에 대한 EM-시뮬레이션 결과이다. 보상구조에 의해 지향성이 약 18 dB 개선되었다. 그림 9는 제시된 구조에 대한 측정 결과이다. 통과대역(1.0 GHz~2.5 GHz) 내에서 격리도는 -47 dB 이하(지향성=27 dB 이상)이며, 삽입손실은 0.24 dB 이하를 나타내었다. 반면에 일반적인 구조는 동일통과대역에서 3 dB의 지향성을 나타내었다. 그림 10은 3단 비대칭 방향성 결합기의 측정결과이다. 통과대역 내에서 25 dB의 지향성을 나타내었다. 표 1에서 위상보상용 커패시터가 있는 구조와 없는 구조의 특성을 각각 단수에 따라 비교하였고, 보상용

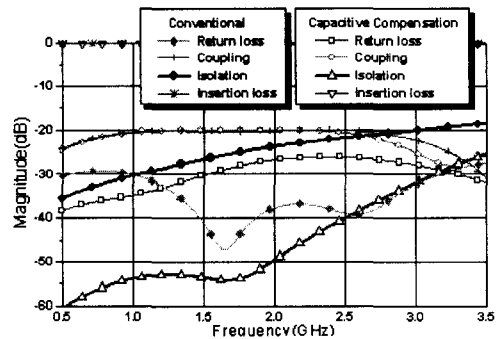


그림 8. 2단 방향성 결합기의 EM-시뮬레이션 결과  
Fig. 8. EM-Simulation results of the two-section coupler.

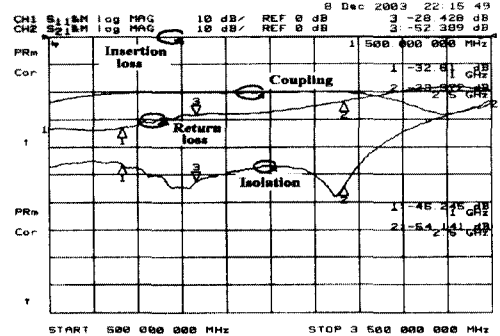


그림 9. 2단 마이크로스트립 결합기의 측정 결과  
Fig. 9. The measurement of two-section microstrip coupler.

표 1. 마이크로스트립 방향성 결합기의 측정결과 요약

Table 1. Summary of the performances of the microstrip directional coupler.

	단수	통과대역 [GHz]	결합도 [dB]	격리도 [dB]	지향성 [dB]	삽입손실 [dB]
일반적인 구조	1	1.8~2.2	19.8	29	9	0.16
	2	1.0~2.6	20.2	23	3	0.22
	3	0.7~2.3	20.0	20	0	0.25
제시된 구조	1	1.6~2.0	19.4	50	30	0.15
	2	1.0~2.5	20.2	46	26	0.24
	3	0.7~2.3	20.2	45	25	0.28

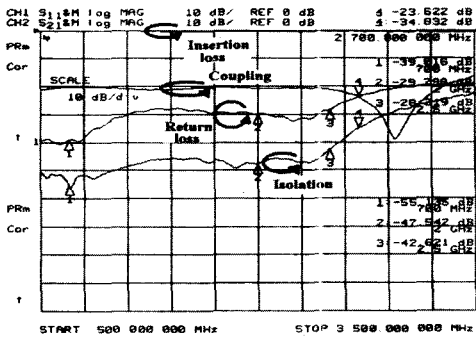


그림 10. 3단 마이크로스트립 결합기의 측정 결과  
Fig. 10. The measurement of three-section microstrip coupler.

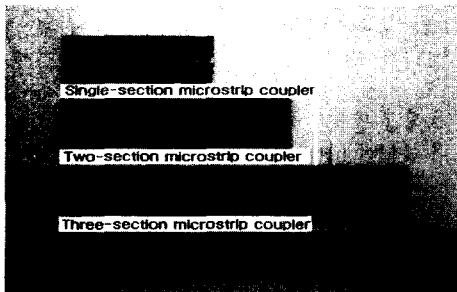


그림 11. 제작된 마이크로스트립 방향성 결합기 사진  
Fig. 11. The photos of the fabricated microstrip directional couplers.

커패시턴스를 달아주어 마이크로스트립 구조의 방향성 결합기의 지향성 특성이 크게 개선된 것을 알 수 있다. 그림 11은 실제 제작된 1~3단 방향성 결합기의 사진이다. 개방 스테르브를 이용한 용량성 보상 방법은 다단 결합기에서는 적용될 수 있고 지향성 특성이 크게 개선할 수 있음을 입증하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 결합선로의 구조적인 문제점인 우, 기모드 위상속도 차를 줄이기 위하여 결합선로의 입출력단에 위상보상용 커패시턴스를 구현해 주었다. 구현된 커패시턴스는 기모드에 영향을 주어 각 모드간의 위상차를 감소시켜 높은 지향성을 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기 구현이 가능하다. 또한 위상보상용 커패시터가 집중소자가 아닌 평면형으로 구현되어 제작이 용이하고 다른 소자와 쉽게 연계될 수 있으며 재현성이 뛰어나고 집적화에 장점이 있다. 제작된 1~3단 방향성 결합기는 마이크로스트립 구조임에도 불구하고 각각 30 dB, 27 dB, 25 dB의 높은 지향성을 얻을 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [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, C. M. Krown, "Characteristics of single and coupled microstrips on anisotropic substrates", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-26, pp. 387-393, 1978.
- [4] C. Kajfez, "Raise coupler directivity with lumped compensation", *Microwave Journal*, vol. 27, pp. 64-70. Mar. 1978.
- [5] M. Dydyk, "Accurate design of microstrip directional couplers with capacitive compensation",

*IEEE MTT-S Symp. Dig.*, pp. 581-584, 1990.

[6] S. B. Cohn, "The re-entrant cross section and wide-band 3dB hybrid couplers", *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-11, pp. 254-258, 1963.

[7] T. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons, pp. 199-214, 1992.

[8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, pp. 411-425, 1990.

[9] R. Levy, "General synthesis of asymmetric multi-element coupled-transmission-line directional couplers", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-11, pp. 226-237, Jul. 1963.

김 철 수



2002년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2001년~2003년: 한국전자통신연구원 연구원  
 2003년~현재: 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터, 연구원

[주 관심분야] RF 회로 설계, DGS 모델링 및 응용

김 동 주



2003년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년~현재: 순천향대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] LTCC, RF 수동회로 설계 및 응용

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 초고주파 전공 (공학석사)  
 2003년 2월: 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 초고주파전공 (공학박사)

1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원  
 2003년 3월~7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연수연구원, 숭실대학교 대학원, 순천향대학교 대학원 시간강사  
 2003년 7월~현재: 특허청 특허심사관  
 [주 관심분야] MIC, RFIC, MMIC 초고주파 능동/수동회로 설계, 능동/수동 소자 모델링, 위성중계기용 시스템 및 부품, 주기구조의 모델링 및 회로 응용 등

안 달



1990년: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1990년~1992년: 한국전자통신연구소 선임연구원  
 1992년~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수  
 [주 관심분야] RF, 마이크로파 수동 소자 해석 및 설계 등