

복합 유전체기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 방향성 결합기의 설계

正會員 문 승 찬*

Design of Asymmetrical Coupled Microstrip Directional Coupler on Composite Dielectric Substrates

Seung Chan Moon* *Regular Member*

요 약

Closed form 해석 방법을 이용하여 복합기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 모드 파라미터를 구하였다. 단층기판과 복합기판상에 대칭 및 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용하여 방향성 결합기를 실현시켰다. 중심주파수 1.8 GHz에서 10 dB 방향성 결합기를 제작하여 측정한 결과, 복합기판을 갖는 결합기는 단층기판을 이용한 결합기보다 결합도와 방향성도가 개선되었다. 또한 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 결합기의 대역폭이 대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 결합기보다 대역폭이 넓다는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

The mode parameters of asymmetrical coupled microstrip lines on composite substrates are derived by using closed form expression.

A 10 dB directional couplers, where the center frequency is 1.8 GHz, are fabricated on a single-layer substrate and on composite substrates respectively.

It is shown that a directional coupler on composite substrates leads to better directivity and wide bandwidth than a directional coupler on a single-layer substrate.

1. 서 론

초고주파 수동소자로서 결합 마이크로스트립 선로

는 필터, 방향성 결합기 및 임피던스 변환기 등과 같은 중요한 전송선로로 널리 이용되고 있다.

결합 마이크로스트립 선로는 두 모드의 장 분포 (field distribution)가 다르기 때문에 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 방향성 결합기의 모드 위상속도가 서로 다르다. 이러한 모드 위상속도의 차이가 증

*영동선문대학 정보통신과
論文番號: 97234-0710
接受日字: 1997年 7月 10日

가할수록 방향성 결합기의 격리도와 방향성도가 저하된다.⁽¹⁾

결합 마이크로스트립 선로는 두 선로의 결합도가 낮기 때문에 한정된 대역폭을 갖는다. 넓은 대역폭을 얻기 위해서 결합선로의 간격은 결합 선로폭보다 더 좁은 간격을 요구하기 때문에 단층 유전체기판을 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하여 제작하기가 곤란하다.⁽²⁻³⁾

모드 위상속도의 차이를 줄이거나 같게하기 위해서 유전체 겹침구조⁽⁴⁾, 차폐구조⁽⁵⁾, 결합단의 양끝에 캐패시터로 보상하는 방법⁽⁶⁾ 및 복합 유전체기판을 이용하는 방법^(7,8) 등이 발표되었다.

이들중 복합 유전체기판을 이용하는 방법은 하층기판의 높이와 유전율, 상층기판의 높이와 유전율을 적절히 조절하여 모드 위상속도의 차이를 줄이거나 같게 할수있어 결합도와 격리도를 향상시킬 수 있다.

비대칭 결합 마이크로스트립 선로는 두 결합선로의 폭과 간격을 조절하여 대역폭을 넓게할수있는 장점을 갖고있다.⁽⁹⁾

본 논문에서는 모드 위상속도의 차이를 해결하기 위한 방법으로 서로 다른 유전율을 갖는 복합 유전체기판과 넓은 대역폭을 얻기 위해서 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용하여 방향성 결합기를 설계하였다.

Closed form 해석 방법⁽¹⁰⁾을 이용하여 복합 유전체기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 모드 파라미터를 구하였다.

단층기판과 복합기판상에 대칭 및 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용하여 중심 주파수 1.8 GHz, 부하 임피던스 50Ω이고 결합도가 10 dB인 방향성 결합기를 설계하였다.

측정 결과, 단층기판상에 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 결합도가 약 1 dB 낮으나 대역폭이 약 300 MHz 더 넓게 나타났다. 복합기판상에 방향성 결합기는 단층기판상에 방향성 결합기보다 방향성도가 약 10 dB 개선되었다. 또한 복합기판상에 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 대역폭이 약 200 MHz 더 넓은 것을 확인하였다.

II. 복합 유전체기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로

1. 모드 파라미터

그림 1은 복합 유전체기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 부유용량이며 결합 마이크로스트립 선로의 총부유용량을 여러가지 부유용량으로 나누어 나타내었다.

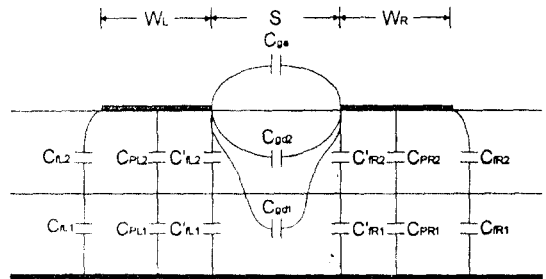


그림 1. 복합기판상에 결합 마이크로스트립 선로의 부유용량
Fig. 1 Capacitances of coupled microstrip lines on composite substrates.

이들 부유용량은 왼쪽과 오른쪽 자기 부유용량 (C_{LL} , C_{RR}) 및 상호 부유용량(C_{LR})으로 다음과 같다.

$$C_{LL} = C_{Ll} + C_{Pl} + C'_{Pl} + C_{pd} + C_{Rd} \quad (1a)$$

$$C_{RR} = C_{Rr} + C_{Pr} + C'_{Pr} + C_{rd} + C_{Rd} \quad (1b)$$

$$C_{LR} = C_{rd} + C_{pd} \quad (1c)$$

평행판 부유용량 C_{py} ($Y = L, R$)은

$$C_{py} = \frac{C_{py1}C_{py2}}{C_{py1} + C_{py2}} \quad (Y = L, R) \quad (2)$$

이며, 여기서

$$C_{pyi} = \epsilon_0 \epsilon_{ri} \frac{W_y}{h_i} \quad (i = 1, 2) \text{이다.}$$

가상자리 부유용량 C_{iy} ($Y = L, R$)은 다음과 같다.

$$C_{iy} = \frac{C_{iy1}C_{iy2}}{C_{iy1} + C_{iy2}} \quad (Y = L, R) \quad (3)$$

여기서

$$C_{iyi} = 0.5 \left[\frac{\epsilon_{ym}(W_y, h_i, \epsilon_{ri})}{C_Y Z_m(W_y, h_i, \epsilon_{ri} = 1)} - \frac{\epsilon_0 \epsilon_{ri} W_y}{h_i} \right]$$

이며, $\epsilon_{rem}(W_f, h_i, \epsilon_{ri})$ 과 $Z_m(W_f, h_i, \epsilon_{ri}=1)$ 은 단일 마이크로스트립 선로의 실효 유전상수와 특성 임피던스이며, C_V 는 자유공간에서의 빛의 속도이다.

가장자리 부유용량 $C'_{fY_i}(Y=L, R)$ 에서 C'_{fY_2} 는 유전율 ϵ_{r2} , 기판높이 h_2 을 갖는 부유용량으로 구해진다. 또한 C'_{fY_1} 는 유전율 ϵ_{r1} , 기판높이 h_1+h_2 을 갖는 부유용량에서 유전율 ϵ_{r1} , 기판높이 h_2 을 갖는 부유용량을 빼면 구할 수 있다.

가장자리 부유용량 $C'_{fY}(Y=L, R)$ 는 가장자리 부유용량 C_{fY} 을 구하는 방법과 유사하게 구할수있다.⁽¹¹⁾

$$C'_{fY} = \frac{C'_{fY1}C'_{fY2}}{C'_{fY1} + C'_{fY2}} \quad (Y=L, R) \quad (4)$$

유전체 영역에서 간격 부유용량 C_{gd} 는 가장자리 부유용량 C'_{fY1} 을 구하는 방법과 동일하며 다음과 같다.⁽¹¹⁾

$$C_{gd} = C_{gd1} + C_{gd2} \quad (5)$$

공기 영역에서 간격 부유용량 C_{ga} 는 등가 코프라너 스트립선로구조를 이용하여 계산할수있다.⁽¹⁰⁾

자기 인덕턴스 L_{LL}, L_{RR} 및 상호 인덕턴스 L_{LR} 은 공기중에서의 자기 부유용량 C_{LL}^a, C_{RR}^a 및 상호 부유용량 C_{LR}^a 로부터 계산된다.⁽¹⁰⁾

$$L_{LL} = \frac{10 C_{RR}^a}{9 \Delta C^a} \quad (6a)$$

$$L_{RR} = \frac{10 C_{LL}^a}{9 \Delta C^a} \quad (6b)$$

$$L_{LR} = \frac{10 C_{LR}^a}{9 \Delta C^a} \quad (6c)$$

여기서 $\Delta C^a = C_{LL}^a C_{RR}^a - (C_{LR}^a)^2$ 이다.

위식에서 인덕턴스 L_{LL}, L_{RR} 및 L_{LR} 의 단위는 nH/cm이며, 부유용량 C_{LL}^a, C_{RR}^a 및 C_{LR}^a 의 단위는 pF/cm이다.

식(1)~식(6)으로부터 실효 유전상수와 위상속도는 다음과 같다.

$$\epsilon_{rec(II)} = 2C_V^2 [L_{LL}C_{LL} + L_{RR}C_{RR} - 2L_{LR}C_{LR} \pm \lambda] \quad (7)$$

$$V_{(C,II)} = \frac{C_V}{\sqrt{\epsilon_{rec(II)}}} \quad (8)$$

여기서 C_V 는 자유공간에서의 빛의 속도이며,

$$\lambda = \sqrt{4(L_{LR}C_{RR} - L_{LL}C_{LR})(L_{LR}C_{LL} - L_{RR}C_{LR}) + (L_{RR}C_{RR} - L_{LL}C_{LL})^2}$$

이다.

특성 임피던스는

$$Z_{CL} = \frac{C_V}{\sqrt{\epsilon_{rec}}} (L_{LL} - L_{LR}/R_{II}) \quad (9a)$$

$$Z_{IIL} = \frac{C_V}{\sqrt{\epsilon_{recII}}} (L_{LL} - L_{LR}/R_C) \quad (9b)$$

$$Z_{CR} = -R_C R_{II} Z_{CR} \quad (9c)$$

$$Z_{IIR} = -R_C R_{II} Z_{IIR} \quad (9d)$$

이며, 여기서

$$R_{(C,II)} = \frac{(L_{RR}C_{RR} - L_{LL}C_{LL}) \pm \lambda}{2(L_{LR}C_{RR} - L_{LL}C_{LR})}$$

이다.

2.2. 시뮬레이션

그림 1과 같은 서로 다른 유전율을 갖는 복합기판상에 결합 마이크로스트립 선로에서 두 모드(대칭인 경우, 기모드와 우모드, 비대칭인 경우 C-모드와 II-모드)의 위상속도와 특성 임피던스는 상층기판의 높이와 유전율, 하층기판의 높이와 유전율에 따라 변한다.

Closed form 해석의 방법⁽¹⁰⁾을 이용하여 복합기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 모드 위상속도와 모드 임피던스를 구하였다.

그림 1과 같은 복합기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로에서 상층과 하층기판의 유전율이 각각 $\epsilon_{r2}, \epsilon_{r1}$ 인 경우, 기판의 전체높이 $h_T = h_1 + h_2$ 를 고정시키고 상층과 하층기판 높이를 변화시키면서 모드 위상속도(V_p)를 그림 2에 나타내었다. 여기서 기판높이의 비가 $h_1/h_T = 0$ 인 경우는 유전율 ϵ_{r2} 인 단층기판을 갖는 결합 마이크로스트립 선로가 되고, 기판높이의 비가 $h_1/h_T = 1$ 인 경우는 ϵ_{r1} 인 단층기판을 갖는 결합 마이크로스트립 선로가 되므로 그림 2에서는 나타내지 않았다.

그림 2에서 상층과 하층기판의 높이변화에 따라 두 모드의 위상속도 차이가 줄어들거나 증가하여 어떤 조건에서는 갈아침을 알수있다.

상층기판의 높이와 하층기판의 높이를 고정시키고 두 모드의 위상속도를 하층기판의 유전율 ϵ_{r1} 또는 상층기판의 유전율 ϵ_{r2} 의 함수로 그림 3 와 그림 4에 각각 나타내었다.

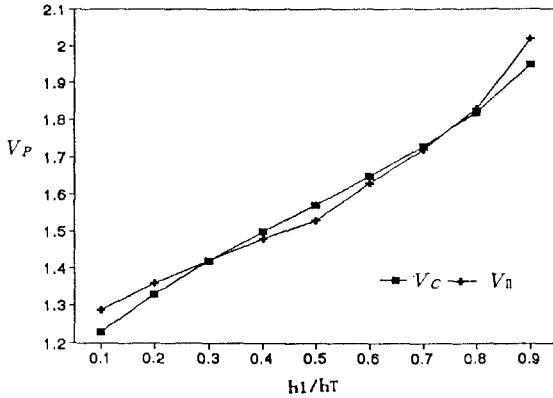


그림 2. 기판높이(h_1/h_T)의 변화에 따른 모드 위상속도
($\epsilon_{r1} = 2.2, \epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 1.26, W_R/h_T = 0.94, S/h_T = 0.25$)

Fig. 2. Mode phase velocities vs. height ratio(h_1/h_T).
($\epsilon_{r1} = 2.2, \epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 1.26, W_R/h_T = 0.94, S/h_T = 0.25$)

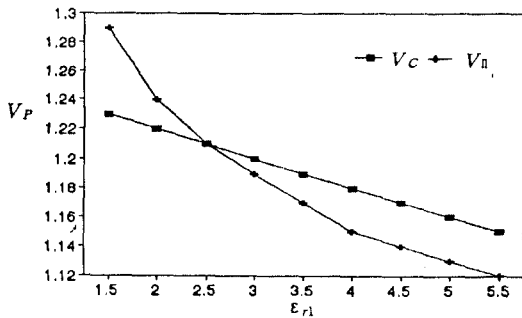


그림 3. 유전율(ϵ_{r2})의 변화에 따른 모드 위상속도
($\epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 0.28, W_R/h_T = 0.7, h/h_T = 0.17, S/h_T = 0.4$)

Fig. 3. Mode phase velocities vs. ϵ_{r1} .
($\epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 0.28, W_R/h_T = 0.7, h/h_T = 0.17, S/h_T = 0.4$)

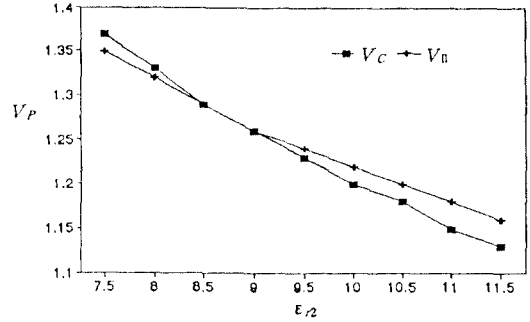


그림 4. 유전율(ϵ_{r2})의 변화에 따른 모드 위상속도
($\epsilon_{r1} = 2.2, W_L/h_T = 0.28, W_R/h_T = 0.7, h_1/h_T = 0.17, S/h_T = 0.4$)

Fig. 4. Mode phase velocities vs. ϵ_{r2} .
($\epsilon_{r1} = 2.2, W_L/h_T = 0.28, W_R/h_T = 0.7, h_1/h_T = 0.17, S/h_T = 0.4$)

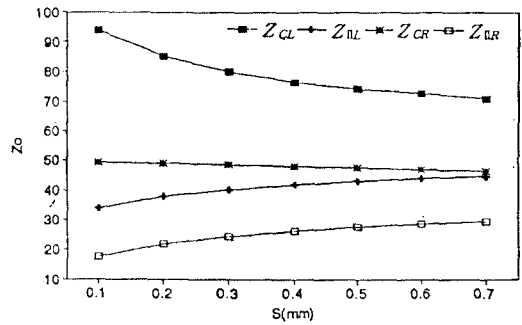


그림 5. 간격(S)의 변화에 따른 모드 임피던스
($\epsilon_{r1} = 2.2, \epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 0.94, W_R/h_T = 1.9, h_1/h_T = 0.15$)

Fig. 5. Mode impedances vs. S.
($\epsilon_{r1} = 2.2, \epsilon_{r2} = 9.7, W_L/h_T = 0.94, W_R/h_T = 1.9, h_1/h_T = 0.15$)

그림 3와 4에 보인 바와 같이 상층기판과 하층기판의 유전율의 변화에 따라 모드 위상속도를 같게 할 수 있다.

그림 5는 선로 간격(S)의 변화에 따른 복합 기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 모드 임피던스를 나타내었다.

III. 방향성 결합기의 설계

그림 6은 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 방향

성 결합기의 계통도이다.

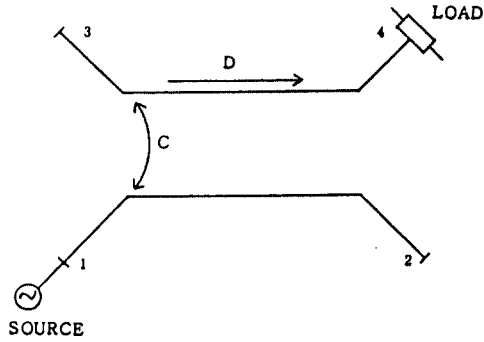


그림 6. 방향성 결합기의 계통도
Fig. 6. Schematic diagram of a directional coupler.

결합선로의 결합도 C와 방향성도 D는 다음과 같다.

$$C = -10 \log(P_3/P_1) \quad (10a)$$

$$D = -10 \log(P_4/P_3) \quad (10b)$$

중심 주파수 f_0 에서 결합 마이크로스트립 선로의 길이 $L(=\lambda g/4)$ 은

$$L = \frac{V_p}{4f_0} \quad (11)$$

이며, 평균 위상속도 $V_p(V_c + V_{\Pi})/2$ 이다.

특성 임피던스 Z_0 와 결합도 C가 주어진 경우, 이를 만족하는 모드 특성 임피던스에 대한 설계 방정식은 다음과 같다.

$$Z_c = Z_0 \sqrt{\frac{1+C}{1-C}} \quad (12a)$$

$$Z_{\Pi} = Z_0 \sqrt{\frac{1-C}{1+C}} \quad (12b)$$

IV. 실험 및 결과 검토

단층기판과 복합기판에 중심 주파수 1.8 GHz, 결합도 10dB인 방향성 결합기의 설계사양은 표 1과 같다.

복합기판을 갖는 방향성 결합기는 상층기판의 높이 $h=0.508\text{mm}$, 유전율 $\epsilon_r=10$, 하층기판의 높이 $h=$

0.508mm , 유전율 $\epsilon_r=2.52$ 에 설계하였다.

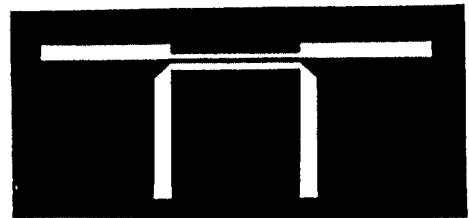
단층기판을 갖는 방향성 결합기는 기판의 높이 $h=0.508\text{mm}$, 유전율 $\epsilon_r=2.52$ 에 설계하였다.

표 1. 설계사양
Table 1. Design spec

(단위 mm)

	단층기판		복합기판	
	대칭	비대칭	대칭	비대칭
WL	1.16	1.0	2.0	0.8
WR	1.16	1.2	2.0	1.1
S	0.1	0.22	0.5	0.6
L	28	28.1	18.8	18.6
결합도(dB)	10	10	10	10

복합기판을 갖는 방향성 결합기를 사진 부식법에 의해 제작하였다. 실제 제작에 사용한 음화필름을 1:1 크기로 그림 7에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 7. 방향성 결합기의 음화 필름

(a) 대칭 결합기

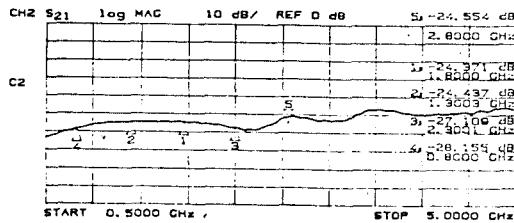
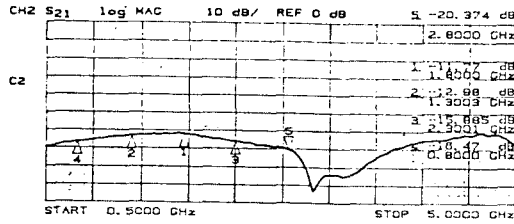
(b) 비대칭 결합기

Fig. 7. Directional coupler film.

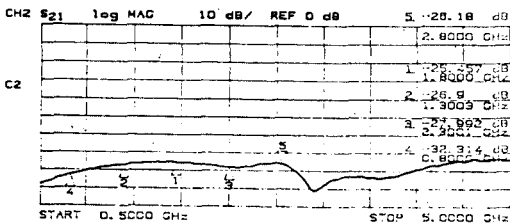
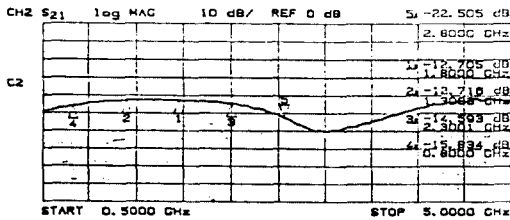
(a) Symmetrical coupler

(b) Asymmetrical coupler

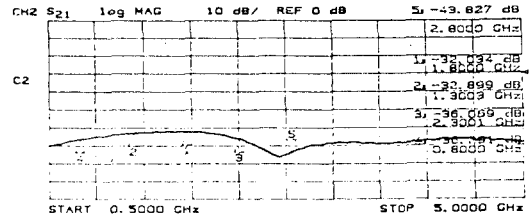
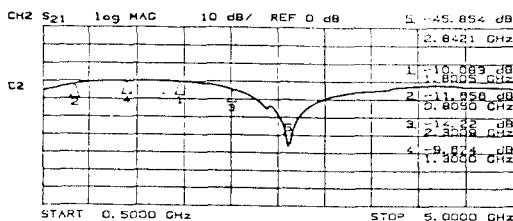
HP 8722A Network Analyzer로 측정된 결과를 그림 8에 나타내었다. 측정 주파수 범위는 0.5-5 GHz이며 측정 결과를 표 2에 비교하였다.



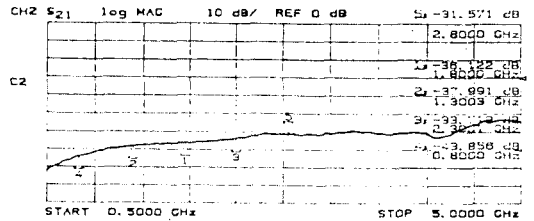
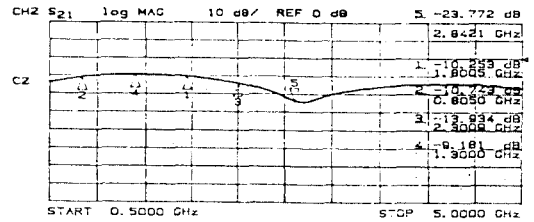
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 측정 결과

- (a) 단층기판상에 대칭 결합기
- (b) 단층기판상에 비대칭 결합기
- (c) 복합기판에 대칭 결합기
- (d) 복합기판에 비대칭 결합기

Fig. 8. Measure results.

- (a) Symmetrical coupler on a single-layer substrate
- (b) Asymmetrical coupler on a single-layer substrate
- (c) Symmetrical coupler on composite substrates
- (d) Asymmetrical coupler on composite substrates

표 2. 측정 결과의 비교

Table 2. The comparison of the measured results

(단위 dB)

	단층기판		복합기판	
	대칭 결합	비대칭 결합	대칭 결합	비대칭 결합
결합도	11.7	12.7	10.1	10.2
격리도	24	25	32	36
방향성도	12.3	12.3	21.9	25.8
1 dB 대역폭	500 MHz	800 MHz	800 MHz	1 GHz

측정 결과를 비교하면 단층기판을 갖는 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 결합도가 약 1 dB 낮으나 대역폭이 약 300 MHz 더 넓게 나타났다. 복합기판을 이용한 결합기는 단층기판을 갖는 결합기보다 방향성도가 약 10 dB 개선되었다. 또한 복합기판상에 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 대역폭이 약 200 MHz 넓다는 것을 확인하였다.

10dB 결합도를 얻기 위해서 결합 마이크로스트립 선로 사이의 간격은 복합기판이 단층 기판의 간격보다 넓기 때문에 제작이 용이함을 알 수 있었다.

V. 결 론

비대칭 결합선로의 총 부유용량을 여러가지 부유용량으로 나눈 closed form 해석 방법을 이용하여 복합 기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 모드 파라미터를 구하였다.

모드 위상속도의 차이를 해결하기 위해서 서로 다른 유전율을 갖는 복합 유전체 기판과 넓은 대역폭을 얻기 위해서 비대칭으로 결합된 마이크로스트립 선로를 이용하여 L-band용 방향성 결합기를 설계하였다.

중심 주파수 1.8GHz 에서 10 dB 방향성 결합기를 제작하여 측정한 결과, 단층기판을 갖는 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 결합도(약 1 dB)가 낮으나 대역폭(약 300 MHz)이 더 넓게 나타났다. 복합기판을 이용한 결합기는 단층기판을 갖는 결합기보다 방향성도(약 10 dB)가 개선되었다. 또한 복합기판을 갖는 비대칭 결합기는 대칭 결합기보다 대역폭(약 200 MHz)이 넓다는 것을 확인하였다.

높은 결합도를 얻기 위해서 대칭 및 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 간격은 복합기판이 단층기판보다 넓기 때문에 높은 결합도를 갖는 방향성 결합도의 제작이 용이함을 알 수 있었다.

본 논문의 결과는 MIC 및 MMIC 방향성 결합기 및 필터의 성능을 향상시키는데 크게 도움이 되리라 기대한다.

참 고 문 헌

1. M.Kobayashi and R.Terakado, "Method for equalizing phase velocities of coupled microstrip lines by using anisotropic substrate," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-28, No.7, pp. 719-722, 1980.
2. M.Tran and C.Nguyen, "Modified broadside-coupled microstrip lines suitable for MIC and MMIC applications and a new class of broadside-coupled bandpass filters," IEEE Trans on. Microwave Theory and techniques, Vol.41, N0.8, pp. 1336-1342, 1993.
3. J.T.Kue, "Accurate Quasi-TEM spectral damain analysis of single and multiple coupled microstrip lines of arbitrary metallization thickness," IEEE MTT. Vol.43, No.8, pp.1881-1888, 1995.
4. L.Su, T.Itoh, and J.Rivera, "Design of an overlay directional coupler by a full-wave analysis," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-31, 1017-1022, 1983.
5. I.J.Bahl and p.bhartia, "Microwave solid state circuit design," Wiley, New York, ch.5, 1988.
6. I.J.Bahl, "Capacitively compensated high performance parallel coupled microstrip filters," IEEE MTT-S Digest, pp.679-682, 1989.
7. J.P.K.Gilb, and C.A.Balanis, "Asymmetrical, multi-conductor low-coupling structures for high-speed, high-density digital inter-connects," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-39, N0.12, pp.2100-2106, 1991.
8. Y.Xu, K.Wu, and R.G.Bosisio, "An efficient recursive technique for calculation of planar multiple strips on composite substrates for M(h)MIC and high-speed interconnects," IEEE Trans on. MTT-S Digest, pp.320-332 1994.
9. 윤현보, 문승찬, 최원형, "비대칭으로 결합된 마이크로스트립 선로를 이용한 대역통과필터의 설계," 한국통신학회, 93-4, vol.18 No.4, pp.585-590, 1993.
10. S.S.Bedair, "Characteristics of some asymmetrical coupled trans-mission lines," IEEE Trans.Microwave Theory Tech., Vol.MTT-32, No.1, pp.108-110, 1984.
11. T.Edwards, "Foundations for microstrip circuits design," John Wiley & Sons, 2nd, ch.6, 1992.



문 승 찬(Seung Chan Moon) 정회원

1985년 2월: 호서대학교 통신공
학과 졸업(공학사)

1987년 2월: 동국대학교 신자공
학과 석사과정 졸업
(공학석사)

1994년 2월: 동국대학교 전자공
학과 박사과정 수료

현재: 영동전문대학 정보통신과 진임강사