

NRD 도파로를 이용한 60GHz대 3dB 방향성 결합기 설계

오 동 철, 이 정 해
 홍익대학교 전파통신공학과 대학원

Design of 3dB Directional Coupler using NRD Guide at 60GHz

Dong-Chul Oh, Jeong-Hae Lee
 Dept. of Radio Science & Communication Engineering, Hong-Ik University

Abstract - 본 논문에서는 nonradiative dielectric(NRD) 도파로를 이용해 60GHz대에서의 90° 하이브리드 3dB 방향성 결합기를 설계하였다. 3dB 결합기의 설계 시 NRD 도파로의 기본 모드인 LSM₁₁ 모드를 여기 시키기 위한 변환기를 설계하였고 NRD 도파로의 특징인 밴딩에서의 모드 컨버전 현상을 확인하고 이를 이용하여 LSE₁₁ 모드를 이용한 3dB 결합기를 설계하였다.

로의 단일 모드에서의 동작 영역을 나타낸다 [2]. 이를 고려하여 커플링이 가장 잘 일어나고 손실이 적은 값으로 a와 b의 크기를 결정하였다 [3].

$$\frac{a}{\lambda_0} \approx 0.45 \quad (1)$$

$$\frac{b}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r - 1} \approx 0.4 \sim 0.6 \quad (2)$$

1. 서 론

기존의 마이크로파 및 밀리미터파 대역의 집적화에 유리한 마이크로스트립라인은 통신 시스템의 대표적인 전송선로로 이용되어 왔으나 밀리미터파 대역에서는 전도 손실이 커지는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 nonradiative dielectric (NRD) 도파로는 밀리미터파 대역에서 저손실의 장점을 가지고 있어서 마이크로스트립라인을 대체할 수 있는 전송선로이다. 1981년에 Yoneyama와 Nishida에 의해서 제안된 NRD 도파로 [1]는 평행한 평판 전도체 사이에 유전체가 삽입된 간단한 구조로 이루어져 있으며 이 때 평판 전도체 사이의 거리는 자유공간에서의 반 파장 ($\lambda_0/2$)보다 짧아야 한다. NRD 도파로의 구조는 유전체의 불연속부나 밴딩에 의해 발생하는 복사신호를 평행 평판 도파로의 차단 주파수 특성으로 인해 효과적으로 억제할 수 있으며, 유전체가 갖는 저 손실 특성의 저하 없이 신호를 전송할 수 있다. 이러한 NRD 도파로는 분산 특성이나 유전체 내의 필드 분포 형태로 볼 때 전도체 손실의 주된 요인이 되는 위와 아래의 전도체가 없는 유전체가 채워진 도파로(H-도파로)와 유사하다. 따라서 도파로로 구현되는 대부분의 소자들은 NRD 가이드로 구현이 가능하다.

본 논문에서는 NRD 도파로의 사용 모드인 LSM₁₁ 모드를 여기 시킬 수 있는 여기 구조를 설계하였고 NRD 도파로 특성 중에 하나인 밴딩 부분에서의 모드 컨버전 현상을 이용하여 LSE₁₁ 모드로 결합되는 3dB 결합기를 설계하였다.

여기서, a와 b는 NRD 도파로의 유전체 높이와 폭이고 이 때 a=2.41mm, b=2.17mm이다.

LSM₁₁ 모드를 이용한 설계 시 사용되는 파라미터는 식(3)~(5)를 이용하여 구할 수 있다 [3].

$$\beta^2 = k_0^2 \epsilon_r - (\pi/a)^2 \beta_y^2 \quad (3)$$

$$\beta_y \tan(\beta_y b/2) = \epsilon_r \zeta \quad (4)$$

$$\zeta^2 = k_0^2 (\epsilon_r - 1) - \beta_y^2 \quad (5)$$

여기서 β_y 는 유전체 내에서 횡방향의 전파상수, β 는 종방향의 전파상수, ζ 는 공기 중에서의 횡방향으로의 감쇠 상수이다. 식(3)~(5)에서 구한 파라미터로부터 식(6)~(9)를 이용 3dB 결합기 설계에 사용되는 파라미터를 구할 수 있다 [4].

$$C = K \exp(-\zeta d) [m^{-1}] \quad (6)$$

$$K = \frac{\epsilon_r \zeta^2 \beta_y^2}{\beta \{ \beta_y^2 + (\epsilon_r \zeta)^2 \} (\zeta b/2) + \epsilon_r (\zeta^2 + \beta_y^2)} [m^{-1}] \quad (7)$$

$$S_{21} = 20 \log_{10} (\cos(C \times L)) [dB] \quad (8)$$

$$S_{31} = 20 \log_{10} (\cos(C \times L)) [dB] \quad (9)$$

여기서 C는 결합 계수, d는 결합 간격, L은 결합 길이를 나타내며 그림 4의 구조에 대해 구한 파라미터는 d=2mm, L=16.8mm, C=46.94m⁻¹를 가지고 시뮬레이션 한 결과 중심주파수 59.75GHz에서 S₁₁=-18.17dB, S₂₁=-3.257dB, S₃₁=-3.259dB, S₄₁=-20.95dB이고 위상차는 88.6°라는 결과를 얻을 수 있었다.

2. 본 론

2.1 LSM₁₁모드를 이용한 3dB 결합기의 치수 계산

그림 1은 NRD 도파로의 구조를 나타낸다. 입사된 전자파는 공기 부분에서는 차단되어 유전체 부분을 따라 전파 된다. 그림 2는 직각도파관과 NRD 도파로 변환기의 구조와 S-parameter 특성을 보여 주고 있다. 그림 3 및 식(1)과 식(2)는 NRD 도파

2.2 LSE₁₁모드를 이용한 3dB 결합기의 치수 계산

NRD 도파로의 다른 모드인 LSE₁₁ 모드를 이용한 결합기의 설계는 식(5)~(7)을 통해 LSE₁₁ 모드에서의 파라미터를 구하고 이를 이용하여 LSM₁₁ 모드

를 이용한 3dB 결합기 설계와 같이 식(6)~(9)를 이용해 $d=2\text{mm}$, $L=35.6\text{mm}$, $C=22.08\text{m}^{-1}$ 를 구할 수 있으며 시뮬레이션 결과 중심주파수 59.75GHz에서 $S_{11}=-23.86\text{dB}$, $S_{21}=-3.247\text{dB}$, $S_{31}=-3.245\text{dB}$, $S_{41}=-29.76\text{dB}$ 이고 위상차는 -88.52° 라는 결과를 얻을 수 있었다.

$$\beta^2 = k_0^2 \epsilon_r - (\pi/a)^2 \beta_y^2 \quad (5)$$

$$\beta_y \tan(\beta_y b/2) = \zeta \quad (6)$$

$$\zeta^2 = k_0^2 (\epsilon_r - 1) - \beta_y^2 \quad (7)$$

LSM₁₁ 모드와 LSE₁₁ 모드를 이용한 결합기를 비교함으로써 어떤 모드의 사용이 결합기 설계에 유리한가를 알아보기 위해 각 모드를 이용한 결합기의 결과를 이용해서 결합 계수와 구조적 크기 그리고 손실을 비교 하였다 [5]. 비교 결과는 표 1과 2로 나타내었으며, 표 2에서 a_c 는 전도 손실, a_d 는 유전체 손실이다. 이를 토대로 결합 계수나 구조적 크기, 손실 면에서 LSM₁₁ 모드를 이용한 결합기가 유리하다는 것을 알 수 있었다. 하지만 변환기의 구조적 한계와 LSE₁₁ 모드를 여기 시키기가 어렵기 때문에 LSM₁₁ 모드를 여기 시키고 결합이 일어나는 부분은 밴딩으로 인한 모드 컨버전 현상으로 인해 나타나는 LSE₁₁ 모드를 이용해 3dB 결합기를 설계 하였다.

2.3 LSE₁₁모드를 이용한 3dB 결합기의 설계

NRD 도파로의 LSM₁₁ 모드를 여기 시키기 위한 그림 2와 같은 변환기와 그림 5와 같은 모드 컨버전 현상으로 인해 결합기의 구조는 그림 6과 같은 구조를 갖게 되었으며 여기서 사용된 파라미터는 LSE₁₁ 모드를 이용한 결합기의 설계 파라미터를 사용하였다. 그림 7과 표 3은 LSE₁₁모드를 이용한 3dB 결합기의 시뮬레이션 결과이다.

LSE₁₁모드를 이용한 3dB 결합기의 경우 그림 4와 같은 직선 모양의 결합기와 비교해서 그림 8과 같이 전력이 감소하는 현상이 나타나게 된다. 이는 그림 5와 같이 입력단에서 LSM₁₁ 모드로 입력이 되나 결합이 일어나는 부분에서는 LSE₁₁ 모드로 변환이 되고 출력단에서는 LSM₁₁ 모드로 나오게 되는 모드 컨버전 현상에 의해 발생하는 손실이라 하겠다. 직선 모양의 결합기의 경우 전력 보존의 법칙을 고려하면 $|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2$ 의 값이 0.97이 나왔으나 LSE₁₁모드를 이용한 3dB 커플러의 경우는 LSM₁₁ 모드로는 0.86, LSE₁₁ 모드로는 0.11의 전력 흐름이 있는 것을 확인하였다. 이는 모드 컨버전 시, 완전한 모드 컨버전이 일어나지 않는다는 것을 의미한다. 다시 말해서 출력단에서 LSE₁₁ 모드로 파워가 빠져나간다는 것을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 NRD 도파로의 기본 모드인 LSE₁₁ 모드보다 저손실의 특성을 가진 LSM₁₁ 모드를 여기 시키기 위한 변환기를 설계하였고, 60GHz 대역에서의 NRD 도파로를 이용한 90° 하이브리드 3dB 방향성 결합기를 설계하였다. 설계 결과 직각 도파관과 NRD 도파로의 변환기에서

-0.1dB이하의 삽입손실이고 파장과 차단 주파수, 전계의 방향을 고려했을 때 LSM₁₁ 모드가 여기 되는 것을 확인하였고 NRD 도파로를 이용한 90° 하이브리드 3dB 방향성 결합기의 설계 결과는 중심 주파수가 59.75GHz, $S_{11}=-34.43\text{dB}$, $S_{21}=-3.44\text{dB}$, $S_{31}=-3.50\text{dB}$, $S_{41}=-28.76\text{dB}$, 위상차 ($\angle S_{21} - \angle S_{31}$)는 95.35° 이다. 시뮬레이션 결과 S_{21} 과 S_{31} 이 $\pm 0.25\text{dB}$ 을 감안했을 때 대역폭은 약 1GHz임을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Yoneyama, S. Nishida, "Nonradiative dielectric waveguide for millimeter wave integrated circuits," IEEE Trans. MTT, Vol.29, No.11, pp.1188-1192, NOV 1981.
- [2] J. G. Lee, J. H. Lee, H. S. Tae, "Design of a multi beam feed using a nonradiative dielectric rotman lens," IEICE Trans. Communication, Vol.E85-B, No.6, pp.1178-1184, JUN 2002.
- [3] Shibani K. Koul, "Millimeter wave and optical dielectric integrated guides and circuits," John Wiley & Sons, 1997.
- [4] T. Yoneyama et al., "Coupling characteristics of nonradiative dielectric waveguides," IEEE Trans. MTT, Vol.31, No.8, pp.648-654, AUG 1983.
- [5] J. Dallaire, Ke Wu, "Complete characterization of transmission losses in generalized NRD waveguide," IEEE Trans. MTT, Vol.48, No.1, pp.121-125, 2000.

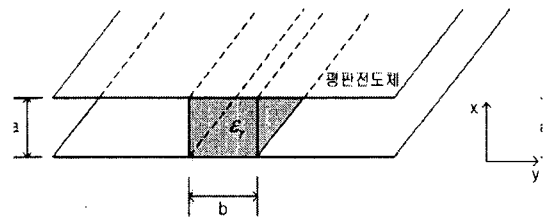


그림 1. NRD 도파로의 구조

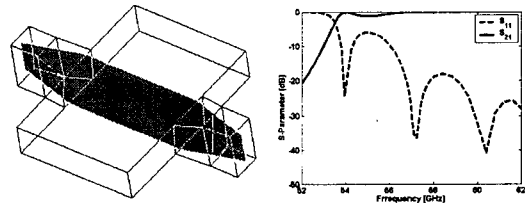


그림2. 직각 도파관과 NRD 도파로의 변환기
(a) 변환기의 구조 (b) S-parameter 결과

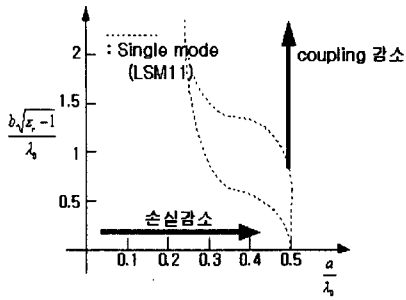


그림 3. a와 b에 따른 NRD 도파로의 단일 동작모드 그래프

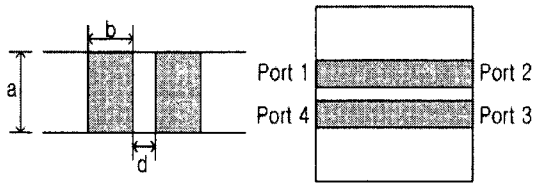


그림 4. 유전체가 평행한 일반적인 결합기의 구조

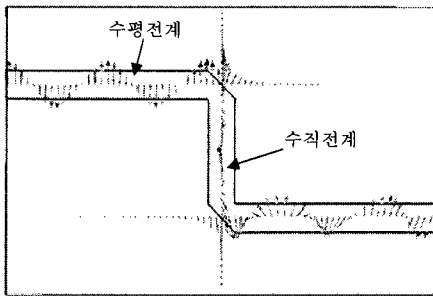


그림 5. 전계에 대한 모드 컨버전

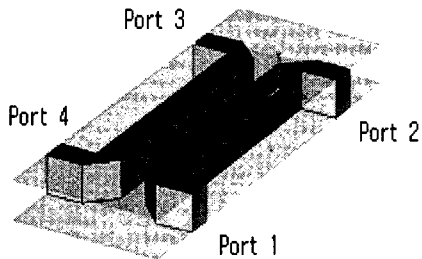
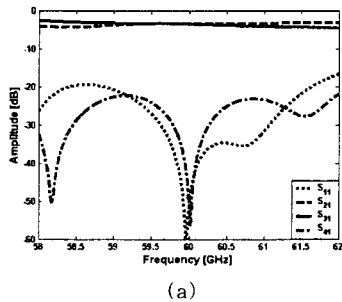
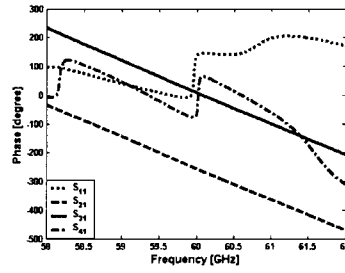


그림 6. LSE11 모드를 이용한 3dB 결합기의 구조



(a)



(b)

그림 7. LSE11 모드를 이용한 3dB 결합기의 시뮬레이션 결과
(a) 크기 (b) 위상

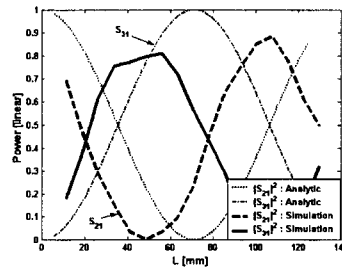


그림 8. LSE11 모드를 이용한 결합기의 이론과 시뮬레이션의 전력 비교

	LSM11 모드	LSE11 모드
결합 계수(C) [m ⁻¹]	46.945	22.089
결합 길이 (L) [mm]	16.8	35.6

표 1. LSM11 모드와 LSE11 모드의 결합 계수(C)와 결합 길이(L) 비교

	LSM11 모드	LSE11 모드
a _c [dB/λ _g]	-0.0591	-0.067
a _d [dB/λ _g]	-0.0119	-0.0213
a _t = _d a _c + a _d	-0.071	-0.0883

표 2. LSM11 모드와 LSE11 모드의 손실 비교

중심주파수 [GHz]	f = 59.75
L [mm]	20.57
d [mm]	2
S ₁₁ [dB]	-34.43
S ₂₁ [dB]	-3.44
S ₃₁ [dB]	-3.507
S ₄₁ [dB]	-28.76
위상차 [∠S ₂₁ - ∠S ₃₁]	95.35°

표 3. LSE11 모드를 이용한 3dB 커플러의 결과