

NRD 도파로를 이용한 28GHz 대역 혼합기 설계 연구

오 등 철\*, 이 정 해\*, 이 석 현\*\*  
 \*홍익대학교 전파통신공학과, \*\*인하대학교 전기공학과

Design of Single Balanced Mixer Using NRD Guide at 28GHz

Dong-Chul Oh\*, Jeong-Hae Lee\*, Seok-Hyun Lee\*\*  
 \*Dept. of Radio Science & Communication Engineering, Hong-Ik University  
 \*\*Electrical Engineering, In-Ha University

**Abstract** - 본 논문에서는 nonradiative dielectric (NRD) 도파로를 이용하여 28GHz대에서의 single balanced mixer를 설계하였다. 혼합기에 필요한 90° hybrid directional 3dB 결합기를 NRD 도파로를 이용하여 설계 하였고 CST MWS를 이용하여 설계 결과를 검증 하였으며 결과는 중심 주파수 28GHz에서 대역폭이 1GHz의 결합기를 설계하였음을 확인할 수 있었다. 이와 동시에 다이오드를 부착하기 위해 NRD 도파로와 마이크로스트립의 매칭 구조를 1 pole UDR과 patch를 이용하여 혼합기를 설계, 제작하였다.

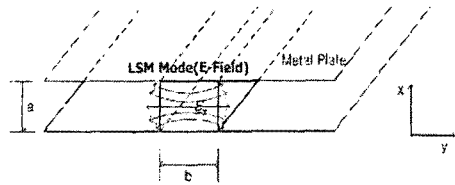


그림 1. NRD 도파로의 구조

1. 서 론

기존의 마이크로스트립라인은 저주파 대역의 통신 시스템에서 집적화에 유리한 대표적인 전송선로나 밀리미터 파 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 저하없이 신호를 전송할 수 있다.

본 논문에서는 NRD 도파로의 사용 모드인 LSM<sub>11</sub> 모드를 여기 시킬 수 있는 여기 구조를 설계 하였고, NRD 도파로를 이용하여 28GHz 대에서의 single balanced mixer를 설계하였다. 혼합기에 필요한 90° hybrid directional 3dB 결합기를 NRD 도파로를 이용하여 설계하였고 결과는 중심 주파수 28GHz에서 대역폭이 1GHz의 결합기를 설계하였음을 확인할 수 있었다. 이와 동시에 다이오드를 부착하기 위해 NRD 도파로와 마이크로스트립의 매칭 구조를 1 pole UDR과 patch를 이용하여 혼합기를 설계, 제작하였다.

2. 본 론

2.1 NRD 도파로의 여기 구조 설계

그림 1은 NRD 도파로의 구조를 나타낸다. 입사된 전자파는 공기 부분에서는 차단되어 유전체 부분을 따라 전파 된다. 그림 2 및 식(1)과 식(2)는 NRD 도파로의 단일 모드에서의 동작 영역을 나타낸다 [2]. 이를 고려하여 커플링이 특성이 좋은 유전체의 높이(a)와 유전체의 폭(b)을 결정하였으며 이 때 a=5mm, b=4.8mm 이다 [3]. 그림 3은 직각 도파관과 NRD 도파로 변환기의 구조와 S parameter 특성으로 NRD 도파로의 LSM<sub>11</sub> 모드를 여기 시키기 위한 구조이다.

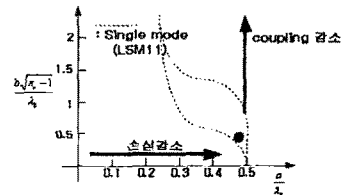


그림 2. a와 b에 따른 NRD 도파로의 단일 동작모드 그래프

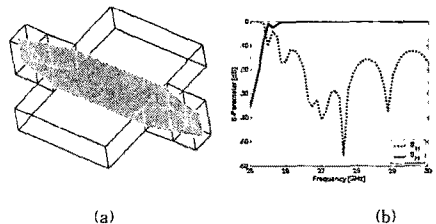


그림 3. 직각 도파관과 NRD 도파로의 변환기  
 (a) 변환기의 구조 (b) S-parameter 결과

$$\frac{a}{\lambda_0} \approx 0.45 \tag{1}$$

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

2.2 NRD 도파로를 이용한 혼합기 설계

NRD 도파로를 이용한 주파수 혼합기의 설계는 세 부분으로 나누어 설계하게 된다. NRD 도파로를 이용한 3dB 결합기, 다이오드를 결합시키기 위한 patch와 IF 필터 그리고, IF 출력단의 설계이다.

2.2.1 LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기 설계

NRD 도파로의 기본 모드는 LSM<sub>11</sub> 모드이나 그림 4와 같은 구조의 결합기의 경우 그림 3과 같은 구조의

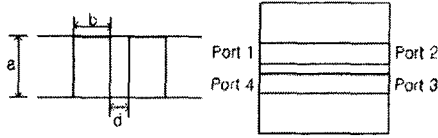


그림 4. 유전체가 평행한 일반적인 결합기의 구조

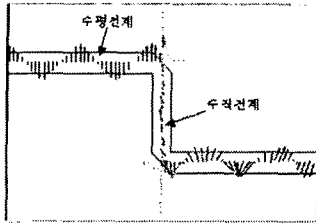


그림 5. 전계에 대한 모드 컨버전

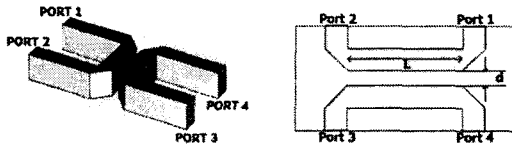


그림 6. LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기의 구조

변환기를 연결할 수 없게 된다. 이런 구조적인 문제점을 해결하기 위해서 유전체가 밴딩 구조를 갖는 결합기를 선택하게 되었다. 결합기 설계에 앞서 NRD 도파로가 밴딩 부분에서 나타나는 모드 컨버전 현상을 확인하였으며 이를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 입·출력 부분에서는 LSM<sub>11</sub> 모드의 E 필드가 수평전계를 이루고 있으나 밴딩이 있는 가운데 부분에서는 E 필드가 수직전계를 이루는 LSE<sub>11</sub> 모드를 보여주고 있다.

NRD 도파로의 구조적 특성을 이용하여 그림 6과 같은 3dB 결합기의 구조를 선택하게 되었고 커플링이 이루어지는 직선 부분에서는 LSE<sub>11</sub> 모드로 동작하게 됨으로 LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기라 하였다 [4].

LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 설계 시 사용되는 파라미터는 식 (3)~(5)를 이용하여 구할 수 있다 [3].

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

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

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

여기서  $\beta_y$ 는 유전체 내에서 횡방향의 전파상수,  $\beta$ 는 종방향의 전파상수,  $\zeta$ 는 공기 중에서의 횡방향으로의 감쇠상수이다. 식(3)~(5)에서 구한 파라미터로부터 식 (6)~(9)를 이용 3dB 결합기 설계에 사용되는 파라미터를 구할 수 있다 [5].

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

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

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

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

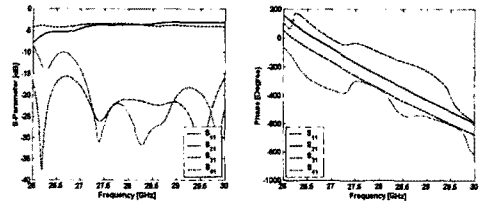


그림 7. LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기의 시뮬레이션 결과 (a) 크기 (b) 위상

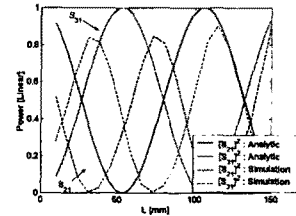


그림 8. LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 결합기의 이론과 시뮬레이션의 전력 비교

여기서 C는 결합 계수, d는 결합 간격, L은 결합 길이를 나타내며 그림 6의 구조에 대해 구한 파라미터  $d=2mm$ ,  $L=13.6mm$ ,  $C=29.6m^{-1}$ 를 가지고 시뮬레이션 한 결과 그림 7과 같은 크기와 위상을 갖는 결합기를 설계하였다.

LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기의 경우 그림 8과 같이 이론적으로 구한 전력에 비해 감소하는 현상이 나타나게 된다. 이는 그림 5와 같이 입력단에서 LSM<sub>11</sub> 모드로 입력이 되나 결합이 일어나는 부분에서는 LSE<sub>11</sub> 모드로 변환이 되고 출력단에서는 LSM<sub>11</sub> 모드로 나오게 되는 모드 컨버전 현상에 의해 발생하는 손실이다. 직선 모양의 결합기의 경우 전력 보존의 법칙을 고려하면  $|S_{21}|^2 + |S_{31}|^2$ 의 값이 0.97이 나왔으나 LSE<sub>11</sub> 모드를 이용한 3dB 결합기의 경우는 LSM<sub>11</sub> 모드로는 0.85, LSE<sub>11</sub> 모드로는 0.11의 전력 흐름이 있는 것을 확인하였다. 이는 모드 컨버전 시, 완전한 모드 컨버전이 일어나지 않는다는 것을 의미한다. 이는 출력단에서 LSE<sub>11</sub> 모드로 파워가 빠져나간다는 것을 나타낸다.

## 2.2.2 다이오드 장착을 위한 patch와 IF 필터 설계

주파수 혼합기에 사용된 다이오드는 shottky barrier diode(DMK2790-000)로 NRD 도파로를 이용한 결합기와 연결하기 위해 마이크로스트립에 장착하게 되고 patch 안테나 [6]와 unidirectional radiator (UDR) [7]에서 1 pole일 때의 조건을 사용하여 매칭시켰다.

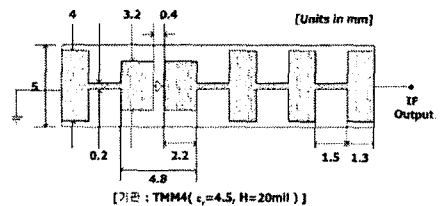


그림 9. IF 매칭단의 patch와 IF 필터

### 3. 결 론

본 논문에서는 NRD 도파로를 이용하여 28GHz대 single balanced mixer를 설계하고 최종 제작 및 측정을 통해 결과를 얻는데 목적이 있다. 주파수 혼합기 설계에 앞서 NRD 도파로의 특성을 통해 결합기에 적합한 NRD 도파로의 높이와 폭을 결정하여 NRD 도파로의 기본 모드인  $LSE_{11}$  모드보다 저손실의 특성을 가진  $LSM_{11}$  모드를 여기 시키기 위한 변환기를 설계하였고, 28GHz 대역에서의 NRD 도파로를 이용한 혼합기 설계를 위해  $LSE_{11}$  모드를 이용한 H자 모양의  $90^\circ$  하이브리드 3dB 방향성 결합기를 설계하였고, 결합기로 가능한 대역폭이 약 1GHz 정도의 결과를 얻을 수 있었다. 다이오드를 포함한 매칭단에 대한 설계로 shottky barrier diode의 장착을 위한 patch 안테나에 대한 설계를 하였으며 이때 폭(W)은 3.2mm, 길이(L)는 2.2mm이다. patch 안테나와 더불어 step impedance를 이용한 IF 필터도 설계하였고 매칭을 위한 방법으로 1 pole UDR 이론을 사용하였다. IF 출력단은 다이오드를 구동시켜주기 위한 바이어스 회로와 두 개의 IF단에서 나온 신호를 결합시켜 줄 수 있는 combiner가 포함되어 있다. 마지막으로 부분적으로 설계된 것을 하나의 혼합기로 제작하였다.

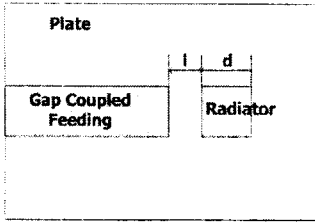


그림 10. 1 Pole UDR 평면 구조

그림 9는 다이오드가 장착되게 되는 마이크로스트립의 구조로 patch 안테나의 계산 결과 안테나의 폭(W)은 3.2mm, 안테나의 길이(L)는 2.2mm이다. 계산된 안테나가 마주보게 하고 그 사이에 다이오드가 장착 하였다. 그림 10은 1 pole UDR의 구조로 유전체 사이의 간격(l)과 유전체의 길이(d)는 각각 0.05mm와 4.6mm이다. 그리고, 그림 9의 오른쪽 부분은 step impedance를 이용한 IF 필터 부분을 나타내고 있다. IF 출력단의 회로는 다이오드를 동작 시켜주기 위한 DC 바이어스와 두개의 IF 신호를 받아 합쳐주는 combiner로 구성하였다.

### 2.3 NRD 도파로를 이용한 혼합기 제작, 측정

그림 11은 부분적으로 설계된 혼합기를 하나의 완제품으로 제작한 것이다. 그림 12는 주파수 혼합기의 conversion loss를 측정하기 위한 구성도로 single source로 synthesized sweeper를 사용하였으며, RF source의 파워 변화를 통해 IF 신호의 변화를 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하고, 측정 결과는 논문 발표 시 수록하였다.

### [참고 문헌]

- [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 et al., "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] 오동철, 이정해, "NRD 도파로를 이용한 60GHz대 3dB 방향성 결합기 설계," 2003년도 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, pp.283-285
- [5] T. Yoneyama et al., "Coupling characteristics of nonradiative dielectric waveguides," IEEE Trans. MTT, Vol.31, No.8, pp.648-654, AUG 1983.
- [6] H. C. C. Fernandes, A. R. N. De Farias, "Microstrip antenna design using the TTL method," SBMO/IEEE MTT S International, Vol.1, pp.291-296, 1997.
- [7] J. G. Lee et al., "Multi pole gap coupled unidirectional dielectric radiator in the millimeter wave band," Microwave and Optical Technology Letters, Vol.38, NO.6, pp. 498-501, SEP 20 2003

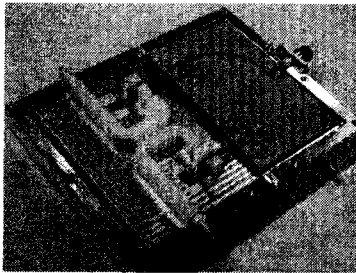


그림 11. 제작된 NRD 도파로를 이용한 혼합기

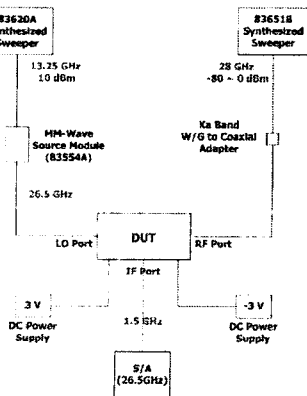


그림 12. Conversion Loss 측정 구성도