

평면형 준 광학적 믹서에 관한 연구

梁 圭 植*

A study on the uniplanar quasi-optical mixer

G. S. Yang

Abstract

A new uniplanar quasi-optical mixer which use the effect of orthogonal transition characteristics in the folded slot antenna fed by slot line and coplanar waveguide on opposite sides was presented.

In consideration of the surface wave generation and the whole circuit miniaturization, duroid substrate ($\epsilon_r=10.8$, substrate thickness 0.254mm) was selected as a basic substrate material, and whole circuit was designed at the center frequency of 10 GHz and produced in it as a uniplanar system using the printed circuit techniques.

Through the experiments, the minimum conversion loss of this mixer was confirmed to 8.2 dB at the frequency of 11 GHz LO signal(LO power level 8 dBm) and 11.6 GHz RF signal, this value is little bit high but circuit compactness of this configuration is more emphasized than the performance.

This proposed new quasi-optical mixer can remove the complexities and power losses in the conventional quasi-optical mixer in which LO signal is fed through free space, and because all of it's circuit can be made as a uniplanar circuit type, the manufacturing process is so simple and also it has an advantage of the cost effectiveness.

* 한국해양대학교 전자통신공학과 조교수

1. 서 론

최근들어 준 광학적 기술을 이용하여 안테나의 기능과 믹서와 같은 소자의 기능을 단일화 하려는 연구가 많은 관심을 끌고있다¹⁾. 특히 준 광학적 믹서에서는 기존의 수신 시스템에서 안테나로 부터 믹서까지의 전송부분을 생략하므로써 이 부분에서 발생할 수 있는 선로손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 회로 구성을 간단하게 할 수 있고 아울러 제작비용을 절감할 수 있는 장점이 있어 이러한 기술이 적극적으로 널리 활용되고 있다^{2,3)}.

일반적으로 마이크로파대의 평면형 급전선로로서는 마이크로 스트립라인이 널리 활용되고 있으나, 이는 기관의 양면을 사용하여야 하고 또한 주파수 혼합용 다이오드와 같은 소자를 부착하여 접지 시키기 위해서는 기관에 구멍을 뚫어야하므로 제조 공정상의 어려움이 따르게 된다.

아울러 이러한 구멍을 통한 배선이 높은 주파수에서는 인덕턴스 효과를 일으켜 뜻하지 않은 성능의 열화를 초래할 가능성도 있다.

그러나 Coplanar waveguide(이하 CPW라고 함)나 Slot line을 이용하면 기관의 한 면 만을 필요로 할 뿐이며 필요한 부품등의 접지가 같은 면에서 이루어지기 때문에 급전선로와 필요 부품 및 안테나를 동일면 상에 배치할 수 있고 인쇄회로 기술을 이용하여 동시에 제작할 수 있으므로 제조 공정이 간단해지고 아울러 제작 비용도 저렴해지는 등 여러가지 장점을 갖는다.

한편 CPW와 Slot line에 의해 급전되는 Folded slot 안테나를 살펴보면 CPW와 Slot line은 Folded slot 안테나의 slot line과의 T형 분기점에서 180° 서로 다른 전송특성을 보임으로서 평형 주파수 혼합에 필요한 위상 관계를 충족시킬 수 있을 뿐만 아니라 수신 신호(RF)와 국부발진 신호(LO) 및 국부발진 신호와 중간 주파수 신호(IF) 사이의 Isolation이 자동적으로 이루어지게 되어 효과적인 주파수 혼합을 가능하게 해준다.

따라서 Folded slot 안테나의 slot line상에 주파수 혼합용 다이오드를 부착하여 주파수 혼합이 일어나게 하고, 그 결과로 생기는 중간주파수 신호는 CPW 저역통과 필터를 통해 얻을 수 있는 새로운 형태의 평면형 준 광학적 믹서를 설계하고 제작하여 그 실효성을 입증하고자 한다.

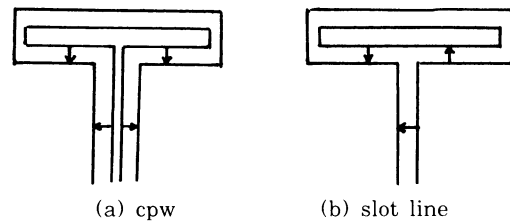


그림 1 **Folded slot** 안테나에서 신호의 위상관계.

2. **Folded slot** 안테나

CPW나 Slot line이 Slot line과 T 분기를 이룰때, 입력 전송선로가 CPW이면 동상 분배, Slot line이면 역상 분배가 이루어지는 관계를⁴⁾ 평면형 주파수 혼합에 필요한 위상관계로 활용하기 위하여 양측에서 각각 CPW와 Slot line으로 급전되는 Folded slot 안테나를 가정하였다.

Folded slot 안테나는 microstrip folded dipole 안테나와 서로 상보관계를 이루므로 Booker의 정리

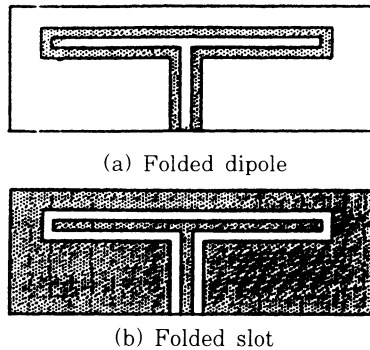


그림 2 **Folded dipole** 안테나와 **folded slot** 안테나.

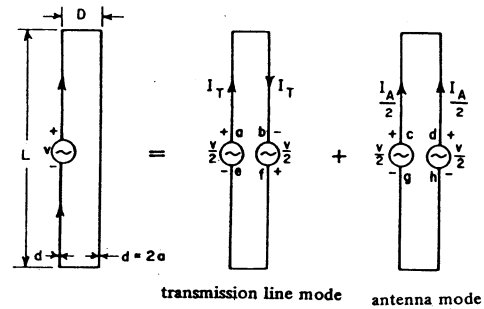


그림 3 **Folded dipole** 안테나의 구조와 그 등가 해석.

에 따라 microstrip folded dipole 안테나의 설계식을 활용할 수 있다.

$$Z_s = \eta_e^2 / (4Z_d) \tag{1}$$

여기서 Z_s 는 Folded slot 안테나의 임피던스이며,

Z_d 는 Folded dipole 안테나의 임피던스이고,

η_e 는 $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_e \cdot \epsilon_0}}$ 로서, 이때 ϵ_e 는 유효 유전율이다.

직경 d 인 도선으로 간격 D 만큼 떨어져 구성된 Folded dipole 안테나는 Even, Odd mode로 동작하는 대칭 결합 전송선과 같이 동작하며, 그 급전점에서의 입력 임피던스는 전송선로 모드와 안테나 모드의 임피던스에 의해 다음식과 같이 표현될 수 있다^{5,6)} 이때 원형 단면을 갖지 않는 안테나의 경우 등가직경을 갖는 원형 단면의 안테나로 대체 시킬 수 있으며, 폭 W 인 스트립 선로일 경우에 그 등가 직경은 $W/2$ 로 볼 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{4Z_t \cdot Z_d}{Z_t + 2Z_d} \tag{2}$$

여기서 $Z_t = j Z_0 \tan(kL/2)$ 로서 길이 $L/2$ 인 단락된 2 wire 전송선의 임피던스이고(단, 이때 $Z_0 = \frac{\eta_e}{\pi} \cosh^{-1}(D/d)$), Z_d 는 등가직경 $2\sqrt{dD/2}$ 이고 길이 L 인 선형 다이폴의 입력 임피던스로서 다음과 같이 표현된다⁷⁾.

$$R_d = \frac{R_r}{\sin^2(kL/2)} \tag{3}$$

$$X_d = \frac{X_m}{\sin^2(kL/2)} \tag{4}$$

$$R_r = \frac{\eta_e}{2\pi} \{ C + \ln(kL) - C_i(kL) + \frac{1}{2} \sin(kL) \times [S_i(2kL) - 2S_i(kL)] \} \\ + \frac{1}{2} \cos(kL) \times [C + \ln(\frac{kL}{2}) + C_i(2kL) - 2C_i(kL)] \} \tag{5}$$

$$X_m = \frac{\eta_e}{4\pi} \{ 2S_i(kL) + \cos(kL) [2S_i(kL) - S_i(2kL)] - \sin(kL) \times [2C_i(kL) - C_i(2kL) - C_i(\frac{2ka^2}{L})] \} \quad (6)$$

여기서 $C=0.5772$ (Euler's constant)이고, $C_i(x)$, $S_i(x)$ 는 코사인 및 사인 적분함수를 나타내며, a 는 안테나의 반경이다.

3. 평형형 주파수 혼합기

평형형 주파수 혼합기는 단일 다이오드 믹서에 비해 잡음 특성이나 스퓨리어스 특성이 뛰어나기 때문에 널리 사용되며, 이는 단일 평형형과 이중 평형형으로 구분할 수 있다. 단일 평형형 주파수 혼합기는 180° 혹은 90° Hybrid를 통해 연결된 2개의 단일 소자 주파수 혼합기로 이루어진다.

그림4에서 RF port와 LO port는 서로 완전히 격리되어야 하는데 본 연구에서는 CPW와 Slot line의 천이 특성 차이를 통해 이러한 격리 조건을 구조적으로 달성될 수 있도록 하였다. 일반적으로 Hybrid coupler의 특성은 주파수에 따라서 변하게 되는데 반해 본 연구에서 제안된 구조에서는 주파수에 무관하게 RF 신호와 LO 신호 사이의 완전 격리는 물론 LO port와 IF port와의 완전 격리도 가능할 뿐만 아니라 평형형 주파수 혼합에 필요한 위상 관계도 만족시킬 수 있게 된다.

따라서 간단한 구조로서 주파수 혼합에 필요한 모든 조건을 만족하게 할 수 있으므로 회로 구성을 단순화 할 수 있다는 것이 제안된 구조의 큰 장점이라 할 수 있다. 한편 주파수 혼합은 한정된 전압의 범위내에서 다이오드 접합의 지수함수적 비 선형성을 이용하여 이루어 진다.

즉 주파수 혼합용 다이오드에 흐르는 전류는 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며, 만약 다이오드에 인가되는 전압이 역이면 기수차 항의 부호가 음이 된다.

$$I = aV + bV^2 + cV^3 + dV^4 + \dots \quad (7)$$

여기서 V 는 다이오드 양단에 인가되는 전압으로서 RF 신호와 LO 신호의 합이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = V_{RF} \cos(\omega_s t) \pm V_{LO} \cos(\omega_p t) \quad (8)$$

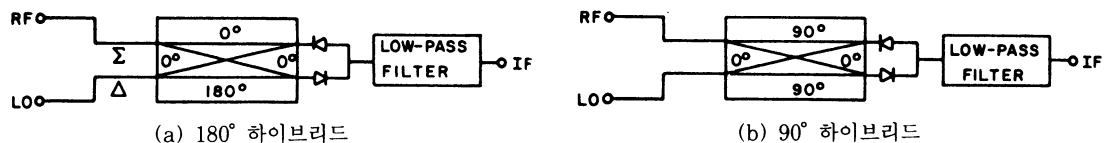


그림 4 단일 평형형 주파수 혼합기의 원리.

여기서 \pm 부호는 LO신호가 delta port에 인가될때 위상관계를 나타낸다.

결국 중간주파수 신호는 이 두 다이오드에 흐르는 전류의 차에 해당하므로 원하는 중간주파수 신호 외에도 수많은 고조파를 수반하는 것은 피할 수 없는 일이다.

따라서 이와 같은 고조파를 제거하기 위하여 지역통과 필터가 필요하게 되는데 특별한 회로 구성보다는 IF 출력을 얻기위한 CPW 선로의 중간 도체폭을 적당히 조절함으로써 간단히 지역통과 필터를 구성할 수 있어 원하는 IF 성분만을 발취할 수 있도록 하였다.

4. 실험 및 고찰

사용 기판은 회로의 소형화와 표면파의 영향을 고려하여 비유전율 10.8이고 기판 두께가 0.254mm인 Rogers사의 마이크로웨이브용 기판을 선정하였다.

안테나의 설계는 주파수 혼합용 다이오드의 부착을 고려하여 slot line의 폭을 0.4mm로 하고 folded slot의 간격은 0.8mm로 결정하였으며, 안테나의 길이는 실험식과 공진조건을 고려하여 중심주파수 10GHz에서 7.78mm되게 하였다. 설계된 제원을 기준으로 직경 8cm의 원형 duroid 기판에 CPW 급전 folded slot 안테나를 제작하였으며, 제작된 안테나의 임피던스 특성은 Hp 8510 Vector network analyzer를 통해 측정한 결과 그림5에서와 같이 설계 중심 주파수에서 약간 벗어나 11.22, 12.50GHz에서 공진하고 있음을 알 수 있었다.

방사특성은 11GHz 주파수에서 E 평면 및 H 평면 패턴을 측정하였는데 E 평면패턴에 약간의 진동하는 현상이 관측된 것은 Itoh 등의 논문⁸⁾에서 지적된 바 있는 안테나의 접지면이 한정된 영향으로 생각된다.

LO신호는 CPW-Slot line Balun을 이용하여 공급되도록 하였으며 주파수혼합용 다이오드는 Hewlett Packard 사의 HSCH 5320를 Folded slot 안테나의 Slot line급전부의 양쪽에 대칭적으로 배치하였으며, IF 신호는 CPW 중앙 도체폭을 조절하여 5단 High-low 임피던스 필터를 통해 얻어 지도록 전체적인 구성을 하였으며 그림7과 같다.

주파수 혼합 특성은 LO 신호의 전력 레벨과 주파수를 일정하게 하여 공급하고, RF 신호는

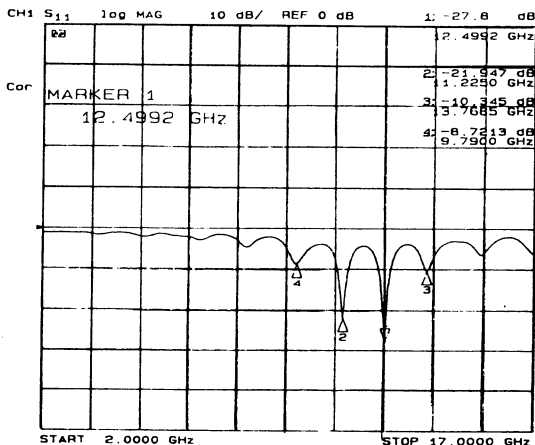
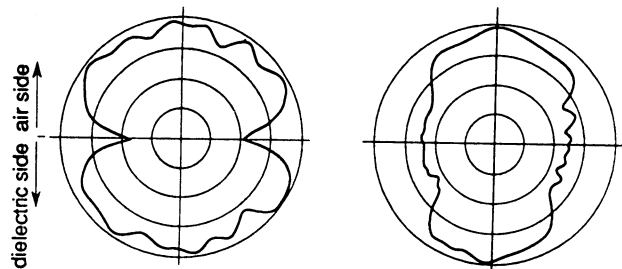


그림 5 **Folded slot** 안테나의 임피던스 특성.



(a) E면 패턴

(b) H면 패턴

그림 6 **Folded slot** 안테나의 방사특성.

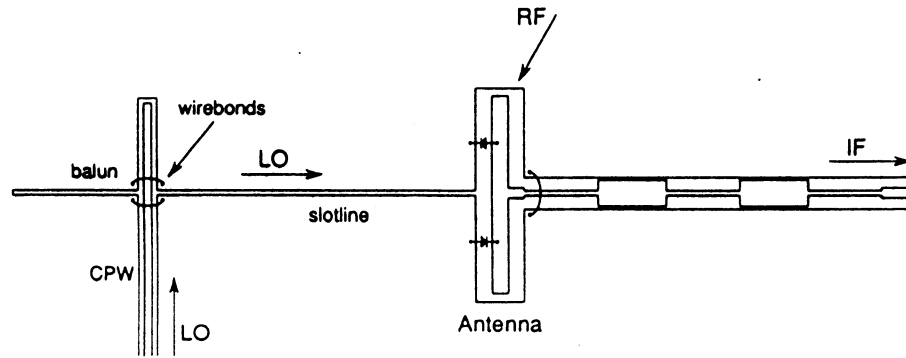


그림 7 제안된 Quasi-optical mixer의 전체적인 구성.

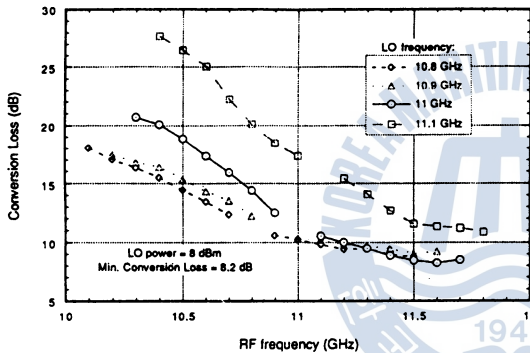


그림 8 측정된 주파수 변환 손실.

Horn 안테나를 이용하여 주파수를 가변하면서 방사시켜 Folded slot 안테나에 수신되도록 하므로서 평행형 주파수 혼합이 일어나도록 하여, 그 결과 얻어지는 중간주파수 신호 강도를 비교 측정하여 변환손실을 알 수 있었다.

그 결과는 그림8에서 보는 바와 같이 RF 주파수 11.6GHz, LO 주파수 11GHz에서 8.2dB로 가장 낮은 값을 보여 다소 높은 손실을 나타냈지만 이와 같은 회로는 회로의 간소화가 더욱 강조되는 곳에서 활용될 수 있으며, 능동소자의 활용이나

MMIC화에 의해 손실을 보상할 수 있는 방법이 강구될 수 있을 것이다.

5. 결 론

CPW와 Slot line 전송선로의 전송특성 차이를 이용하여 Folded slot antenna 구조에서 효과적인 평행형 주파수 혼합이 일어나도록 하므로서, 안테나에서 믹서까지의 전송선로 부분을 생략하여 이 부분에서의 전송손실을 줄일 수 있도록 시도한, 새로운 형태의 평면형 준 광학적 믹서를 제작하고 실험을 통하여 그 실용 가능성을 확인 할 수 있었다.

이는 종래의 Quasi-optical mixer에서 국부발진 신호의 공급을 자유공간을 통해 공급하므로 인해 생기는 기기 구성의 복잡성과 전력손실을 제거할 수 있었으며, 아울러 모든 구성에 인쇄회로 기술을 이용할 수 있어 제작을 간단히 할 수 있고 동시에 제작비용도 절감할 수 있는 장점을 충분히 활용 할 수 있었다.

특히 다 소자 구성을 필요로하는 Imaging array 등에 이용될 경우 회로의 간소화에 기여할 수 있을 것으로 생각되며, LO 발진기 및 저잡음 증폭기 등을 결합하여 MMIC화 할 경우 더욱 성능을 개선할 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 해외 post-doc. 사업에 의한 연구비 지원에 의하여 미국 Univ. of Michigan, Radiation Lab.에서 이루어 졌음을 밝히며 관계 기관에 심심한 감사의 뜻을 전하고자 한다.

참고문헌

- 1) T. Itoh. "Planar quasi-optical circuit technology". 20th European microwave conference digest 1990, pp.83 - 88
- 2) L. Yuan, J. Paul, P. Yen. "140 GHz quasi-optical planar mixers". IEEE MTT-S digest 1982, pp. 374 - 375
- 3) V. D Hwang, T. Uwano, T. Itoh. "Quasi-optical integrated antenna and receiver front end" IEEE Trans. Microwave theory and techniques, Vol MTT - 36, Jan. 1988, pp.80 - 85
- 4) T. Hirota, Y. Tarusawa, H. Ogawa. "Uniplanar MMIC hybrid-A proposed new MMIC structure". IEEE trans. microwave theory and technique Vol. MTT-35, June 1987, pp.576 - 581
- 5) G. A. Thiele, E. P. Ekelman, L. W. Henderson. "On the accuray of the transmission line model of the folded dipole". IEEE Trans on antennas and propagation, Vol. AP-28, Sep.1980, pp.700 - 703
- 6) R. W. Lampe. "Design formulas for an asymmetric coplanar strip folded dipole". IEEE Trans on Antennas and propagation, Vol. AP-33, Sep. 1985, pp.1028 - 1031
- 7) C. A Balanis. "Antenna theory analysis and design", John Willey & Sons, 1982, pp.124, 294
- 8) K. D. Stephan, N. Camilleri, T. Itoh. "A quasi-optical polarization-duplexed balanced mixer for millimeter-wave application". IEEE trans. microwave theory & techniques, vol. MTT - 31, Feb. 1983, pp.164 - 170

