

## 5.8 GHz 무선 LAN 대역의 FG-CPW Rat-race Diode Mixer

배중선, 이종철, 김종현, 이병재, 김남영

광운대학교 RFIC 연구 및 교육센터/미션테크놀로지 연구센터,  
서울시 노원구 월계동 447-1

### A FG-CPW Rat-race Diode Mixer for Wireless LAN Application

Joung-Sun Bae, Jong-Chul Lee, Jong-Heon Kim, Byungje Lee, and Nam-Young Kim

RFIC Research and Education Center & Mission Technology Research Center,  
Kwangwoon Univ., 447-1 Wolgye-dong, Nowon-ku, Seoul 139-701, Korea  
E-mail: jcleee@daisy.kwangwoon.ac.kr

#### 요 약

본 논문에서는 FG-CPW(Finite-Ground Coplanar Wave-Guide) 구조의 단일 평형 다이오드 믹서에 대해 논의된다. 주파수 영역은 무선 LAN 대역으로 선택하였다. RF 신호는 5.725-5.875 GHz, LO 신호는 5.56 GHz, 그리고 IF 신호는 140 MHz 가 사용된다. 제시된 FG-CPW 구조의 LPF(low pass filter)는 회로크기를 줄일 수 있으며, 불필요한 하모닉 억제 특성이 우수하다. 5.635 GHz에서 5 dBm의 Power를 갖는 LO신호가 입력될 때 6.2 dB의 혼합기의 변환손실을 얻는다. 또한 LO-RF isolation과 LO-IF isolation은 각각 30 dB 와 20 dB의 특성을 보인다. 이 혼합기는 CPW 구조가 일반적으로 알려진 밀리미터 대역에서의 장점뿐만 아니라 C-Band의 무선 LAN 분야에도 충분히 응용될 수 있으리라 기대된다.

#### I. 서 론

최근 들어 통신시스템에서 더 많은 정보를 제공하기 위해서 광대역, 초고주파의 추세로 발전되어지고 있다. CPW(Coplanar Wave Guide)는 구조적인 장점으로 인하여 광대역 특성을 보일 수 있으며 그밖에도 신호선과 접지면이 동일면 상에 존재하므로, 대부분의 필드가 Slot 부분에 집중되어 dispersion(분산)이 적으며 공정상back-side 금속공정이 필요치 않게 됨에 따라 공정을 단순화시킬 수 있다. 특히 밀리미터 대역에서 손실이 기존의 전송선로에 비교하여 우수하고 회로크기를 줄일 수 있고 단일 칩 초고주파 집적회로 (Monolithic

Microwave Integrated Circuit: MMIC)와 집적이 용이함 등 많은 장점을 가진 구조이다. 본 논문에서는 Rat-race 구조를 이용하여, LO 단과 RF 단의 분리도를 확보하고, 구조를 단순화시키며, FGC(Finite-Ground-CPW) 구조를 이용하여 기존의 믹서 보다 회로 크기를 줄일 수 있는 Balance 구조의 다이오드 믹서를 제안한다. 또한 CPW 구조의 문제로 대두되는 Slot mode의 억압과 접지면의 연속성을 확보하기 위해 Wire-bonding 을 사용하였으며, discontinuity 문제를 최소화하기 위해 대칭 구조를 사용하여 이러한 문제점을 최소화하였다. 또한 FG-CPW 구조를 이용하여 회로의 크기를 줄일 수 있다.

### II-1. FG-CPW Rat-race Hybrid

단일 평형 혼합기의 설계시 각 단자간의 분리도와 반사손실, 스푸리어스 응답을 결정하게 되는 중요한 부분은 Rat-race이다. CPW 구조는 신호선과 슬롯의 크기비로 임피던스가 결정되므로 설계시 특히 유의해야 한다 [2,5]. 특히 각 포트 부분에서 Transition이 발생되므로 EM simulation을 통하여 그 오차를 최소화하였다. 또한 접지면의 전기적인 차이를 줄이기 위해서 Wire-bonding은 필수적이며 그에 대한 effect들은 정확히 고려되어야 한다. 회로 크기를 줄일 수 있도록 접지면이 신호선과 슬롯의 넓이의 5배 이상이면 전기적으로 접지면으로 인식되므로 FG-CPW구조를 이용하여 회로크기를 감소시킬 수 있다[5]. Rat-race는 4개의 기본적 포트를 가지고 있다 (그림 1). 1번 단자로 입사된 신호는 2번과 4번 단자로는 각각 3 dB의 손실을 갖고 전송된다 [4, 5]. 2번과 4번으로 전송되는 신호는 동위상이다. 이때 3번 단자로는 신호가 전송되지 않는다. 그림 1에서 1번 단자로는 RF 신호를, 3번 단자로는 LO신호를 인가 시키며, 비선형 소자의 위치는 2번과 4번 단자에 위치하게 되는데, 1번 단자로 인가된 신호는 두 소자에 역 위상으로 인가된다. 이를 이용하여 LO 신호에 의한 잡음 성분과 스푸리어스 성분을 상쇄시킬 수 있다. 2번과 4번으로 전송되는 신호는 동위상이다. 이때 3번 단자로는 신호가 전송되지 않는다. 그림 1에서 1번 단자로는 RF 신호를, 3번 단자로는 LO신호를 인가시키며, 비선형 소자의 위치는 2번과 4번 단자에 위치하게 되는데, 1번 단자로 인가된 신호는 두 소자에 역 위상으로 인가된다. 이를 이용하여 LO신호에 의한 잡음 성분과 스푸리어스 성분을 상쇄시킬 수 있다.

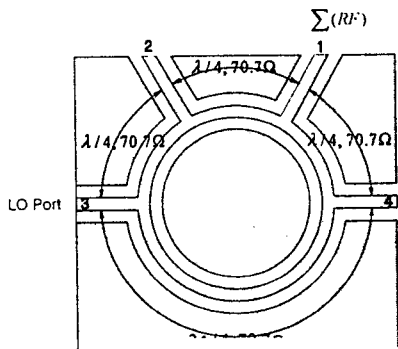


그림 1. FG-CPW Rat-race 하이브리드 커플러

### II-2. 슬릿구조의 Low Pass Filter

그림 2.에서는 신호선에 슬릿을 삽입한 구조의 LPF와 슬릿 삽입에 대한 등가모형을 표현하였다. CPW 구조에서는 광대역 특성을 보이므로 더욱 구현이 어렵게 된다. 특히 discontinuity에 대한 해석이 아직 완전하지 않으므로 인해 simulator로 특성을 예측하기 어렵다. 이런 discontinuity의 영향을 이용하여 Low-Pass Filter를 구현하였다.[5, 6]. 신호선에 대한 슬릿의 길이가 증가할수록 인덕턴스  $LS$ 가 증가하며 유전체의 유전상수와 높이가 증가할수록  $Cg, Cp$ 가 증가된다. 이런 원리를 이용하여 슬릿의 길이와 넓이를 조정함으로써 필터 특성을 변화시킬 수 있으며 슬릿사이에 Lumped 소자를 삽입 함으로써 필터 특성을 변화시킬 수 있다. 제안된 Low pass filter는 일반적인 Low-Pass Filter 보다 약 30% 가량 회로 크기를 감소시킬 수 있다. 그림 2.의 제안된 Low-Pass Filter는 Cut-off 주파수가 1.8 GHz이고, 하모닉 억제가 아주 우수한 특성을 보인다. 이와 같은 구조로 Slit을 삽입하여 광대역의 스푸리어스 성분들을 억압할 수 있는 것을 실험을 통해 확인해 볼 수 있다 [7].

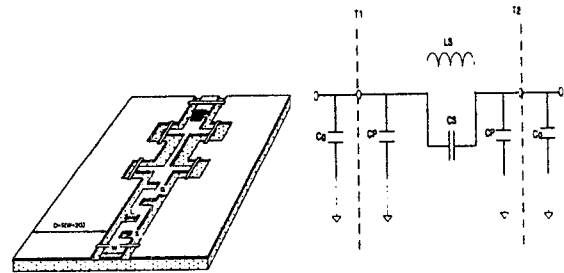


그림 2. 개선된 Low-Pass Filter 와 Slit에 대한 등가회로

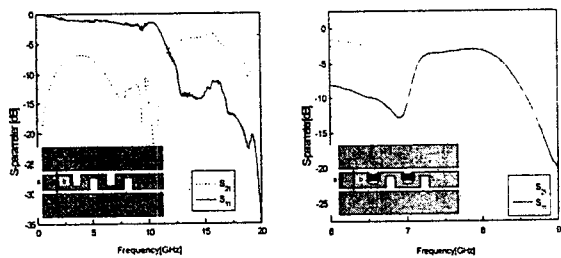


그림 3. 신호선 내의 슬릿 삽입에 대한 특성 그래프

그림 3은 슬릿만의 삽입으로도 (12 GHz~50 GHz) 대역까지 하모닉 성분이 억압되며 이와 같은 구조의 low-pass filter는 증폭기, 발진기, 믹서 등과 같은 비선형 소자들의 스퓨리어스 성분들을 간단한 방법으로 억압하는데 많은 효과가 있으리라 예측된다.

### III. FG-CPW 혼합기 설계 및 제작

CPW 믹서는 유전율( $\epsilon_r$ ) 10.2, 높이 0.635 mm, conductor thickness 는 0.018 mm의 기판을 사용하여 구현하였다. 또한 측정 장비로서는, HP 8510C network analyzer 와 HP 8563E spectrum analyzer, Wiltron 6147B-40 programmable sweep generator, 그리고 HP 83623B sweep signal generator를 사용하였다. 또한 사용된 소자로는 Fujitsu 사의 FHX35LG low noise HEMT 비선형 소자를 사용하였다. 그림4는 실제로 제작된 Mixer의 Layout 이다. Wire-bonding을 통해서 접지면의 연속성을 확보하고 슬롯의 모드를 억압시켰다. 설계시 Wire-bonding에 대한 영향을 고려해야만 설계치와 유사한 결과 값을 얻을 수 있다.

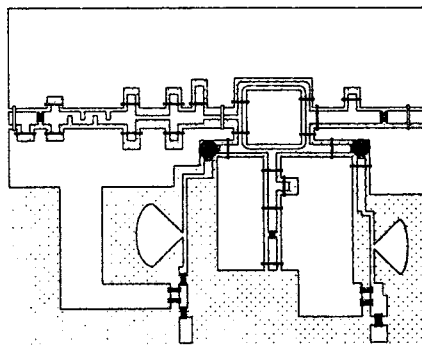


그림 4. FG-CPW Mixer의 Layout

그림 5는 제작된 믹서의 변환손실(conversion loss)에 대한 특성을 나타낸 그래프이다. RF power 는 20 dBm으로 고정시킨 상태에서 LO Power을 10 dBm에서 15 dBm 까지 증가 하며 특성을 살펴보면 10 dBm ~ 0 dBm까지의 구간에서는 급속히 감소하며, 0 dBm 이상의 구간에서는 그 감소 비가 낮아진다. 또한 LO Power가 약 7 dBm 에서 5 dB정도의 변환 손실 값을 갖으며 그 이상의 전력을 인가 하더라도 loss의 감소 비는 현격히 감소함을 알 수 있다. 또한 CPW 구조상 광대역 특성을 보이므로 RF 주파수와 LO 주파수에 대한 변환손실의 평탄도(flatness)를 광대역에 걸쳐 확보 할 수 있다.

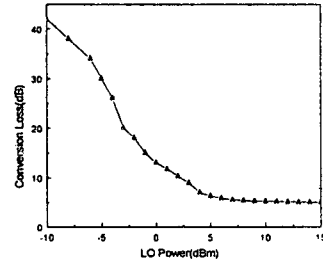


그림 5. LO 전력에 대한 변환손실

그림 6은 LO-RF 분리도를 보여준다. 이는 통신에서 중요한 요소로서 LO나 RF power leakage에 의해서 여러 가지 스퓨리어스가 만들어 질 수 있다. 이와 같은 특성은 Rat-race의 특성에 의해서 결정되므로 Rat-race의 설계가 가장 중요한 요소가 되겠다. Rat-race의 특성이 LO 주파수 대역 (5.58 GHz~5.68 GHz) 대역과 RF 주파수(5.725 GHz~5.875 GHz)대역에서 30 dB이상의 저지특성을 보이며, 그 외의 스퓨리어스 응답을 효과적으로 억제시키는 것을 보여주고 있다. 이와 같은 이유로 분리도는 최소 27 dB(LO Power: 10 dBm)이상의 특성을 보여주고 있다. 또한 그림 7은 LO-IF 의 분리도를 나타내어 준다. 이 특성은 low-pass filter에 의해 주로 결정된다. Microstrip 구조의 필터와의 특성을 비교해 보면 회로크기에 비해 좋은 분리도를 얻을 수 있었으며, LO power에 큰 영향 없이 50 dB이상의 특성을 확보 하였다.

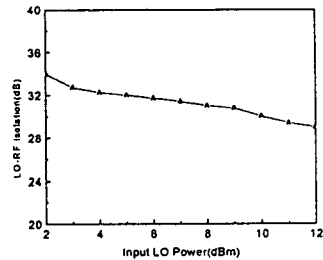


그림 6. LO 전력에 대한 LO RF 분리도 (RF : -20 dBm)

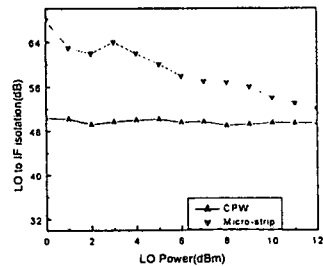


그림 7. LO 전력에 대한 LO IF 분리도 (RF : -20 dBm)

그림 8은 IMD3 (Third Order Inter-modulation Distortion) 특성을 보여주고 있다. RF 주파수 5.78 GHz 와 5.77 GHz를 각각 RF1 과 RF2로 입력하고 LO 주파수를 5.635 GHz로 입력하였을 때 IMD3 성분은 155 MHz 와 125 MHz에서 나타난다. 입력 RF 전력들은 각각 30 dBm ~ 0 dBm 으로 인가하고 LO 전력은 5.635 GHz에서 5 dBm으로 인가하였다. IMD3 특성은 입력 RF 전력이 -13 dBm까지 증가 될 때까지 그 특성이 향상되고 그 이상의 전력이 인가되면 급속히 특성이 악화된다. 대역 내에서 최고 47 dBc의 특성을 얻었다.

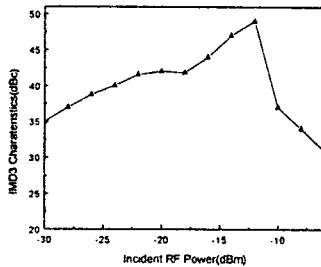


그림 8. RF신호에 대한 IMD 특성 값

#### IV. 결론

본 논문에서는 Finite-Ground CPW 구조를 사용하여 C-band 대역의 믹서를 설계 및 제작하였다. 일반적으로 CPW 구조가 mm파 대역에서 많은 장점을 가진 구조로 알려져 있지만 본 논문에서는 상용 대역에서도 충분한 가능성을 제시하고 있다. 공정상의 단순함과 dispersion의 감소에 의한 group-delay의 감소, 그리고 MMIC와의 집적화에 용이성 등과 같은 장점으로 인해 미래에 더욱 많이 사용되어 질 수 있는 구조라 예측된다. 더욱이 신호선에 슬릿을 삽입한 구조의 저역 통과 필터는 구조의 단순함이나 광대역에서 고조파 성분을 억압하고 회로 크기를 줄일 수 있는 새로운 방식의 필터로써 그 유용성이 클 것이라 판단된다. 180° rat-race hybrid을 사용함으로써 LO신호에 의해 발생 될 수 있는 AM noise 을 최소화 했으며, 스푸리어스 또한 제거 할 수 있었다. 또한 특별한 필터를 삽입하지 않고도 LO-RF, LO-IF 분리특성을 30 dB 이상 확보 할 수 있었다. 변환손실은 최고 5.5 dB 이상의 특성을 보여 주고 있다. 이와 같은 FG-CPW 구조를 이용한 구조를 다른 종류의 RF회로에 적용한다면 보다 좋은 성능의 회로의 제작이 가능하리라 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구에 도움을 주신 광운대학교 RFIC 교육 및 연구 센터, Agilent 테크놀로지에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- [1] K. Beilenhoff and W. Heinrich, "Excitation of the Parasitic Parallel-Plate Line Mode at Coplanar Discontinuities," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.* pp. 1789-1792, 1991.
- [2] R. Shimon, D. Caruth, J. Middleton, and H. Hsia, "Low Cost Coplanar 77 GHz Single Balanced Mixer Using Ion-Implanted GaAs Schottky Diode," *IEEE MTT-S Symp. Dig.* pp. 747-781, 1998.
- [3] C. C. Yang, "A Multioctave Bandwidth Rat-Race Singly Balanced Mixer," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 1049-1052, 1999.
- [4] H. Matsuura, K. T. Tezuka, I. Aoki, M. Yamanaka, and S. Kobayashi, "Monolithic Rat-race Mixers for Millimeter Wave," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 6, pp. 839-841, 1998.
- [5] N. I. Dib and M. Gupta, "Characterization of Asymmetric Coplanar Wave Guide Discontinuities," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, pp. 1549-1558, 1993.
- [6] M. Yu and M. Matloubian, "W-band InP-based HEMT MMIC Power Amplifiers Using Finite-Ground CPW," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.* pp. 1212-1218, 1998.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*. John Wiley & Sons, pp. 568-576, 1998.
- [8] B. C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*. pp. 457-458, 1998.