

# Vertical Coupling 구조를 이용한 광대역 단일 혼합기의 설계

## Design of a Broadband Single Balanced Diode Mixer Using a Vertical Coupling Structure

이명길

(광운대학교 석사과정)

윤태순

(광운대학교 박사과정)

남희

(광운대학교 석사과정)

이종철

(광운대학교 부교수)

Key Words : 광대역 Rat-Race Ring, Vertical Coupling, 광대역 단일 혼합기

### 목 차

I. 서론

II. 광대역 Rat-Race Ring과 광대역 단일 혼합기

III. 실험 결과

IV. 결론

감사의 글

참고문헌

## I. 서론

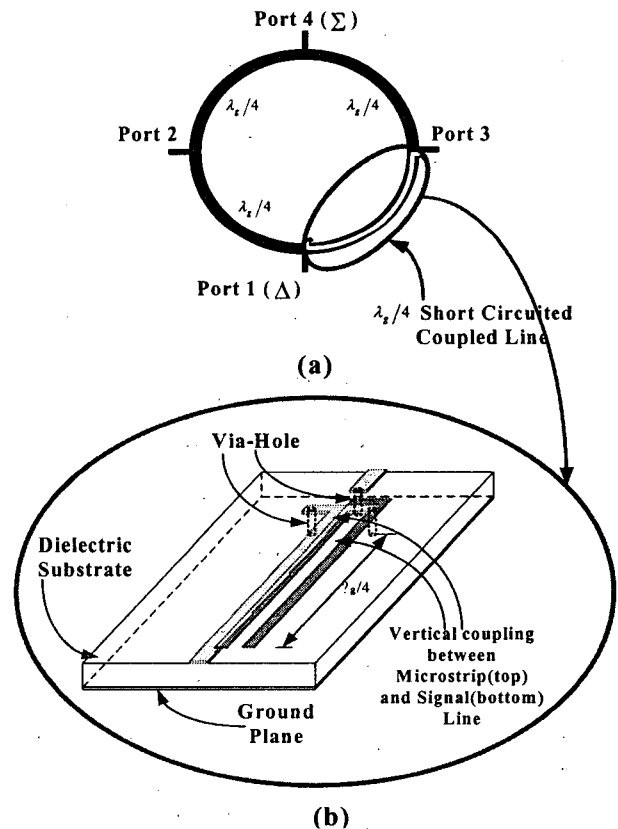
현재 빠르게 발전하고 있는 광대역 통신시스템 분야에 맞추어 광대역 단일 혼합기의 연구도 빠르게 진행되어지고 있다. 하지만 일반적으로 사용되어지는 마이크로스트립 전송선로 상에서의 광대역 하이브리드는 구현의 어려움으로 반도체 공정이나 특성 임피던스의 변환등을 통한 방식으로 연구되어져 왔다. 하지만 본 논문에서는 이러한 변화 없이 마이크로스트립 상에서의 광대역 하이브리드를 구현하고 이를 통해 광대역 단일 믹서를 설계 및 구현하였다. 일반적으로 마이크로 회로 구현에 있어서 180° hybrid rat-race는 가장 기본적인 구성 요소로서 응용되어지고 있다. 하지만 180° hybrid rat-race는 자체적으로 갖고 있는 협대역 특성으로 인해 많은 응용상의 제약을 받아 왔다. 이러한 단점을 극복하고자 많은 연구가 진행되어져 왔으며, 그 대표적인 방법은 180° hybrid rat-race의 3λ/4 전송선로 구간에 이에 해당하는 등가회로인 3 dB λ/4 단락 커플러로 대체함으로써 대역폭에 대한 보상을 받을 수 있게 되고, 70% 이상의 대역폭을 얻을 수 있게 된다 [1]. 하지만 대역폭이 증가함에 따라 3 dB λ/4 단락 커플러의 even-mode 임피던스값 (Z<sub>oe</sub>=120.7 Ω, Z<sub>oo</sub>=20.7 Ω)이 너무 커지게 되어 마이크로 스트립상에서 구현이 불가능 하게 된다 [2].

본 논문에서는 3 dB λ/4 단락 커플러를 통한 180° hybrid rat-race를 실제 구현 가능하기 위해 λ/4 short vertical coupled line으로 대체함으로써 실제 구현 가능성을 보였고, 이를 통해 광대역단일 혼합기를 설계 하였다.

## II. 광대역 Rat-Race Ring과 광대역 단일 혼합기

일반적 병렬 커플러의 경우 커플링 값(k)은 상호 캐패시턴스 (mutual capacitance, C<sub>m</sub>)과 자기 캐패시턴스 (self capacitance, C<sub>a</sub>) 로 정의 되며, 이에 대한 수식적인 정의는 식(1)과 같다 [3].

$$k = C_m / (C_m + C_a) \quad (1)$$



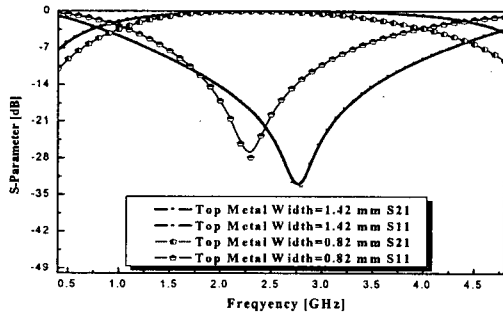
<그림 1> (a) 광대역 Rat-Race 하이브리드  
(b) Vertical Coupling 구조

<Fig. 1> (a) Broadband Rat-Race Hybrid  
(b) Vertical Coupling Structure

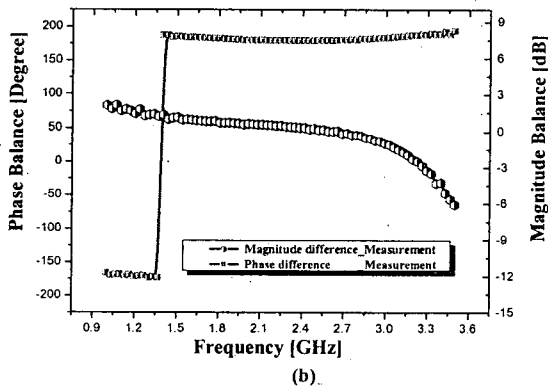
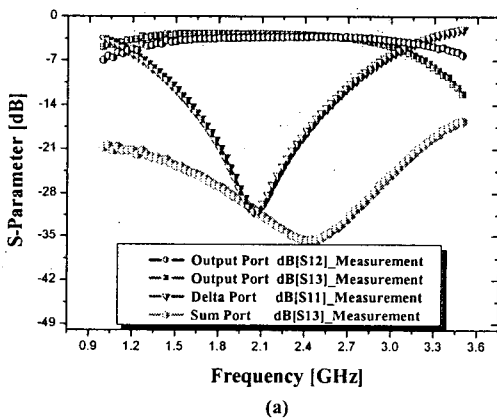
또한, 유전체에서의 상위 메탈과 하위 메탈에서의 캐패시턴스 (C)는 C=εA/d 로 정의 되며, ε 는 유전체의 유전율, A

는 상위 메탈과 하위 메탈에서의 면적 그리고 d 는 상위 메탈과 하위 메탈의 거리에 해당한다. 위에서 언급된 내용과 같이 3 dB  $\lambda/4$  coupled line의 경우 even-mode 임피던스 값이 너무 커지기 때문에 실제 구현이 불가능하게 된다.

따라서 본 논문에서는 상위 메탈과 하위 메탈간의 via-hole을 통해 구현한  $\lambda/4$  short coupled line으로 대체함으로써 3 dB에 가까운 값을 구현 할 수 있었고 마이크로스트립 전송 선로의 특성을 유지하면서 광대역의 대역폭을 보이는 링 하이브리드의 특성을 EM simulator인 HFSS (Ver. 9.2.1)를 통해 확인할 수 있었다. <그림 2>는 이에 대한 측정 결과로써 상위 메탈의 임피던스가 50 $\Omega$ , 70.7 $\Omega$ 일 경우 중심주파수 2.2 GHz를 중심으로 85 %, 60 % 이상의 대역폭을 각각 나타내었다.

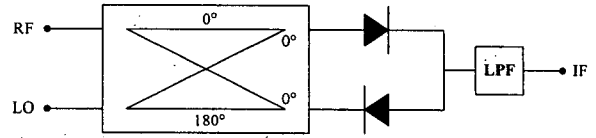


<그림 2> Vertical Coupling 구조의 설계 결과  
<Fig. 2> Simulation results for the vertical coupling structure



<그림 3> 광대역 Rat-Race의 (a) S-parameter 측정 결과  
(b) Balanced parameter 측정 결과  
<Fig. 3> Measurement results of (a) S-parameters and  
(b) Balanced parameters for the broadband rat-race

<그림 3(a)>는 광대역 Rat-Race의 S-parameter 측정 결과로써 67. %의 대역폭을 나타내었고, 대역폭 내에서 -20 dB 이하의 격리도(isolation)를 나타내었다. <그림 3(b)>는 광대역 Rat-Race의 Balanced parameter로써 출력포트 상에서 3 dB  $\pm$  0.45 dB와 180 $^\circ$   $\pm$  3 $^\circ$ 를 67 %의 대역폭에서 각각 나타내었다.



<그림 4> 단일 혼합기에서의 RF와 LO의 위상  
<Fig. 4> Phase relationship between RF and LO for a single balanced mixer

<그림 4>는 180 $^\circ$  hybrid rat-race 단일 혼합기의 RF와 LO의 위상관계와 기본적인 회로도이다. 180 $^\circ$  hybrid rat-race에서, 서로 분리되어 있는(isolation) 두 개의 단자에 RF와 LO 신호가 각각 입력됨으로써 RF와 LO의 분리도가 180 $^\circ$  hybrid rat-race 자체의 특성으로 확보되게 된다. 본 논문에서 새로운 방식인 Vertical Coupling 구조를 통해 설계된 광대역 180 $^\circ$  hybrid rat-race는 67 %의 대역폭 내에서 -20 dB 이하의 분리도를 보였으므로, RF와 LO의 분리도 역시 이 이하의 값을 가지게 된다.

단일 혼합기는 스퓨리어스 응답, 노이즈 제거 등의 장점을 갖고 있다. 이러한 특성은 다이오드에 걸리는 RF, LO, IF 주파수 성분의 전압과 전류를 고려하여 해석 할 수 있으며, 전력에 의한 I/V 특성을 간략화 하여 해석 할 수 있다. LO 신호가 입력될 때 180 $^\circ$  hybrid rat-race의 특성에 의해 두 개의 다이오드에 180 $^\circ$  위상 차이가 나타나게 되고, RF 신호는 두 개의 다이오드에 동위상으로 입력되게 된다. 이 때 한쪽의 다이오드 방향을 바꿔 줌으로써 두 다이오드의 접합 컨덕턴스의 파형이 동일하게 된다. 이를 통해 동위상의 IF 신호를 출력해 낼 수 있게 된다 [4, 5].

본 논문에서는 RF 대역폭이 1.5 GHz ~ 3 GHz, LO 대역폭은 1.64 GHz ~ 3.14 GHz, IF 신호는 140 MHz 를 갖는 광대역 단일 혼합기를 설계한다. 사용한 소자는 Agilent사의 HSMS-8101 Schottky diode를 사용하였고 ADS(Ver. 2004A)를 통해 설계하였다.

### III. 실험 결과

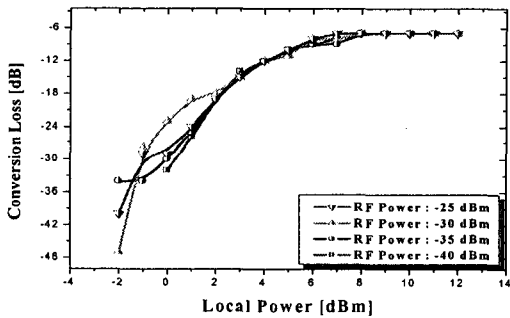
혼합기에는 여러 중요 파라미터가 있다. 이 중에서 가장 중요한 파라미터는 일정 수준이상의 LO power 레벨에 따라 일정한 값을 갖게 되는 변환 손실 (conversion loss)이다. 따라서 혼합기의 설계에 있어서 LO power saturation 레벨을 확인하는 것이 무엇보다 중요하게 된다. 다음으로는 RF 신호가 IF 신호로 바뀌는 과정에서의 변환 손실(conversion loss)과, 각 포트(RF to LO, LO to IF) 간의 격리도(isolation)등이다.

<그림 5(a)>는 RF power와 LO power의 변화에 대한 변환 손실에 대한 측정 결과를 나타낸다. 측정 결과에서와 RF power 레벨에 큰 변화 없이 LO power가 7 dBm 이상일 경우 변환 손실이 6.5 dB를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. <그림 5(b)>는 RF 주파수가 대역폭 내에서(1.5 GHz ~ 3 GHz)에서의 변환손실을 나타내고 있다. 측정결과에서와 같이 LO power 레벨이 5 dBm 이상일 경우 RF power 레벨에 상관없이 일정한 값을 나타내었고 최대 6.5 dB의 변환 손실과 평균 10 dB의 변환 손실을 나타내었다.

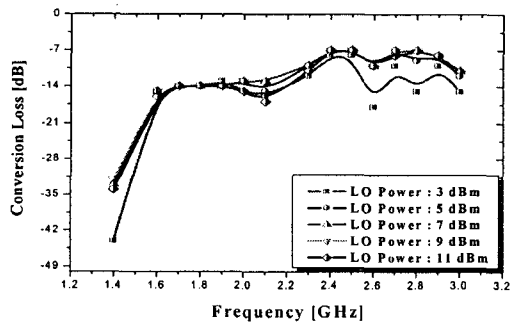
<그림 6(a)>는 RF와 LO의 격리도에 대한 측정 결과이다. 측정 결과에서와 같이 1.5 GHz ~ 3 GHz의 대역폭 내에서 RF power의 변화에 대하여 -23 dB 이상의 RF와 LO의 격리도를 나타내었고, <그림 6(b)>에서는 LO 와 IF 간의 격리도로서 LO power의 변화에 대해 -70 dB ~ -30 dB의 우수한 LO 와 IF의 격리도를 나타내었다.

<그림 7>은 RF 주파수와 power가 각각 2.7 GHz, -25 dBm 와, LO 주파수와 power가 2.84 GHz, 7 dBm일 때의 IF 출력 power로서 -32.53 dBm을 나타내었다.

<그림 8> 실제 제작된 광대역 단일 혼합기로서 IF 단에서의 LO와 IF, RF와 IF의 격리도를 향상을 위하여 chebyshev 저역 통과 여파기를 5단으로 구현 하여 IF단에서의 RF 및 LO 주파수 성분을 제거 하였다.



(a)



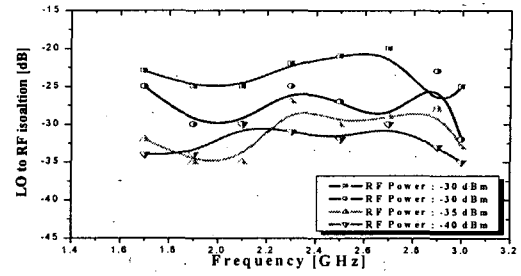
(b)

<그림 5> (a) LO power와 변환손실

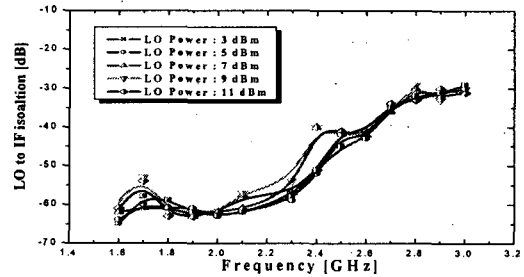
(b) RF 주파수에 대한 변환 손실

<Fig. 5> (a) LO power and conversion loss,

(b) Conversion loss due to RF frequency



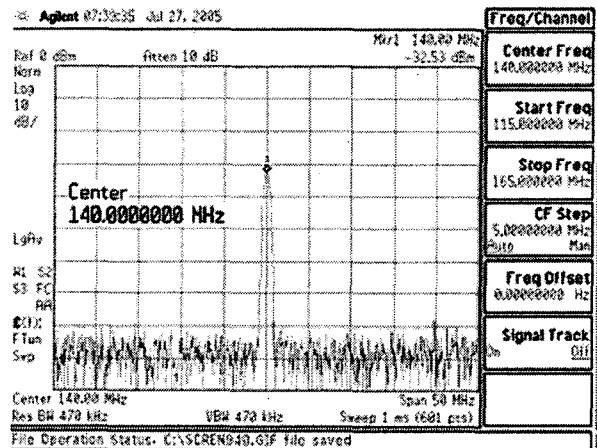
(a)



(b)

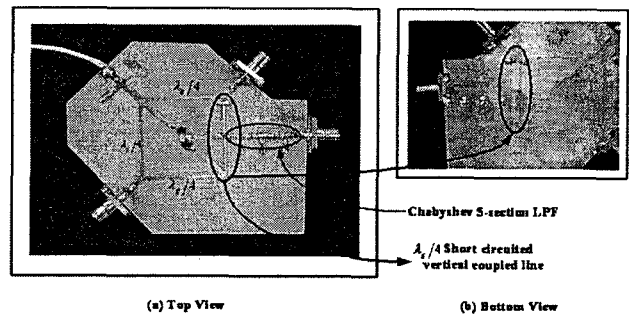
<그림 6> (a) RF 와 LO의 격리도 (b) LO 와 IF의 격리도

<Fig. 6> (a) Isolation between RF and LO, (b) Isolation between Lo and IF



<그림 7> IF 출력 power

<Fig. 7> IF output power



(a) Top View

(b) Bottom View

<그림 8> 실제 제작된 광대역 단일 혼합기

<Fig. 8> Photograph for the broadband single balanced mixer

## IV. 결론

본 논문에서는 광대역 단일 혼합기를 Vertical Coupling이란 새로운 구현 방식을 통해 광대역 Rat-Race를 통해 구현 하였다. 광대역 Rat-Race 는  $180^\circ \pm 3^\circ$  의 위상 변이,  $3 \text{ dB} \pm 0.6 \text{ dB}$  의 삽입손실특성을  $1.5 \sim 3 \text{ GHz}$ 에서, 즉 67 %의 대역폭에서 나타내었다. 또한 설계된 광대역 단일 혼합기는 67 %의 대역폭 ( $1.5 \text{ GHz} \sim 3 \text{ GHz}$ )에서 평균 10 dB의 변환손실과 30 dB의 LO와 RF의 격리도를 나타내었고, LO와 IF간의 격리도는 평균 40 dB를 나타내었다.

본 논문에서 제안된 광대역 단일 혼합기는 추후 광대역 통신시스템에서 광범위하게 응용될 수 있으리라 기대 된다.

## 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2005-(C1090-0502-0034))

## 참고 문헌

- [1] S. March, "A Wideband Stripline Hybrid Ring," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 16, pp. 361-361, June 1968.
- [2] S. Rehnmark, "Wide-Band Balanced Line Microwave Hybrids," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 25, pp. 825-830, Oct. 1977.
- [3] R. Mongia, I. Bahl, and P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled-line Circuits*, Artech House, Boston-London, Chap. 8, 1999.
- [4] S. A. Mass, *Microwave Mixer*, 2<sup>nd</sup> Edition, Artech House, Boston-London, Chap. 7, 1993.
- [5] Y. H. Lin and Y. J. Chan, "2.4 GHz. Single Balanced Diode Mixer Fabricated on  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Substrate," *Proc. Asia Pacific Microwave Conf.*, vol. 2, pp. 218-221, Dec. 1999.