

Vertical Coupling 구조를 이용한 광대역 단일 평형 다이오드 혼합기의 설계

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

이 명 길* 윤 태 순** 남 희** 이 중 철**
(Myeong-Gil Lee) (Tae-Soon Yun) (Hee Nam) (Jong-Chul Lee)

요 약

본 논문에서는 vertical coupling이라는 새로운 구조를 통해 구현한 광대역 rat race ring을 이용하여 광대역 단일 평형 다이오드 혼합기를 설계 및 구현하였다. RF 주파수 범위는 1.5 ~ 3 GHz, LO의 주파수 범위는 1.64 ~ 3.14 GHz의 광대역 주파수 범위에서 140 MHz의 IF 주파수를 선택하였다. 입력되는 LO 신호가 2.74 GHz에서 6 dBm, RF의 입력 신호가 2.6 GHz에서 40 dBm일 때의 출력 포트(IF)에서의 변환손실은 7.5 dB와 30 dB의 RF와 LO의 우수한 격리도를 측정 결과에서 각각 나타내었다. 1.5 ~ 3 GHz의 광대역 RF 주파수 범위 내에서 평균 10 dB의 변환손실과 30 dB의 높은 RF와 LO 격리도, 45 dB의 LO와 IF 격리도를 측정결과에서 각각 나타내었다.

Abstract

In this paper, a broadband single balanced mixer is presented using a wideband rat-race implementation by vertical coupling. Frequency is selected as 1.5 ~ 3 GHz for RF, 1.64 ~ 3.14 GHz for LO, and 140 MHz for IF signals. When LO signal with 6 dBm at 2.7 GHz is injected, a conversion loss of 7.5 dB and RF to LO isolation of 30 dB are obtained. Also, an average conversion loss of 10 dB, RF to LO isolation of 30 dB, and LO to IF isolation of 45 dB are obtained for frequency band of 1.5 ~ 3 GHz.

Key Words : Broadband Rat-Race Ring, Vertical Coupling, Single Balanced Mixer

I. 서 론

현재 빠른 발전을 보이고 있는 광대역 통신 시스템 분야에 맞추어 광대역 단일 혼합기의 연구도 빠르게 진행되고 있다. 특히 단일 혼합기는 구현의 용이함과 IF출력포트 단에 저역통과 여파기를 설치하게 되면 모든 포트에서 우수한 격리도를 얻을 수 있는 장점으로 현재 많이 이용되고 있다. 특히 이

중에서 ratrace ring을 이용한 단일 혼합기는 구현의 용이함 및 높은 격리도, LO의 잡음제거 등의 우수한 특성으로 인해 가장 많이 사용되고 있다.

하지만 일반적으로 사용되는 마이크로스트립 전송선로 상에서의 ratrace ring을 포함한 광대역 하이브리드는 구현과 설계의 어려움으로 반도체 공정이나 특성 임피던스의 변환등을 통한 방식으로 연구되어 왔다 [1]. 하지만 본 논문에서는 이러한 특

* 주저자 : 광운대학교 전자공학과
** 공저자 : 광운대학교 전자공학과
† 논문접수일 : 2005년 9월 7일

정한 변화 없이 마이크로스트립 상에서의 광대역 하이브리드를 구현의 가능성을 보이고 이를 통해 광대역 단일 믹서를 설계 및 구현하였다.

일반적으로 마이크로 회로 구현에 있어서 180° hybrid ratrace는 가장 기본적인 구성 요소로서 응용되고 있다. 하지만 180° hybrid ratrace는 자체적으로 갖고 있는 협대역 특성으로 인해 많은 응용상의 제약을 받아 왔다. 이러한 단점을 극복하고자 많은 연구가 진행되어 왔으며, 그 대표적인 방법은 180° hybrid ratrace의 3λ/4 전송선로 구간에 이에 해당하는 등가회로인 3 dB λ/4 단락 커플러로 대체함으로써 대역폭에 대한 보상을 받을 수 있게 되고, 이론적으로 70 % 이상의 대역폭을 얻을 수 있게 된다 [2]. 하지만 대역폭이 증가함에 따라 3 dB λ/4 단락 커플러의 even-mode 임피던스값 (Zoe=120.7 Ω, Zoo=20.7 Ω)이 너무 커지게 되어 마이크로 스트립 상에서 구현이 불가능하게 된다 [3].

본 논문에서는 3 dB λ/4 단락 커플러를 통한 180° hybrid ratrace를 실제 구현 가능하기 위해 λ/4 short vertical coupled line라는 via-hole을 통해 구현된 새로운 구조로 대체함으로써 실제 구현 가능성을 보였고, 이를 통해 광대역의 ratrace ring을 제작하였고 이에 대한 응용으로 광대역 단일 혼합기를 설계 및 제작 하였다.

II. 광대역 Rat Race Ring과 광대역 단일 혼합기

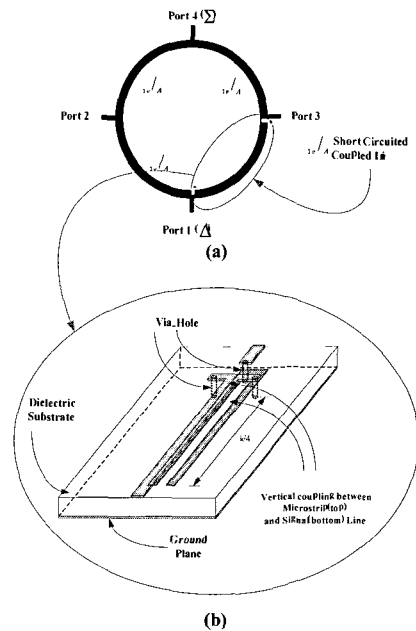
일반적인 병렬 커플러의 경우 커플링 값(k)은 상호 캐패시턴스 (mutual capacitance, Cm)과 자기 캐패시턴스 (self capacitance, Ca) 로 정의 되며, 이에 대한 수식적인 정의는 식(1)과 같다 [3].

$$k = \frac{C_m}{C_m + C_a} \quad (1)$$

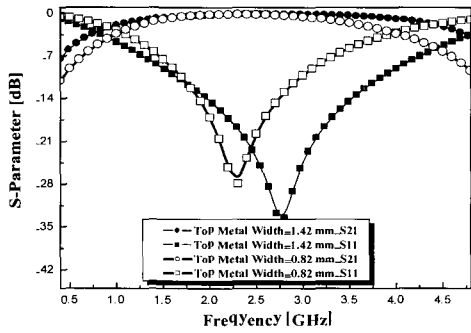
또한, 유전체에서의 상위 메탈과 하위 메탈에서의 캐패시턴스 (C)는 $C = \epsilon A/d$ 로 정의 되며, ϵ 는 유전체의 유전율, A 는 상위 메탈과 하위

메탈에서의 면적 그리고 d 는 상위 메탈과 하위 메탈의 거리에 해당한다. 수식적인 정의 에서와 같이 커플링 값(k)는 유전율에 비례하고 두 도체의 거리에 반비례하게 된다. 따라서 본 논문에서는 유전체를 중심으로 상위 메탈과 하위 메탈간의 via-hole을 통한 새로운 결합기의 구조를 제안하였다. 이 구조의 가장 큰 장점은 결합기가 유전체 내부를 통과함으로써 기존의 병렬 구조에 비해 높은 커플링 값(k)을 갖게 되는 점이다. 이에 해당하는 구조는 <그림 1>과 같으며 λ/4 short coupled line으로 대체된 이 구조는 3 dB에 가까운 커플링 값(k)을 구현 할 수 있었고 마이크로스트립 전송 선로의 특성을 유지하면서 광대역의 대역폭을 보이는 링 하이브리드의 특성을 EM simulator인 HFSS (Ver. 9.2.1)를 통해 확인 할 수 있었다.

<그림 2>는 이에 대한 설계 결과로써 상위 메탈의 임피던스가 50 Ω, 70.7 Ω일 경우 중심주파수 2.2 GHz를 중심으로 85 %, 60 % 이상의 광대역 특성을 각각 나타내었다.

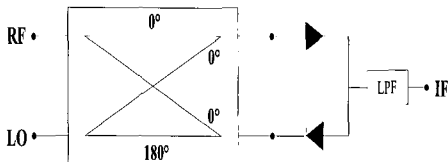


<그림 1> (a) 광대역 Rat Race 하이브리드 (b) Vertical Coupling 구조
<Fig. 1> (a) Broadband Rat Race Hybrid (b) Vertical Coupling Structure

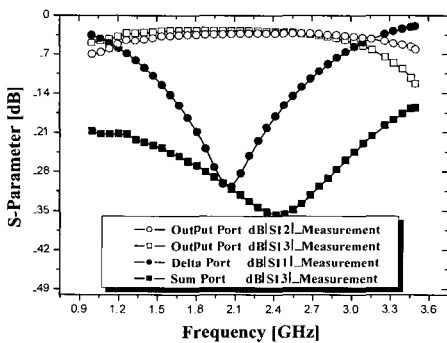


<그림 2> Vertical Coupling 구조의 설계 결과
<Fig. 2> Simulation results for the vertical coupling structure

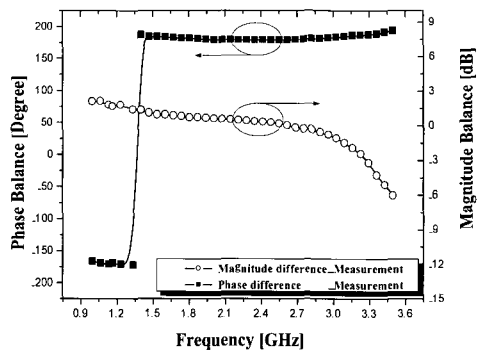
<그림 3(a)>는 광대역 Rat-Race의 Sparameter 측정 결과로써 67 %의 대역폭을 나타내었고, 대역폭 내에서 -20 dB 이하의 우수한 격리도(isolation) 특성을 나타내었다. <그림 3(b)>는 광대역 Rat-Race의 Balanced parameter로써 출력포트 상에서 $3 \text{ dB} \pm 0.45 \text{ dB}$ 와 $180^\circ \pm 3^\circ$ 를 67%의 광대역의 대역폭 내에서 각각 나타내었다.



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



(a)



(b)

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

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

단일 혼합기는 스푸리어스 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° hybrid rat-race의 특성에 의해 두 개의 다이오드에 180° 위상 차이가 나타나게 되고, RF 신호는 두 개의 다이오드에 동위상으로 입력되게 된다. 이 때 한 쪽의 다이오드 방향을 바꿔 줌으로써 두 다이오드의 접합 컨덕턴스의 파형이 동일하게 된다. 이를 통해 동위상의 IF 신호를 출력해 낼 수 있게 된다 [5, 6].

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)등이 대표적이다.

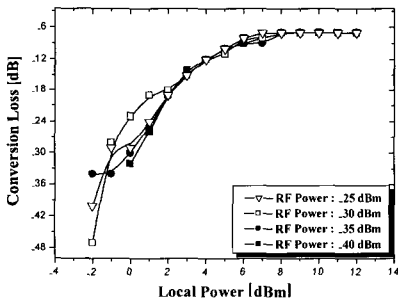
<그림 5(a)>는 RF power와 LO power의 변화에 대한 변환 손실에 대한 측정 결과를 나타낸다. 측정 결과에서와 RF power 레벨에 큰 변화 없이 LO power가 7 dBm 이상일 경우 변환 손실이 6.5 dB를 나타내는 것을 확인할 수 있다. <그림 5(b)>는 RF 주파수가 대역폭 내에서(1.5 GHz ~ 3

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 변환손실을 나타내었다.

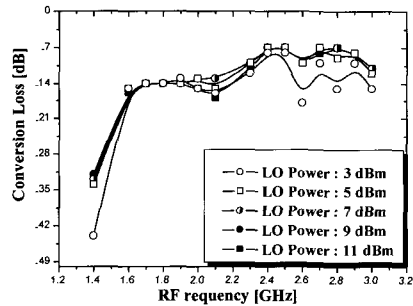
<그림 6(a)>는 RF와 LO의 격리도에 대한 측정 결과이다. 측정 결과에서와 같이 1.5 GHz ~ 3 GHz의 대역폭 내에서 RF power의 변화에 대하여 -23 dB 이상의 RF와 LO의 격리도를 나타내었고, <그림 6(b)>에서는 LO 와 IF 간의 격리도로서 LO power의 변화에 대해 -70 dB ~ -30 dB의 우수한 LO 와 IF의 격리도를 나타내었다.

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

<그림 8> 실제 제작된 광대역 단일 혼합기로서 IF



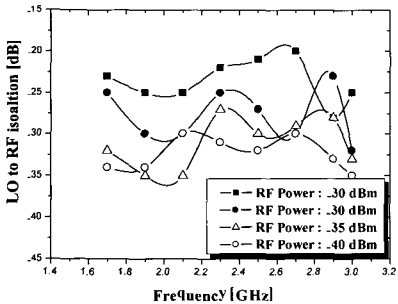
(a)



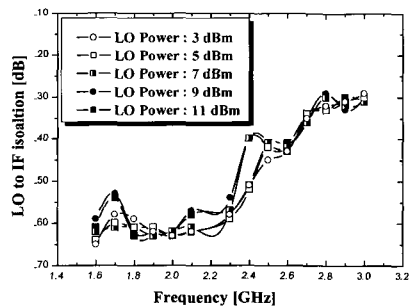
(b)

<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)

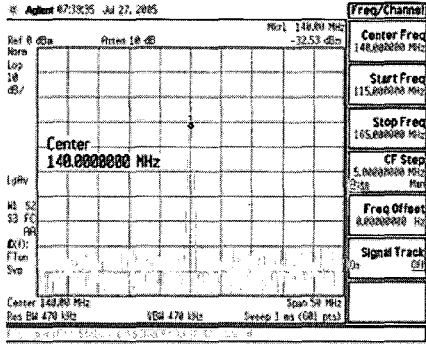


(b)

<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

단에서의 LO와 IF, RF와 IF의 격리도 향상을 위하여 Chebyshev 저역 통과 여파기를 5단으로 구현하여 IF 단에서의 RF 및 LO 주파수 성분을 제거 하였다.



<그림 7> IF 출력 power
<Fig. 7> IF output power

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

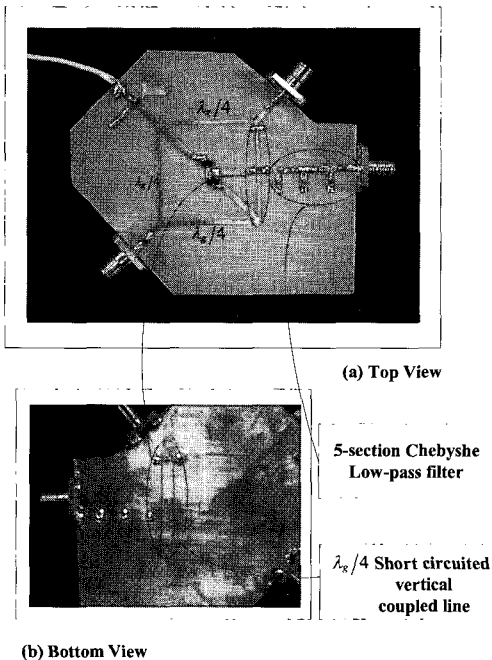
본 논문에서 제안된 광대역 단일 혼합기는 추후 광대역 통신시스템에서 광범위하게 응용될 수 있으리라 기대 된다.

V. 감사의 글

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

참고 문헌

- [1] K. S. Any, Y. C. Leong, and C. H. Lee, "A New Class of Multisection 180 Hybrid Based on Cascadable Hybrid-Ring Couplers," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 50, pp. 2147-2152, Sept. 2002.
- [2] S. March, "A Wideband Stripline Hybrid Ring," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 16, pp. 361-361, June 1968.
- [3] S. Rehnmark, "Wide-Band Balanced Line Microwave Hybrids," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 25, pp. 825-830, Oct. 1977.
- [4] R. Mongia, I. Bahl, and P. Bhartia, RF and Microwave Coupled-line Circuits, Artech House, Boston-London, Chap. 8, 1999.
- [5] S. A. Mass, Microwave Mixer, 2nd Edition, Artech House, Boston-London, Chap. 7, 1993.



<그림 8> 실제 제작된 광대역 단일 혼합기
<Fig. 8> Photograph for the broadband single balanced mixer

IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 단일 혼합기를 Vertical

- [6] Y. H. Lin and Y. J. Chan, "2.4 GHz Single Balanced Diode Mixer Fabricated on Al₂O₃ Substrate," Proc. Asia Pacific Microwave Conf., vol. 2, pp. 218-221, Dec. 1999.

〈 저 자 소개 〉



이 명 길 (Lee, Myoung-Gil)

2004년 2월 : 수원대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)



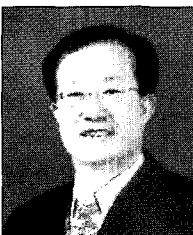
윤 태 순 (Yun, Tae-Soon)

2000년 2월 : 국민대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정



남 희 (Nam Hee)

2003년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
2004년 8월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



이 종 철 (Lee, Jong-Chul)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학 석사)
1989년 12월 : Arizona State Univ. EE Dept. (공학 석사)
1994년 5월 : Texas A&M Univ. EE Dept. (공학 박사)
1994년 6월 ~ 1996년 2월 : 현대전자 광소자 개발실 (선임연구원)
1996년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 전임강사/조교수/부교수