

24GHz대역 단일 평형 다이오드 주파수 혼합기의 설계 및 제작

강상록* · 박창현* · 김장구* · 조현식* · 한석균* · 최병하**
* 목포해양대학교 전자·통신공학과

Design of a Single-Balanced Diode Mixer at 24GHz

Sang-Rok Kang * · Chang-Hyun Park* · Jang-Gu Kim* ·
Hyun-sik Cho* · Sok-Kyun Han* · Byung-Ha Choi**

Department of Electronic communication Mokpo Maritime University
E-mail : okksr@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 쇼트키 장벽 빔 리드 다이오드와 180°hybrid coupler를 이용하여 24.10GHz 대역에서 동작하는 단일 평형 주파수 혼합기를 설계 및 제작하였다. 제작된 혼합기는 변환손실이 6 [dB] , RF/LO 격리도가 [23]dB, P1dB(in)는 5 [dBm]의 결과를 얻었다. 본 논문에서 제작한 혼합기는 근거리 표적 탐지용 homedyne 레이더에 이용가능 할 것이다.

Abstract

In this papaer a plannar singly balanced diode Mixer for 24GHz band application is designed and implemented using a microstrip line and two schottky barrier beam lead mixer diodes. The implemented mixer have a conversion loss of 6 [dB], LO/RF isolation of 23 [dB], input 1dB compression point of 4 [dBm]. this diode mixer would be useful for homedyne radar.

키워드

SBM(Single Balanced Mixer), FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave), Counversion Loss

1. 서론

FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더는 펄스 레이더에 비해 송신 신호가 연속적이므로 작은 출력 파워로도 같은 성능을 얻을 수 있고 동일한 발진기가 송수신기에 사용 되므로 구조적으로 간단하고 자동차 응용과 같은 근거리 이동 표적의 거리와 속도를 측정하는데 적합하다[1].

따라서, 본 논문에서는 근거리 표적 탐지를 위한 FMCW 레이더 개발과 관련하여 24GHz에서 동작하는 다이오드 주파수 혼합기의 설계.제작을 목적으로한다. microstrip line과 쇼트키 장벽 빔리드 믹서 다이오드를 이용하여 높은 LO/RF 와 LO/IF 격리도와 고조파억제, LO의 AM Noise 제거한 가능한 단일 평형 주파수 혼합기 회로를 설계 및 제작하였다.

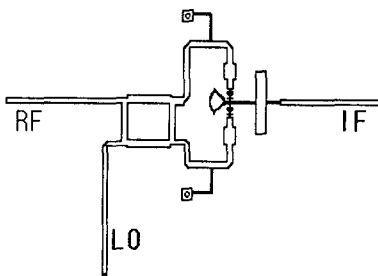
표 1 믹서 주요 특성

Center Frequency	24.10 [GHz]
Band Width	200 [MHz]
Beat Frequency(IF)	DC ~ 200 [MHz]
LO Power	5 ~7 [dBm]
P1dB(input)	5 [dBm]
LO_RF isolation	20dB 이상
LO_IF isolation	20dB 이상
Conversion loss	8dB 이하
N.F	10dB 이하
RF_LO return loss	10dB 이하
IF return loss	10dB 이하
빔 리드 다이오드	DMK2790

II. 설계 및 제작

본 논문에서의 단일 평형 혼합기는 그림 1과 같이 180 hybrid, RF choke, 다이오드 매칭 회로, IF LPF, 그리고 두 개의 쇼트키 범 리드 다이오드로 구성 되어 있다. 이 회로의 동작 원리는 LO, RF의 두 신호의 전력을 3 [dB], 180 hybrid 통해 두 개의 다이오드에 각각 절반씩 동일하게 나누어 공급하고 혼합시킨 다음 LPF를 통해 IF 신호를 얻게 된다. LO 신호가 다이오드를 pumping할 때 발생하는 dc 전류 성분은 RF choke를 통하여 biasing 하였으며, 주파수 변환 손실, LO/RF 격리도, 그리고 LO 포트의 반사 손실 특성을 최적화하기 위하여 수동 소자들은 momentum methode 그리고 mixer는 harmonic balance computer simulation technique을 이용하였다. LO power 클수록 sloution을 구하는데 까지 시간 소모가 많으므로 simulation 하는 sturcture에 따라 Harmonic order, max order, convergence setting에 주의를 기울려야 한다. 본 실험에서는 LO order를 8, RF order는 3, 그리고 max order는 9 정도로 하였다.

혼합기를 제작하는데 사용된 기판은 손실 계수가 작고, 주파수의 변화에도 유전율이 일정한 Rogers사의 RO4003기판을 사용하였다. 혼합기에 사용되는 비선형 소자는 우수한 비선형 특성과 각 소자들 사이에 일정한 전기적 특성, 저잡음, 적은 왜곡, 적당한 주파수 응답을 가져야 한다. 일반적으로 GaAs Schottky barrier 다이오드는 작은 접합 커패시턴스와 접합 저항, 그리고 직렬 저항을 가지고 있기 때문에 Skyworks사의 DMK 2790를 선택하였고, 설계에 필요한 다이오드 모델의 파라미터 값은 Skyworks사에서 제공한 값을 이용하였다



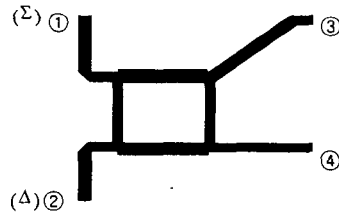
[그림 1] 단일 평형 혼합기 구조

1. 180°hybrid

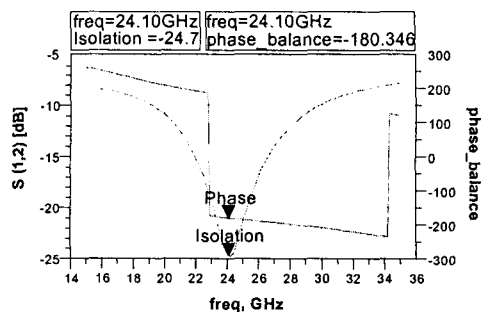
단일 평형 혼합기의 특성 중에 RF와 LO 포트에서의 반사손실, 포트간의 격리 손실, 스퓨리어스 응답을 결정짓는 가장 중요한 부분은 hybrid이다. 제작된 hybrid는 그림 2에 있는 구조로 90도 branch line에 90도를 추가하였다. 주파수 혼합기는 180°하이브리드를 통해, LO신호는 두 다이오드

의 양단에 180°위상 차로 공급하고, RF신호는 두 다이오드의 양단에 동 위상으로 공급함으로써, RF와 LO의 주파수가 거의 차이 나지 않을 때, BPF를 사용하지 않고 하이브리드만으로도 우수한 RF/LO의 격리도를 얻을 수 있고, 다이오드에 공급되는 LO신호의 위상차로 인하여 LO의 짝수 고조파 제거가 가능하기 때문에 Spurious가 많이 줄어든다. LO 신호 전압이 두 다이오드 양단에 180°의 위상차가 나타나므로 두 다이오드의 연결 중앙 부분, 즉 IF 단에서는 항상 LO 전압이 제로가 되어 IF/LO 격리도가 커진다. 두 다이오드 양단에서 동 위상인 RF신호는 LO 전력에 의해 pumping된 다이오드를 통해 IF 신호로 더해져 나오지만, LO 신호에 부가된 AM LO Noise는 LO 신호의 두 다이오드 양단에서 180°위상차로 인하여 두 다이오드로 by pass 되어 IF 단으로 빠져 나오지 못한다[2].

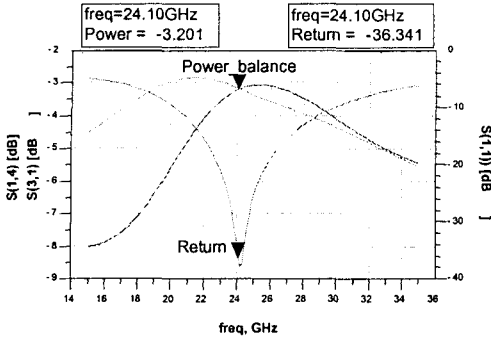
그림 3과 4에서 두 출력포트에서의 power_balance는 중심 주파수에서 -3.201dB, phase_balance는 0.346°, RF/LO단 격리도는 -25dB, Return Loss는 -36dB등 전체적으로 양호한 특성을 얻을 수 있었다.



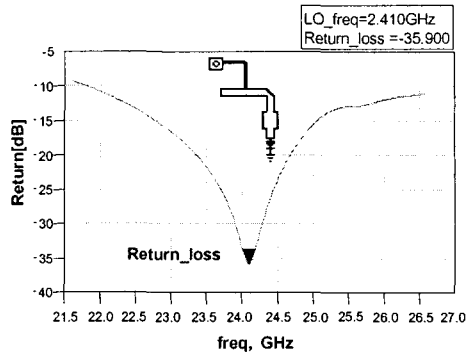
[그림 5] 180°hybrid의 구조



[그림 6] 180°Hybrid의 위상차와 격리도



[그림 7] 180°hybrid의 전력분배와 반사손실



[그림 8] Diode Return loss

2. Diode Matching , RF choke

먼저 다이오드의 입력 임피던스를 결정하기 위하여 diode의 R_s , C_{jo} 파라미터 추출 방법에는 Houlding, Deloach 방법, 그리고 vector network analyzer를 이용하는 방법등 세가지 방법등이 제시되고 있으나 여전히 한계를 갖는다[3][4]. 본 논문에서 다이오드 매칭은 실제 LO pumping power에서 hybrid를 거쳐 나오는 power level에서 matching을 이루어야 하므로 LO power에서 hybrid loss 뿐만 아니라 power pumping 한 상태에서 large signal scattering parameter simulation 통하여 입력 임피던스를 결정 후 50Ω 마이크로스트립 라인을 다이오드의 부착점으로부터 1/8파장만큼 연장시켜 다이오드의 RF 임피던스 중 허수 부분을 먼저 제거한 후, 남은 저항 성분은 1/4파장 트랜스포머를 이용하여 RF단과 다이오드와의 임피던스 정합을 이루었다.

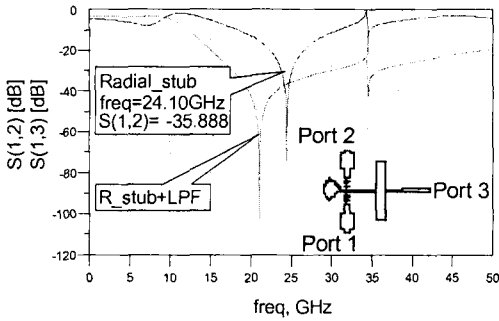
그림 5는 설계한 정합회로의 결과이다. 최종적으로 matcing 부분은 isolation, conversion loss와 return loss 등을 고려하여 hybrid에서 diode input까지의 embedding 50 ohm line의 phase 길이에 의해 impedance의 변화를 주어가며 최적화하였다. 또한 matching network 설계시 RF choke는 반드시 고려되어야 한다[5]. RF choke로 인해 diode에 유기되는 dc potential level이 변하기 때문에 RF choke를 달아주고 matching 한다. diode pair가 인접하는 부분은 RF와 LO freq에서 Radial stub에 의해 short를 구현되므로 RF, LO band에서 diode 종단은 short와 등가적으로 표현된다.

주파수 혼합기에서 bias란 두 개의 다이오드가 LO 신호에 의해 정류 동작을 할 때 발생하는 dc 성분의 전류를 어떤 폐회로 내에 흐르도록 하는 것이다. 그리고 이러한 bias 회로는 LO 신호와 RF 신호의 유출을 방지하고 dc 전류 성분만 흐르도록 하는데, 흔히 이것은 RF, LO choke를 통해 이루어진다. microstrip 전성선 개념을 이용하여 open stub의 open에서 1/4 파장의 길이만큼 이동하여 short에서 1/4 파장의 길이 만큼 이동하여 open을 이루도록 임피던스가 높은 microstrip line에 임피던스가 낮은 open stub을 달아 RF, LO choke를 구현하였다.

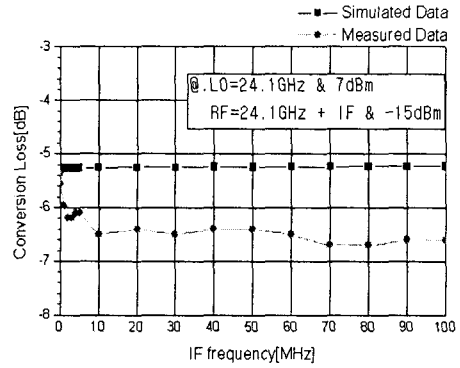
3. IF필터 및 Radial_stub

LPF의 설계시 고려해야 할 부분은 IF에서의 반사손실, RF & LO 주파수 대역에 RF, LO 격리도, 등을 고려한다. 이는 스푸리어스 형태에서 발생할 수 있는 LO, 2LO에 대한 문제를 제거하기 위함이다. 본 혼합기에서는 IF 주파수와 RF&LO 주파수와의 차가 매우 커서 주파수 차단 특성이 별 중요하지 않기 때문에 LPF의 차단 주파수를 높여 Filter의 크기를 줄였다. 필터는 흔히 사용하고 있는 high-low 임피던스 방식을 사용하여 설계하였다.

단락회로는 마이크로 스트립 라인에 비하여 광대역 특성을 갖는 오픈 부채꼴 스텐브(Radial- stub)를 이용하여 설계하였다. IF단으로 넘어가는 LO 신호전력과 RF 신호전력은 RF-to-IF, LO-to -IF의 격리도를 결정하는데 Radial-stub로서 이 양을 제거하도록 설계하였다. Radial_stub를 설계할 때는 실제 Layout를 고려해서 stub에 체결될 부분(Diode_pad, LPF)을 함께 고려해서 확인하였다. 그림 6은 Radial_stub와 LPF를 첨가했을때의 특성을 보여준다. stub를 첨가했을 때 S(1,2)는 LO 주파수에서 -35dB로 비교적 양호한 특성을 보이고 있다.



[그림 6] Radial_stub+LPF의 특성



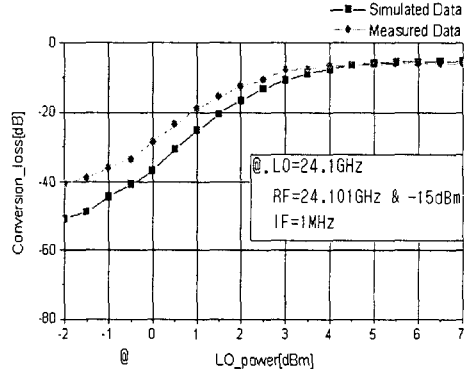
[그림 11] IF주파수에 따른 변환손실.

III. 측정 및 실험 결과

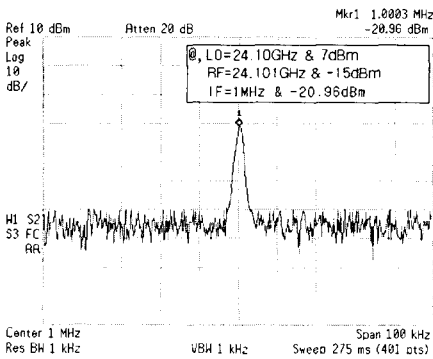
그림 7은 24.101GHz RF 주파수를 -15dBm으로 인가하고, 24.100GHz LO 주파수를 7dBm으로 인가했을 때 스펙트럼 분석기를 이용하여 IF출력을 나타낸 것으로서, 1MHz에서 -20dBm의 특성을 얻었다.

그림 8과 9는 제작한 혼합기의 변환손실을 측정하는 것으로서, 그림 8은 24GHz의 LO 신호가 7dBm의 전력으로 공급될 때 24.101~24.200GHz의 RF 주파수에서 변환손실이 6~ 6.7dB정도 나타났고, 그림 9는 RF 주파수가 24.101GHz일 때, LO 신호 전력을 7dBm까지 증가시키면서 측정한 변환손실 값이다. 측정결과 LO전력이 4~7dBm에서 변환손실이 7dB이하로 비교적 양호하게 나타났다.

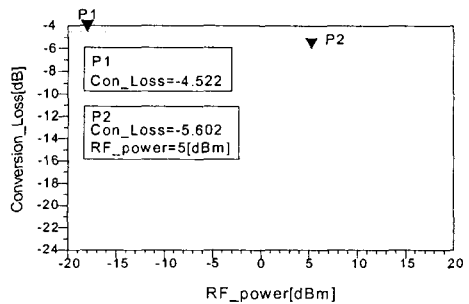
그림 10은 P1dB를 시뮬레이션한 결과이다. 24.101~24.200GHz의 RF신호전력이 4~5dBm에서 1dB compression을 나타냈다. 그림 11은 RF신호를 변화시키지 않고 24.101GHz 단일 RF신호에 대해서 스펙트럼 분석기로 측정한 LO/RF의 격리도를 나타낸 것이다. 24.100 GHz LO신호전력을 7dBm으로 인가시켰을 때의 격리도는 24dB로 비교적 양호하게 얻었다.



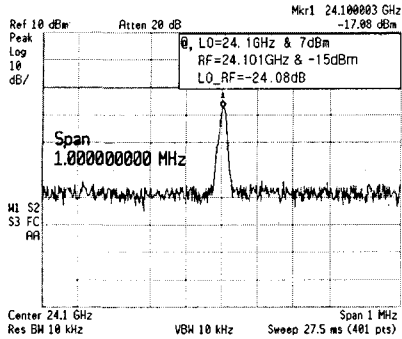
[그림 12] LO신호전력에 따른 변환 손실



[그림 10] IF 출력 스펙트럼



[그림 13] P1dB Compress : on



[그림 14] LO_RF 격리도

VI. 결 론

본 논문에서 다이오드를 이용하여 설계·제작한 단일 평형 주파수 혼합기는 변환손실이 6 [dB], RF/LO격리도가 24dB, P1dB(in)는 5 [dBm]의 결과를 얻었다. 제작된 혼합기는 24.00 ~ 24.20GHz 대역에서 동작하는 근거리 표적 탐지용 homodyne 레이더에 이용가능 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Nicholas C. Currie, Chares E. Brown, principle and applications of millimeter -wave radar, Artech House,1987
- [2] David M. Pozar, Microwave Engineering : ADDISON WESLEY, pp. 401-411, 1993
- [3] Stephen A. Mass, Microwave Mixer : Artech House, pp. 260-267, 1993
- [4] Stephen A. Mass, Nonlinear Microwave Circuits, IEEE Press,Newyork,1996
- [5] Inder Bahl, Prakash Bhrartia, Microwave Solid State Circuit Design, John Wilety & Sons, pp. 569-576,1988