

논문 2017-54-5-14

이미지 제거 혼합기의 설계

(The Design of Image Rejection Mixer)

강 은 균*, 전 형 준**

(Eun Kyun Kang[Ⓒ] and Hyung Jun Jeon)

요 약

본 논문에서는 FET의 채널저항을 이용한 이미지 제거 혼합기를 제작하여 그 특성을 분석하였다. 이 혼합기는 IF 50MHz~90MHz, LO 8.17GHz 및 RF 8.08GHz~8.12GHz로써 8GHz대역의 64QAM에 적용할 수 있도록 하였다. 측정 결과 -20dBm의 IF 신호와 10dBm의 LO 신호를 인가하였을 때 -33.2dBm의 RF 출력을 얻었으며, 약 12.9dB의 변환손실을 보였으며, 8.1GHz RF 신호에 대하여 LO 신호는 14.3dB, 이미지 신호는 10.4dB의 억압특성을 얻을 수 있었다. 또한 2-tone 실험 결과 51.7dBc의 IMD 특성을 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper fabricated and analyzed the image rejection mixer that uses FET's channel resistance. It can be applied for capacity 64QAM that has 50MHz~90MHz of IF band, 8.17GHz of LO frequency and 8.08~8.12GHz of RF band. When IF input power is -20dBm and LO input power is 10dBm, RF output power is obtained -33.2dBm. In this case, conversion loss is 12.9dB, the suppression of 14.3dB for LO frequency and 10.4dB for image frequency. The result of two tone test shows great IMD characteristics with 51.7dBc.

Keywords : FET 채널저항, 이미지 제거, 변환 손실, IMD 특성

I. 서 론

주파수 혼합기는 소자가 갖는 비선형적 신호특성에 의한 고조파 발생을 이용하게 된다. 혼합기는 출력이득에 따라 능동혼합기^[1~2]와 수동혼합기로 분류할 수 있다. 능동혼합기는 변환이득을 가지는 반면 수동 혼합기에 비해 잡음 특성 및 IMD(Intermodulation Distortion) 특성은 나쁜 단점이 있으며, 이를 극복하고자 FET를 이용한 저항성 혼합기에 대한 연구가 진행되고 있다.

저항성 혼합기는 시변저항을 얻기 위해 FET의 채널 저항을 이용하고 이 채널 저항이 가지는 우수한 선형성으로 인해 혼합기의 잡음과 변환손실 특성은 다이오드

를 이용한 혼합기와 비슷하고 매우 낮은 상호변조 특성을 갖는다.

일반적으로 Upconverter에 사용되는 고출력 증폭기는 시스템의 양호한 IMD특성을 위해 백오프(Back-off) 방식을 많이 채택하고 있다. 이에 따라 혼합기의 IMD 특성이 전체 시스템의 특성에 직접적인 영향을 주고 있으며, 그 특성이 우수한 혼합기가 요구되고 있다.

주파수 채널들이 매우 근접해 있을 경우 근접채널 간섭에 대한 엄격한 규격이 요구되며 특히 송신출력에 포함되어있는 이미지 주파수나 국부 발진 주파수에 대한 양호한 억압특성을 얻어야 하며, 이를 만족하기 위해서는 이미지 제거 혼합기는 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 8GHz대의 대용량 64QAM LOS에 적용할 수 있도록 IF주파수(Intermediate Frequency)는 70MHz, LO주파수(Local Frequency)는 8.17GHz를 인가하여 출력주파수의 하측파대인 8.1GHz의 RF(Radio Frequency)를 얻는 저항성 이미지 제거 혼합기를 제작하여 원치 않는 이미지 신호를 억압하였다.

* 정회원, 동양미래대학교 정보통신과
(Dept. Information & Communication Eng., Dongyang Mirae University)

** 정회원, LS산전 (LSIS Co., Ltd)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail : ktejin@daum.net)

Received : February 13, 2017 Revised : April 5, 2017

Accepted : April 24, 2017

II. 이미지 제거 혼합기 설계

1. 이미지 제거 혼합기의 개요

이미지 제거 혼합기는 여러 RF 및 마이크로파 애플리케이션에 사용된다. 이미지 제거 혼합기는 필터의 복잡성을 줄여 전체 시스템 비용을 줄이는 데 특히 유용하며, 이러한 이미지 제거 혼합기는 위상 상쇄 기술을 이용한다.

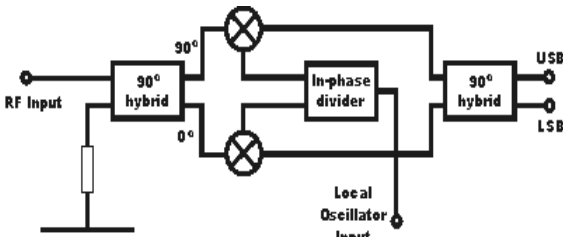


그림 1. 이미지 제거 혼합기의 구성
Fig. 1. Block Diagram of Image Rejection Mixer.

그림 1에 일반적인 이미지 제거 혼합기의 구성도를 나타내었다. 이러한 이미지 제거 혼합기를 설계함에 있어, 변환 손실의 경우 하이브리드 회로 등으로 인한 손실이 추가되며, 억압 수준은 25~35 dB 정도가 되어야 한다. 또한 혼합기 회로 내에서 진폭과 위상의 균형을 유지하는 것이 매우 중요하다.

실제 이미지 제거 혼합기에서 원하지 않는 이미지 신호를 완전히 제거할 수는 없다. 따라서 최대한의 이미지 제거를 위해 기본적으로 동일한 성능의 소자와 하이브리드 회로 설계가 필수적이다.

2. 이미지 제거 혼합기의 설계

송신단에 포함되어있는 이미지 주파수나 국부 발진 주파수에 대한 억압특성이 매우 중요하며, 이에 대한 규격을 만족하기 위해서는 이미지 제거 혼합기는 필수적이라 할 수 있다. 또한 수신단에서도 이미지 제거 혼합기가 사용되지 않았을 경우에는 하향 변환시 원하는 대역에 이미지 신호에 의한 변환 주파수가 겹치게 되어 있어 잡음으로 작용할 수 있다^[3].

본 논문에서 제안한 혼합기는 FET의 채널저항을 이용하는 저항성 이미지 제거 혼합기를 구현하여 양호한 IMD특성을 얻고자 하였다^[4-5]. 혼합기에 사용한 능동소자로는 800um의 게이트폭을 가지는 HEMT를 사용하여, 소자의 게이트에 LO신호를 입력하고 드레인에 IF신호를 인가하여 소자의 비선형성을 이용해 원하는 RF

신호를 얻을 수 있도록 하였다. IF신호의 위상차를 얻기 위해서 집중소자를 사용하였으며, 출력단에는 마이크로 스트립을 이용하여 하측파대의 중심 주파수에서 최적화 되도록 90°Hybrid를 구현하였다.

LO단의 DC 블록 커패시터는 병렬 커플라인으로 BPF와 유사한 기능을 갖도록 설계하여 양호한 반사손실과 삽입손실을 갖도록 설계하였다. 또한 간단한 형태로 LO신호에 대한 지연라인을 구현하여 각 소자에 인가되는 LO신호가 180°의 위상차를 갖게 함으로서 LO신호를 억압할 수 있게 하였다.

제안한 혼합기는 입력 IF신호가 50MHz~90MHz, LO신호는 8.17GHz, 출력 RF신호는 8.08GHz~8.12GHz로 8GHz대역의 대용량 주파수 대역에서 동작하도록 제작되었다.

일반적으로 낮은 주파수 대역에서는 집중형 소자를 사용하여 DC블록 회로를 구현하나 본 논문에서는 집중소자가 가지는 기생성분을 제거할 수 있고, 신호의 감쇄가 적게 발생하는 병렬 커플라인을 이용하여 LO 및 RF 신호에 대한 DC블록 회로를 구현함으로써 고주파 신호에 적합하도록 하였다. 그림 2는 RF단에 사용된 DC 블록 커패시터의 S-파라미터 특성 시뮬레이션 결과로 -20.41dB의 반사손실과 -0.1dB의 삽입손실 특성을 보였으며, 그림 3과 그림 4에는 RF 하이브리드의 특성과 LO신호를 각 소자에 역위상으로 인가하기 위한 지연라인의 특성을 나타내었다.

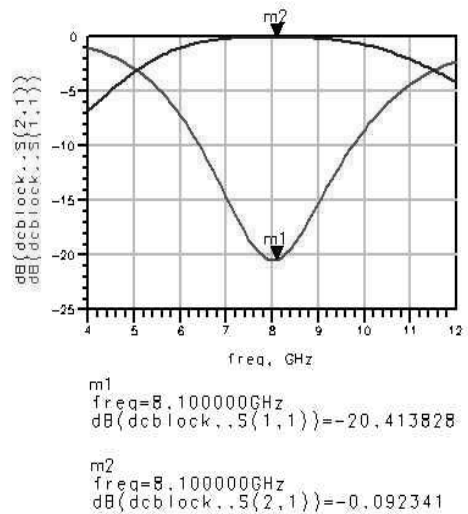


그림 2. RF단의 DC블록 커패시터 특성 시뮬레이션 곡선
Fig. 2. Simulation of DC Block Capacitor Characteristic.

일반적으로 낮은 주파수 대역에서는 집중형 소자를 사용하여 DC블록 회로를 구현하나 본 논문에서는 집중 소자가 가지는 기생성분을 제거할 수 있고, 신호의 감쇄가 적게 발생하는 병렬 커플라인을 이용하여 LO 및 RF 신호에 대한 DC블록 회로를 구현함으로써 고주파 신호에 적합하도록 하였다. 그림 2는 RF단에 사용된 DC 블록 커패시터의 S-파라미터 특성 시뮬레이션 결과로 -20.41dB 의 반사손실과 -0.1dB 의 삽입손실 특성을 보였으며, 그림 3과 그림 4에는 RF 하이브리드의 특성과 LO신호를 각 소자에 역위상으로 인가하기 위한 지연라인의 특성을 나타내었다.

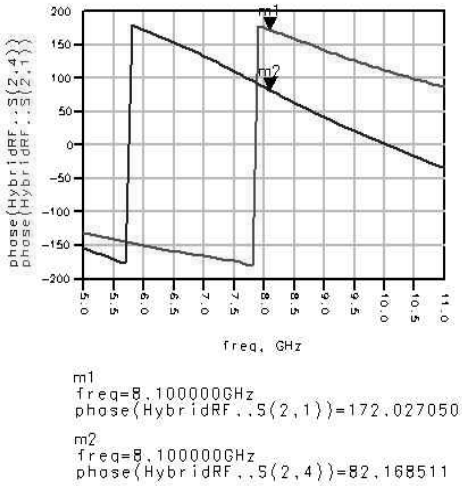


그림 3. RF 900 하이브리드 특성 시뮬레이션
Fig. 3. Simulation of RF 900 Hybrid Characteristic.

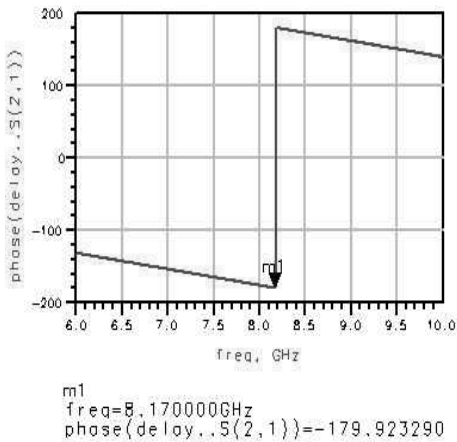


그림 4. LO신호의 지연라인 특성 시뮬레이션
Fig. 4. Simulation of LO Signal Delay Line Characteristic.

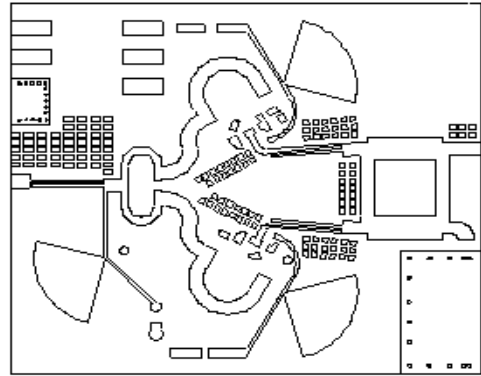


그림 5. Image Rejection Mixer 레이아웃
Fig. 5. Layout of Image Rejection Mixer.

III. 실험

제작된 혼합기는 -20dBm 의 IF신호와, 10dBm 의 LO신호를 인가하였을 때, -33.18dBm 의 RF출력을 얻을 수 있었고, IF입력단의 커넥터와 케이블 손실(약 0.4dB)을 감안할 때 12.9dB 의 변환손실을 보였다.

그림 6에는 IF 입력 스펙트럼을, 그림 7에는 RF출력 스펙트럼을 나타내었으며, 원하는 RF신호에 비해 LO신호는 14.26dB , 이미지 신호는 10.37dB 가 억압된 특성을 얻을 수 있었다.

ATTEN 10dB
RL 0dBm
MKR -20.57dBm
69.6MHz

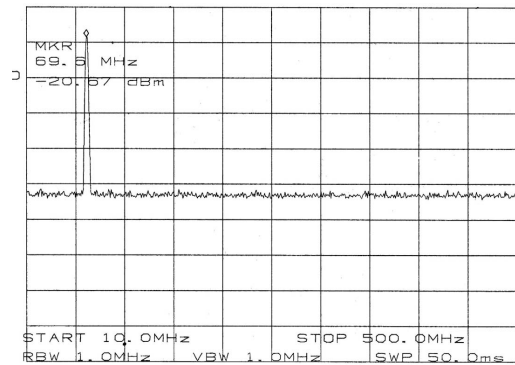


그림 6. RF 입력 스펙트럼
Fig. 6. RF Input Spectrum.

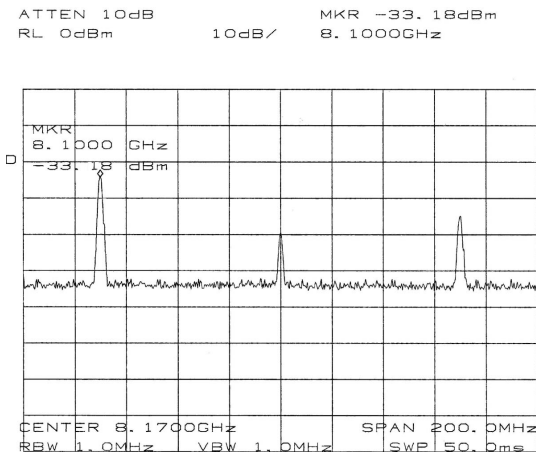


그림 7. RF 출력 스펙트럼
Fig. 7. RF Output Spectrum.

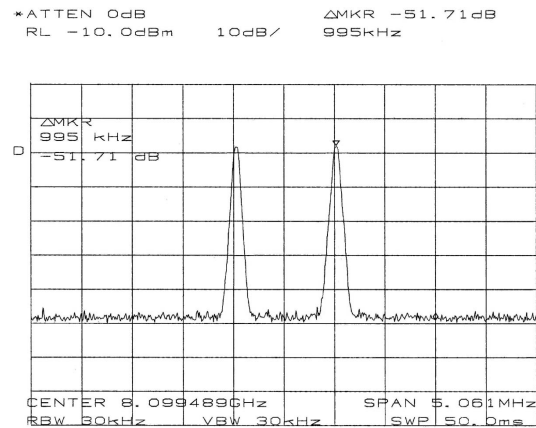


그림 9. Image Rejection Mixer의 IMD3 특성
Fig. 9. Image Rejection Mixer의 IMD3 Characteristic.

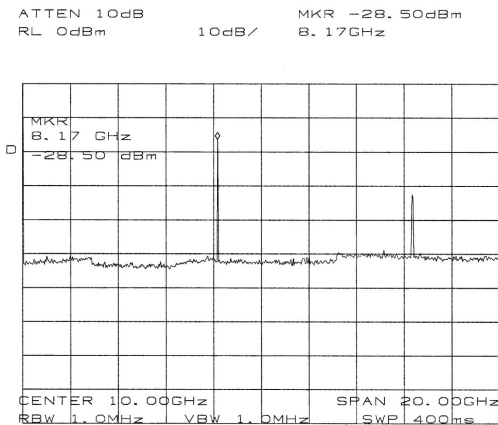


그림 8. IF단에서의 LO 스펙트럼(@PLO=10dBm)
Fig. 8. LO Spectrum at IF stage. (@PLO=10dBm)

혼합기에서 각 단자의 분리도는 두 단자간 신호의 삽입 손실을 의미한다. 특히 주파수 혼합기에 인가하는 LO신호의 전력이 크기 때문에 LO신호가 RF 혹은 IF단자로의 누설을 최소화 하여야 한다. 만일 누설될 시에는 기생발진 현상이나, 이에 따른 혼변조 현상이 나타날 수 있다.

각 소자에 인가되는 LO신호를 역위상으로 인가함으로써 8.17Ghz LO신호는 -57.44dBm(그림 7) 및 -38.5dBm(그림 8)의 특성을 나타내었다. 혼합기의 IMD특성 측정을 위해 2-tone 실험을 하였으며, 측정 결과 51.71dBc의 IMD3 특성을 얻을 수 있었고, 그림 9에 그 결과를 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IMD특성 개선과 통신상에서 이미지 신호의 영향을 최소화할 수 있도록 선형성이 우수한 FET의 채널저항을 이용해 이미지 제거 혼합기를 제작하였다. 제시한 이미지 제거 혼합기는 집중소자를 사용하여 IF 신호의 위상차를 얻음으로서 전체 회로의 크기를 줄일 수 있었고, 출력단은 8.1GHz에서 최적화된 90° Hybrid 결합기를 사용하여 이미지 신호에 대한 억압특성이 개선되도록 하였으며, 기존의 혼합기에 비해 간단한 형태의 180°지연라인을 이용하여 LO신호를 효율적으로 억압할 수 있도록 하였다. 제작된 이미지 제거 혼합기를 Upconverter에 적용할 경우 양호한 IMD특성을 얻을 수 있고, RF신호에 대한 LO신호와 이미지 신호를 억압함으로써 시스템에 사용되는 채널 필터의 규격을 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Osamu Kurito, and Kozo Morita, "Microwave MESFET Mixer," IEEE Trans. MTT vol. MTT-24, No. 6, pp. 361-366, 1976.
- [2] Solti Peng, Patrick J. McCleer, and George I. Haddad, "Nonlinear Models for the Intermodulation Analysis of FET Mixers", IEEE Trans. MTT vol. 43, No. 5, pp. 1037-1045, 1995.
- [3] Stephen A. Mass, "Two-Tone Intermodulation in Diode Mixers," IEEE Trans. MTT vol. MTT-35, No.3, 307-314, 1987.
- [4] Behzad Razavi, RF Microelectronics, Prectice-Hall, 118-129, 1

- [5] Darko Kajfez, and B. Sarma Vidula, "Design Equations for Symmetric Microstrip DC Blocks," IEEE Trans. MTT vol. MTT-28, No. 9, pp. 974-981, 1980.

저 자 소 개



강 은 균(정회원)
1998년 광운대학교 전자공학과
(공학석사).
2013년 광운대학교 전자공학과
(공학박사).
2015년 3월~현재 동양미래대학교
정보통신과 조교수

<주관심분야: 초고주파, 신호처리, 반도체>



전 형 준(정회원)
1993년 광운대학교 전자공학과 공학
사 졸업.
1995년 광운대학교 전자공학과 공학
석사 졸업.
2003년 광운대학교 전자공학과 공학
박사 졸업.

2004년 삼성에스원 기술연구소

2008년 LS전선 SBG

2017년 현재 LS산전 연구개발본부

<주관심분야: 무선통신, 통신 시스템, 회로설계, 신뢰성 대책 설계>