

Dual-Gate FET구조를 이용한 Concurrent 이중 대역 주파수 혼합기 설계 연구

*정효빈, 최진규, 김형석
중앙대학교 전자전기공학부

e-mail : jhb0623@naver.com, bluezone1384@nate.com, kimcaf2@cau.ac.kr

A study of Concurrent Dual Band Mixer Design Using Dual-Gate FET Structure

*Hyo-Bin Jung, Jin-Kyu Choi, Hyeong-Seok Kim
School of Electrical and Electronics Engineering
Chung-Ang University

Abstract

본 논문은 Local oscillator의 2차 harmonic 신호를 이용하고 Dual gate FET 형태를 이용한 이중대역 주파수 혼합기 설계에 대한 연구이다. 기존의 회로 구조는 두 대역을 처리하기 위해 각각 두 개의 국부 발진기와 혼합기를 사용함으로써 구조의 복잡함과 큰 전력 손실이라는 단점을 가지고 있었다. 본 연구는 하나의 주파수 혼합기로 두 개의 대역에서 동시에 적용할 수 있는 Concurrent 이중 대역 설계 연구를 하였다. ISM(Industrial Science Medical) 대역인 912MHz, 2.45GHz의 RF 입력과 455.5MHz, 1224.5MHz의 LO 입력 신호에서 동일한 IF인 1MHz로 하향변환 했을 때 모의실험 결과 변환이득은 각각 7dB, 12dB로 이고 RF-LO 격리도는 -29dB, -24.7dB가 나왔다. 또한 두 입력 단에서의 반사손실의 -15dB 이상을 얻었다. 또한 각각의 대역에서 잡음지수는 8.5dB, 6.26dB이다.

I. 서론

최근의 무선통신 시스템은 영상, 음성 및 데이터를 포함하는 멀티미디어 통신서비스의 요구가 급증하고 있다. 특히 ISM 대역의 다양한 어플리케이션이 급증함에 따라 다양한 주파수 대역에서 각각 다른 통신 방식

을 지원하는 멀티통신 방식이 요구되어지고 있다. 멀티모드 및 멀티 밴드 시스템에 대한 연구는 예전부터 SDR(Software Defined Radio) 개발에 있어서 중요 핵심요소로 작용해 왔으며, 다양한 표준안을 통합하는 모듈에 대한 연구가 활발히 진행 되어 오고 있다. 단일 시스템으로 두 가지 이상의 대역을 지원하기 위해서는 각 부품의 소형화, 다기능화, 단일화가 요구된다.[1]

기존의 구조는 그림 1에 있는 이중 대역용 수신단으로 각각의 저잡음 증폭기(LNA), 혼합기(Mixer), 전압 제어 발진기(VCO)등을 각각 구성하여 복잡한 구조로 설계 되어 있다.

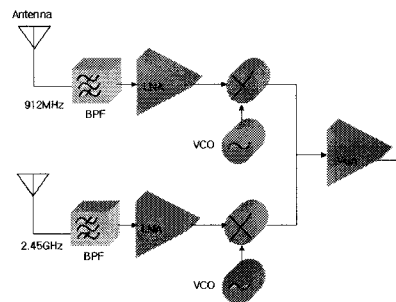


그림 1. 일반적인 이중대역 수신구조

또는 두 개의 대역으로 들어오는 안테나를 스위치를 이용하여 대역을 나누어 주는 경우가 있다.[2]

본 논문에서는 그림 2와 같이 바이어스 LC 공진과 이중 대역 매칭을 하여 두 대역에서 동시에 동작할 수 있는 주파수 혼합기를 Hybrid 방식으로 설계 연구한다. 이는 복잡한 회로 구성을 간단히 할 수 있으므로 경제적인 장점이 있고 또한 소형화가 가능할 것으로 사료된다.

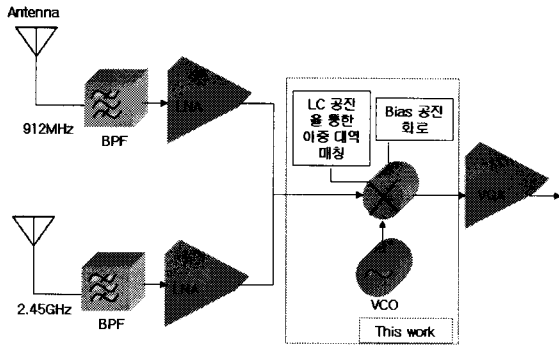


그림 2. 이중 대역 혼합기 Block diagram

II. Dual gate FET Mixer

2.1 동작 특성

Dual-gate FET 혼합기의 경우 모델을 일반적으로 그림 3과 같이 해석 한다.[3]

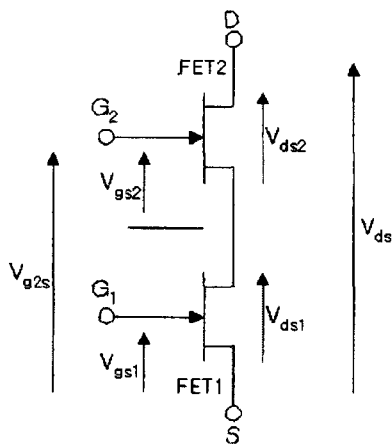


그림 3. Cascode 방식의 Dual-gate FET 구조

일반적으로 cascode FET 혼합기는 FET1은 triode 영역에서 동작하고 FET2는 saturation 영역에서 동작한다. 이는 전달컨덕턴스와 drain-source 컨덕턴스의 비선형성을 이용한 것으로, LO 신호에 의해 FET1의

drain인 전압이 강제적으로 변하면서 주파수 혼합 동작을 한다. FET1의 drain 전압이 낮으면 전달 컨덕턴스가 낮아지고, drain-source 컨덕턴스는 커진다. 또한 FET1의 드레인 전압이 높아짐에 따라 FET1은 saturation 영역으로 들어가고 전달 컨덕턴스는 비교적 커지며, drain-source 컨덕턴스는 작아진다. FET2는 포화영역에서 동작을 하기 때문에 IF 신호에 대한 증폭기로서의 역할 뿐만 아니라 LO 신호에 대한 source-follower 동작을 하여 Drain 전류를 증폭시킨다. 따라서 낮은 LO 전력으로도 FET1을 구동시킬 수 있고, FET2를 이용하여 변환이득을 가져감과 동시에 LO 신호에 대한 간섭을 줄일 수 있다.

기본적인 Bias 조건은 각 FET의 Drain-Source 전압에 걸리는 전압의 합은 전체에 걸리는 전압과 같고 FET1과 FET2의 Drain 전류는 같다. 이는 수식 (1),(2)에 의해 표현된다.[4]

$$V_{ds1} + V_{ds2} = V_{dd} \quad (1)$$

$$V_{gs2} = V_{g2s} - V_{gs1} \quad (2)$$

2.2 Harmonic 혼합기

Harmonic 혼합기는 millimeter-wave 대역에서 하향변환시킬 때 낮은 LO 주파수를 이용하기 위해 많이 사용되었고, 직접변환 방식에서 DC offset 특성을 개선하기 위한 방안으로 연구되고 있다.

일반적인 하향변환 방식에서 혼합기의 출력 주파수는 $IF=RF-LO$ 와 같다. 따라서 RF 주파수와 LO 주파수가 인접하여 있기 때문에 이를 보상하기 위해 결합기나 필터를 사용한다.

반면에 harmonic 성분을 이용한 혼합기의 출력 주파수는 $IF=RF-2LO$ 와 같다. 따라서 RF 신호 주파수와 LO 신호 주파수는 $IF+2LO$ 를 갖고 동작하게 된다. 이는 충분한 격리도를 뿐만 아니라 낮은 주파수의 LO 신호에 따른 낮은 잡음과 적당한 전력으로 발진기를 구동하는 장점이 있다.[5]

III. 회로 설계 및 모의실험

3.1 회로 설계

그림 4는 이중 대역 주파수 혼합기 Design flow chart를 이다. 본 논문에서 사용되어진 트랜지스터는 Agilent사의 ATF-54143 pHEMT를 모델링 하여 회로에 적용하였다. FET1을 Triode 영역에서 동작하고, FET2는 saturation 영역에서 동작하도록 $V_{dd}=3V$, $I_d=27.8mA$ 의 바이어스를 인가하였다.

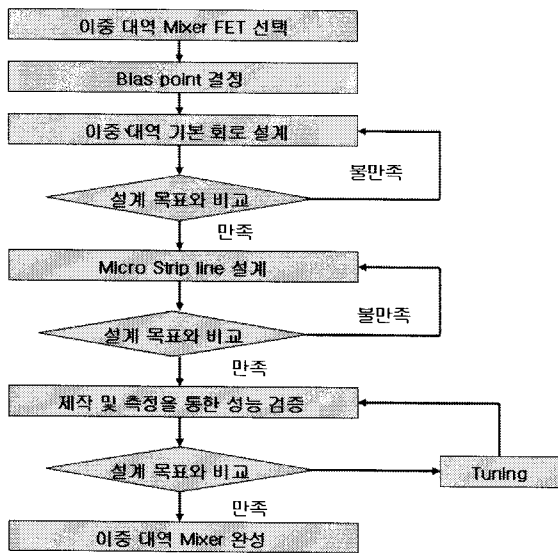


그림 4. 설계 흐름도

그림 5는 이중 대역 주파수 혼합기 회로도이다. 설계 주파수는 RF 912MHz, 2.45GHz, LO신호는 455.5MHz, 1224.5MHz, IF신호는 각각의 대역에서 Low IF 1MHz를 선정하였다. Gate1에는 RF 신호를, Gate2에는 LO 신호를 인가하여 주파수를 하향 변환시켰다.

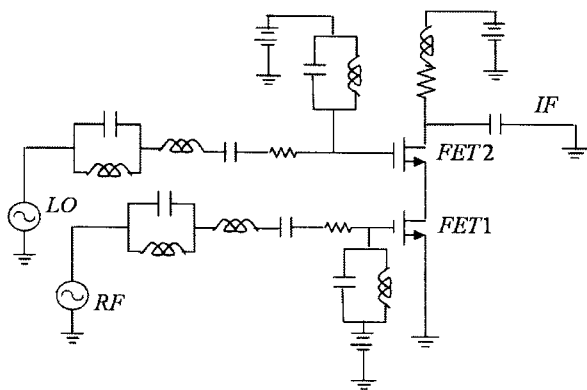


그림 5. 이중 대역 주파수 혼합기 회로도

또한 입력 단에는 LC 공진을 이용하여 두 개의 대역에서 동작이 가능하도록 설계 하였다. 이때의 공진 주파수는 식 (3)으로 구할 수 있다.[6]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

3.2 모의실험

그림 6에서는 LC 공진과 마이크로 스트립 라인을 이용하여 RF 입력에는 1.68GHz의 중심주파수로, LO 입력에는 840MHz의 중심주파수를 설정하여 구성하였을 때 결과를 나타 내었다.

RF 및 LO 입력에서 각각 -15dB 이상의 반사손실 특성을 나타내고 있으며 삽입 손실 또한 최소한으로 하여 신호가 최대한 잘 전송되도록 하였다.

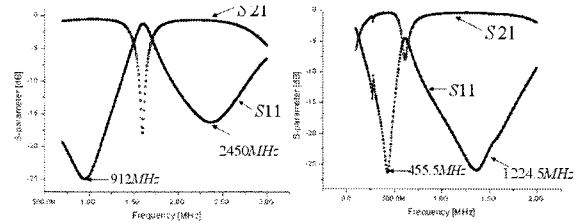


그림 6. Bias 회로 모의실험 결과

그림 7에는 각 주파수 대역에서의 IF 출력 신호를 나타내었다.

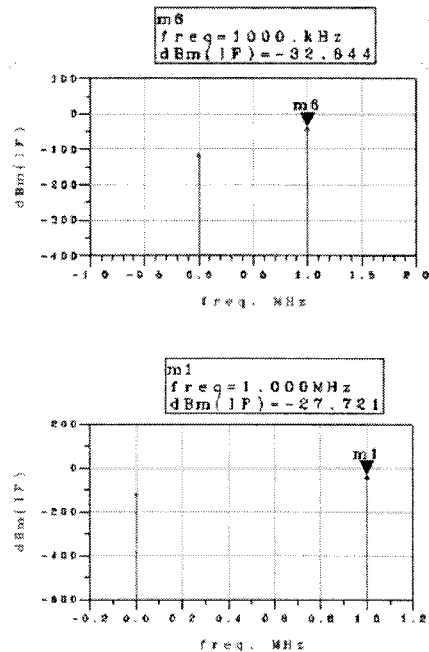


그림 6. 각 대역에서의 출력

LO 전력은 0dBm, RF 전력은 -40dBm을 입력 하였을 때 912MHz 대역과 2.45GHz 대역에서 IF 출력 -32.844dBm, -27.721dBm을 얻었다.

그림 8에서는 LO 전력에 따른 IF 출력 신호를 나타내었고, 그림 9에서는 LO-RF port isolation의 모의실험 결과 이다. LO 입력에서 Sub-harmonic을 이용하게 되므로 455.5MHz, 1224.5MHz에서 각각 -28dB,

-24.7dB를 얻었다.

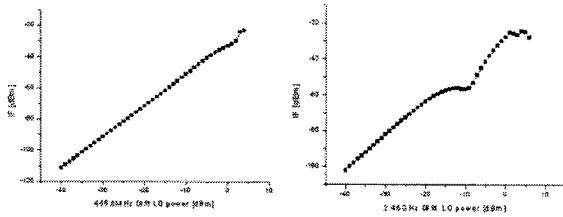


그림 8. LO 전력에 따른 출력 IF 신호

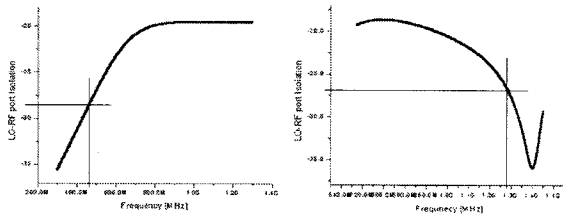


그림 9. LO-RF단 포트 격리도

표1에서 각 대역에서의 모의실험 결과를 정리하여 나타내었다. 912MHz 대역과 2.45GHz 대역은 주파수 차이로 인해 각각의 특성에서 차이를 발생한다.

표 1 설계한 주파수 혼합기의 특성

항 목	모의실험 결과	
RF Freq. [MHz]	912	2450
LO Freq. [MHz]	455.5	1224.5
IF Freq. [MHz]	1	
RF power [dBm]	-40	
LO power [dBm]	0	
Conversion gain [dB]	7.2	12.3
Noise Figure [dB]	8.5	6.26
P1dB [dBm]	-14	-14
LO-RF port isolation	-28.8	-24.7

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 ISM 대역인 912MHz, 2.45GHz의 이중대역에서 동작 할 수 있는 주파수 혼합기를 설계 연구 하였다. 각 대역에서의 성능을 비교 했을 때 일부 차이가 발생하는 것은 주파수 대역에 따른 차이로 사료 된다. 또한 이중대역에 의 경우 단일 대역에서의 주파수 혼합기에 비해 성능이 떨어진다. 이는 회로 설계 과정에서 두 개의 대역에 동시에 동작 할 수 있게

설계하기 위해 발생하는 Trade off로 인한 것으로 사료된다.

향후에는 이러한 문제점을 해결하고 두 대역에서 비슷한 성능이 나올 수 있게 설계할 것이다. 또한 설계된 회로를 바탕으로 각 Block 별로 제작하여 성능을 검증하고 이를 바탕으로 전체 회로를 제작, 측정을 통해 모의실험 결과와의 비교를 통해 성능을 검증 할 것이다.

또한 이중 대역 수신단을 구성하기 위해 설계된 이중 대역 저잡음 증폭기 및 기타 다른 소자들과의 결합을 통해 이중 대역 수신단을 구성할 수 있을 것으로 사료 된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2005-7-135) 주관으로 수행된 과제임.

참고문헌

- [1] J.Ryynanen, k.Kivekas, J. Jussia, A.Parssinen, and K.Halonen, " A dual-band RF Front-end for WCDMA and GSM applications." IEEE Trans. Microwave Theory Tech, vol.50, no.1 2002
- [2] Sheng-Fuh R. Chang, Wen-Lin Chen, Shuen-Chien Chang, Chi-Kang Tu, Chang-Lin Wei, Chih-Hung Chien, Cheng-Hua Tsai, Joe Chen, and Albert Chen. "A Dual-Band RF Transceiver for Multistandard WLAN Applications." IEEE Trans. Microwave Theory Tech, vol.53, no.3 2005
- [3] S. A. Maas, Microwave Mixer, Artech House Boston, 1993.
- [4] Jin Zhe Jun, "광대역 I/Q 마이크로파 믹서 설계에 관한 연구" 학위논문 2006
- [5] 이혁, 정윤석, 김정표, 최재훈 "Near Zero IF를 갖는 2.4GHz WLL 기지국용 하모닉 Cascode FET 혼합기 설계 및 제작" 한국전자파학회 논문지 14권 5호, 2003
- [6] PO-Da Chen, Cheng-Hung, Win-Ming Chang, Kuo-Hua Cheng, Christina F. Jou, "A Dual-Band Concurrent RF Front-End Receiver design for GPS and Bluetooth Applications." IEEE Trans. 2005