

이중 모드 수신기용 가변 변환이득 믹서

Variable Conversion Gain Mixer for Dual Mode Receiver

박현우*, 구경현*

Hyun-Woo Park*, and Kyung-Heon Koo*

요 약

본 논문에서는 와이브로와 무선랜 응용을 위한 이중 모드 FET 믹서를 단일 게이트의 두 개 pHEMT를 캐스코드(cascode)로 연결하여 이중게이트 FET 믹서 형태로 구현하였다. 설계된 이중게이트 믹서는 와이브로와 무선랜 응용에서 DC 전력소모를 최소화하기 위해 가변적인 변환이득을 갖도록 최적화되었다. 설계 믹서의 LO-RF간 격리도 특성은 2.3GHz~2.5GHz에서 약 20dB이다. LO신호가 0dBm이고 RF신호가 -50dBm일 때 믹서는 15dB의 변환이득을 갖는다. 수신되는 RF신호가 -50dBm에서 -20dBm까지 증가할 때 변환이득은 15dB에서 -2dB까지 바이어스에 따라 감소하게 된다. 가변 변환이득은 몇 가지 장점이 있다. 즉 IF단에서 AGC의 넓은 동작영역의 부담을 줄일 수 있고, 또한 믹서의 DC전력소모를 약 90% 절감할 수 있다.

Abstract

In this paper, dual mode FET mixer for WiBro and wireless LAN(WLAN) applications has been designed in the form of dual gate FET mixer by using the cascode structure of two single gate pHEMTs. The designed dual gate mixer has been optimized to have variable conversion gain for WiBro and WLAN applications in order to save dc power consumption. The LO to RF isolation of the designed mixer is more than 20dB from 2.3GHz to 2.5GHz band. With the LO power of 0dBm and RF power of -50dBm, the mixer shows 15dB conversion gain. When RF power increases from -50dBm to -20dBm, the conversion gain decreases to -2dB from 15dB with bias change. The variable conversion gain has several advantages. It can reduce the high dynamic range requirement of AGC burden at IF stage. Also, it can save the dc power dissipation of mixer up to 90%.

Key words : dual-mode, WLAN, variable conversion gain

I. 서 론

미래의 정보 사회를 지원하는 정보통신 시스템 중 개인 이동통신의 수요가 늘어남에 따라 다양한 방식의 서비스가 가입자들에게 제공되고 있다. 그에 따라 다양한 주파수 대역에서 각기 다른 통신방식 (Multi-band cellular, Bluetooth, DMB, WLAN,

WiBro 등) 을 지원하는 멀티 모드 멀티 밴드 통신 단말기의 수요가 급증하고 단일 단말기로 두 가지 이상의 통신방식을 지원하기 위해서 각 부품의 소형화, 다기능화, 다중모우드 지원 등이 요구된다. 이에 따라 무선 시스템에서 RF를 IF 주파수로 변화하는 하향 주파수 변환기의 다기능 동작을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 서로 다른 주

* 인천대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., University of Incheon)

· 제1저자 (First Author) : 박현우

· 접수일자 : 2006년 3월 21일

파수 및 최대출력을 갖는 WiBro와 무선랜 즉, 2.3GHz~2.5GHz대역에서 각각 최대 1W 및 30mW 출력을 갖으며 채널대역폭 각10MHz와 20MHz로 이중모드 동작을 하는 하향변환 믹서를 설계하고자 하였다.

그림1은 슈퍼헤테로다인 수신기의 블록도이다. 일반적으로 일정한 이득을 갖는 믹서는 IF단의 AGC (automatic gain control)에서 이득을 조절하여야 하므로 AGC가 넓은 동작영역을 필요하게 되고 이렇게 믹서가 일정한 이득을 갖도록 하기위해 일정한 전력 소모를 갖게 된다. 그러나 입력 신호는 단말기와 기지국간의 거리에 따라 수신신호의 크기가 큰 변화를 하게 되므로, 본 연구에서는 믹서의 변환이득을 가변 시킴으로써, 즉 큰 RF 입력에서는 작은 변환이득을 갖고 작은 RF 입력에서는 큰 변환이득을 갖도록 하여 DC 전력 소모를 줄이고자 하였다.

이 경우 믹서의 가변적인 변환이득에 의해 IF AGC에서 요구되는 이득의 다이내믹 레인지를 줄여 줄 수 있는 이점을 갖게 된다. 또한 WiBro와 무선랜 (WLAN) 같이 인접한 이중모드 대역에서 LO주파수의 USB(upper side band)와 LSB (lower side band)의 적절한 사용으로 상호대역간의 간섭에 의해 발생하는 IP2 문제를 줄일 수 있다.

또한, 본 믹서는 능동(active) 믹서로서뿐 아니라 저항성(resistive) 믹서로서도 동작이 가능하다. 저항성 믹서는 변환 손실을 갖게 되지만 DC 전력을 소모하지 않는다. 이러한 믹서의 이득과 DC 전력간의 trade-off 관계를 이용하여 수신기의 특성에 따라 다양하게 활용이 가능한 믹서를 설계하고자 한다. 또한 기존의 듀얼밴드 믹서는 보통 인접하지 않은 대역에서 같은 크기의 입력에 대해 동작을 하게 되며, 가변 변환이득을 갖는 경우도 일반적으로 이득은 10dB 이하이다. 본 논문에서는 1W 및 30mW 의 서로 다른 출력을 갖는 WiBro와 무선랜용으로 동작하기 위하여 설계된 믹서는 최대 15dB의 큰 변환 이득을 갖도록 하였으며, 높은 이득의 경우 보통 소모 전력이 크므로 바이어스의 가변을 통해 효율을 높일 수 있다.

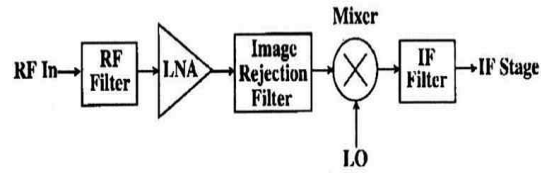


그림 1. 슈퍼헤테로다인 수신기 블록도
Fig. 1. Block diagram of super heterodyne receiver.

II. 가변 변환이득 믹서의 설계

2-1 이중 게이트 FET

FET 믹서는 소자의 비선형특성을 이용하는 방식에 따라 게이트 믹서, 드레인 믹서, 소스 믹서, 그리고 resistive 믹서로 구분된다. 드레인 믹서는 LO/RF 분리도 및 잡음특성이 우수하지만 동작이 불안정하고 큰 LO전력이 필요하며, 소스 믹서는 변환손실이 크며, resistive 믹서는 높은 IP3를 얻지만 변환손실이 크다는 단점이 있다[1]-[3].

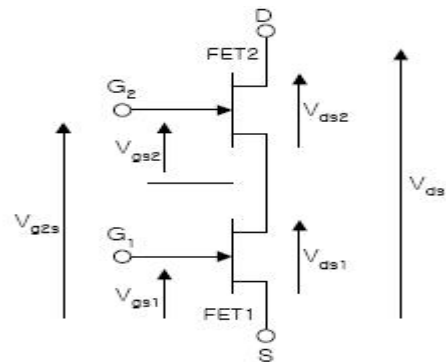


그림 2. 이중게이트 FET 구조
Fig. 2. Circuit diagram of dual-gate FET mixer.

본 논문에서 사용하는 구조는 높은 분리도를 갖고 큰 변환이득을 얻을 수 있는 이중게이트 FET 믹서 구조를 두개의 pHEMT를 캐스코드 (cascode)로 연결하여 구현할 수 있는 하향 주파수 변환기를 설계하였다. 캐스코드 구조를 이용한 이중게이트 FET 믹서는 그림 2에 나타난 구조를 이용하며, FET1은 포화 영역, FET2는 선형 영역에서 동작하게 된다. 이중게이트 FET는 그림 2와같이 두 번째 게이트가 추가된 것을 제외하면 단일게이트 FET와 비슷한 구조를 가지고 있다. 추가된 게이트에 인가 전압을 변화하여 트랜지스터의 전달컨덕턴스를 제어하게 되고, 첫 번

재 게이트와 드레인 사이를 차단시키는 역할을 하며 캐패시턴스(Cgd)를 낮게 감소시킨다.

이중게이트 FET의 전달컨덕턴스가 두번째 게이트의 전압에 따라 변화하는 현상은 이 FET가 믹서로 동작할 수 있음을 의미한다. 이중게이트 FET 믹서에서 RF 와 LO의 입력은 각각 FET1과 FET2의 게이트를 입력으로 사용하여 높은 분리도를 얻을 수 있고 각 포트를 분리하는 정합회로의 구성을 가능하게 한다. 이중게이트 FET 믹서에서 FET2의 게이트가 FET1의 전달컨덕턴스를 제어하기 위해서는 FET1은 선형영역에서 동작하여야 한다. 이는 두 개의 FET가 포화상태에서 동작하는 캐스코드 증폭기와는 차이가 있다. 그림 2.에서 V_{gs2} 의 변화에 대한 I_{ds} 의 변화치가 커야 gm의 변화가 커지므로 V_{gs1} 이 고정값을 가진다고 가정하면 FET1은 선형영역에서, FET2는 포화영역에서 동작하게 된다. 이러한 경우에 게이트2에 의해서 FET1의 소신호 트랜스 컨덕턴스를 제어하게 된다. FET1에 RF 신호가 인가되고 FET2에 LO 신호가 인가될 때, LO 신호가 커지면 V_{gs2} 가 증가하여 FET1이 전류 포화영역에 들어가게 된다. 이때 트랜스 컨덕턴스 gm은 커지고, 드레인과 소스 사이의 컨덕턴스(gds)는 작아지게 된다. 반대의 경우에는 다시 FET1이 선형영역에 들어오게 되고 gm은 작아지고, gds는 커지게 된다. 이러한 두 개의 파라미터 gm과 gds의 비선형성을 이용해서 주파수의 혼합이 발생한다. 반면, FET2는 LO 대부분의 주기 동안 포화영역에 있으면서 IF 주파수에 대한 공통-게이트증폭기로서 동작하게 된다. 이러한 구조는 FET1의 드레인 전압(V_{ds1})이 0이 되지 않으므로 gm의 최대값을 단일게이트 믹서만큼 얻을 수 없지만 FET2에 의한 증폭으로 보충할 수 있다. 믹서로 동작시킬 경우 RF신호와 LO신호는 각각의 분리된 게이트로 인가되고 IF출력은 드레인을 통해 얻을 수 있다. 따라서 게이트 사이의 커패시턴스가 작아 RF/LO 격리도 특성이 양호하고 안정도를 향상시키게 된다[4],[5].

본 논문에서는 이중게이트 FET의 장점을 이용하여 하향변환 믹서를 설계하기 위해 등가적으로 해석 가능한 두개의 pHEMT를 캐스코드로 연결하여 구현하였다. 두개의 pHEMT로 구현한 이중게이트 구조

는 각 FET의 드레인-소스 전압(V_{ds1} , V_{ds2})에 걸리는 전압의 합은 전체에 걸리는 전압(V_{ds})과 같고 FET1과 FET2의 드레인 전류는 같게 된다[6].

2-2 이중게이트 FET의 동작점

FET1과 FET2가 동일한 드레인 전류를 제공하기 위해서 V_{gs1} 은 특정한 고정 값을 갖도록 하고, V_{gs2} 는 0~ V_{ds} 사이에서 변화하게 된다. 이러한 전류특성을 이용하여 그림 3에서는 이중게이트 FET의 DC I-V 곡선을 나타내었고 믹서로 동작하기 위한 바이어스 영역과 본 설계에 사용된 바이어스 점을 표시하였다.그림에서 표시한 점에서 동작하도록 하기 위해 $V_{gs1} = -0.6\text{ V}$, $V_{gs2} = -0.3\text{ V}$, $V_{ds} = 3\text{ V}$ 에서 10dB 이상의 변환이득을 갖도록 믹서를 설계하였다[7].

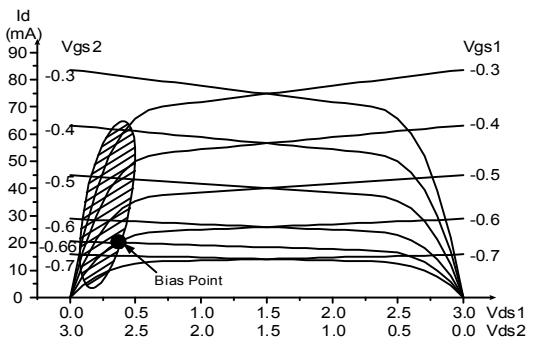


그림 3. 이중 게이트 FET의 I-V 특성 곡선
Fig. 3. I/V curve of dual-gate FET.

2-3 정합회로와 저역통과 여파기

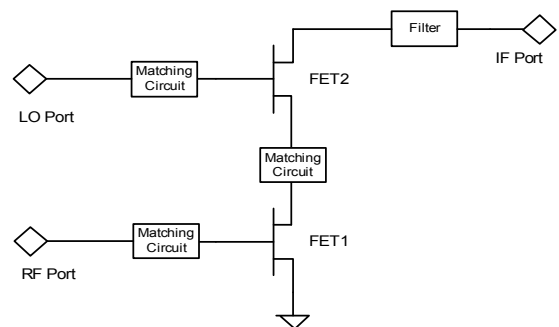


그림 4. 이중게이트 FET 믹서 블록도
Fig. 4. Block diagram of dual-gate FET mixer.

그림 4는 설계된 가변 변환이득 이중 게이트 구조 믹서의 블록도를 나타낸다. 변환이득을 갖도록 동작

시키기 위해 RF와 LO 입력단에 매칭회로를 삽입하였고, 각 게이트 입력 DC 바이어스 라인은 1/4 파장 마이크로스트립 라인을 사용하였다. LO-to-IF, RF-to-IF의 신호간의 격리도를 개선하고 고조파 성분들을 제거하기 위해 출력단에 저역 통과 여파기를 집중소자를 이용하여 구현하여 시뮬레이션시 50dBc 이상의 RF 와 LO 신호의 역압 특성을 얻도록 설계하였다.

본 가변 변환이득 믹서는 설계시 소신호 해석을 통한 S 파라미터 시뮬레이션을 하여 RF, LO 입력의 최적의 정합점을 찾아내어 회로를 설계하고, IF 주파수 출력단에는 저역통과 여파기를 구현하여 IF 주파수만 통과할 수 있도록 설계하였다.

그림 5 는 입력 RF Port의 반사계수를 시뮬레이션한 결과로 와이브로와 무선랜 대역에서 약 10dB 이상의 삽입손실이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

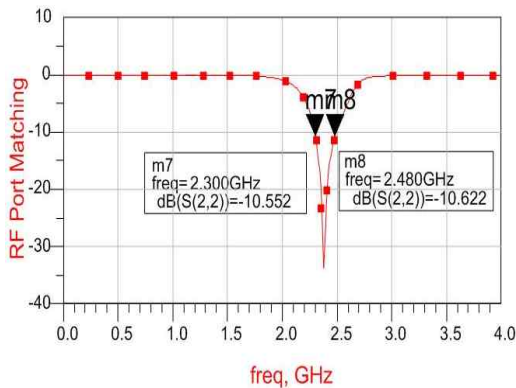


그림 5. 이중게이트 FET의 RF 반사계수
Fig. 5. RF port matching of dual-gate FET.

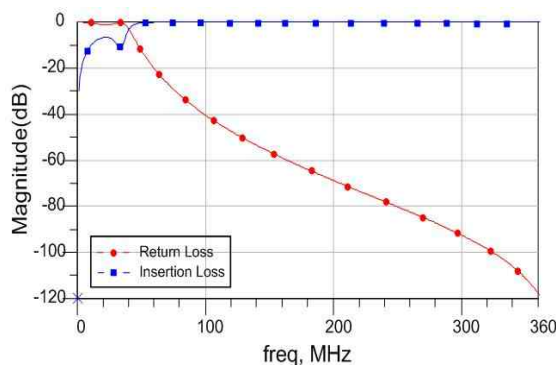


그림 6. 저역 통과 여파기 회로도
Fig. 6. Circuit diagram of low pass filter.

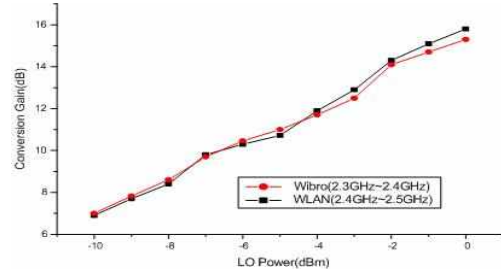


그림 7. LO 전력에 따른 변환이득 변화 시뮬레이션
Fig. 7. Simulated conversion gain with LO.

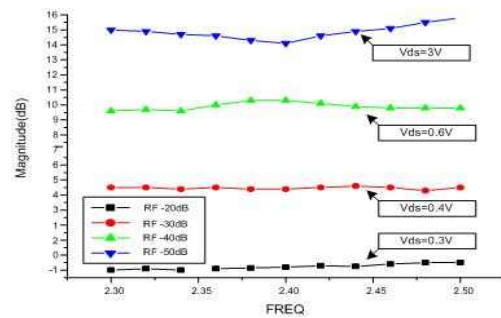


그림 8. 이중게이트 FET 믹서 가변변환이득 시뮬레이션
Fig. 8. Simulated variable conversion gain.

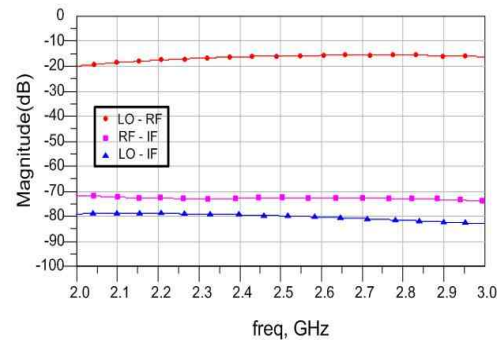


그림 9. 이중게이트 FET 믹서의 격리도 특성
Fig. 9. Simulated isolation result of dual-gate FET.

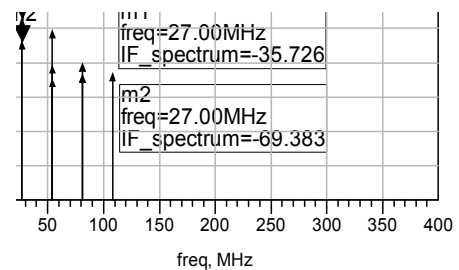


그림 10. 인접채널에 의한 상호변조 시뮬레이션
Fig. 10. Intermodulation by adjacent channel.

그림 6은 설계된 저역통과 여파기와 그 특성을 나타낸다. 그림7은 RF 입력레벨을 가장 높은 이득을 갖는 낮은 수신 신호 전력으로 고정(-50dBm) 하고 주파수가 변화함에 따라 LO 전력을 0dBm~ -10dBm 으로 변화하면서 시뮬레이션한 설계 믹서의 변환 이득을 나타낸다. 그림 8은 RF 입력 신호 레벨에 따른 이중 게이트 FET 믹서의 RF 수신 전력 -50dBm~ -20dB 에서의 WiBro, 무선랜대역에서의 가변 변환이득을 나타낸다. 그림 9는 믹서의 각 포트간의 격리도 특성을 나타내고 있다. 그림 10은 와이브로신호를 수신하는 경우 인접한 무선 랜 신호의 간섭에 의해서도 IF에 신호가 나타나는 경우에 대한 시뮬레이션 혼변조 데이터이다. 원하는 와이브로 신호보다 무선랜 신호에 의해서는 약 35dB 작은 IF로 나타남을 알 수 있다. 이러한 혼변조의 영향을 작게 하기 위하여 믹서의 선형성이 중요하다[8].

III. 측정결과

제작된 믹서는 8720C 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 소신호 특성을 측정하였고, E4438C 신호발생기와 SA-970 스펙트럼 분석기를 사용하여 대신호 특성을 측정하였다. 그림 11은 IF 주파수를 27MHz에 고정시키고 RF 주파수가 2.3GHz~2.5GHz 일 때 LO 전력에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환 이득을 나타낸다. LO 입력이 0dBm 일때 최대 15dB 의 변환이득을 얻을 수 있다. 그림 12는 IF 주파수를 27MHz에 고정시키고 RF 입력전력이 -50dBm에서 -20dBm 까지 10dB 단위로 변화할 때 제작된 이중 게이트 FET 믹서의 가변적인 변환이득을 나타낸다.

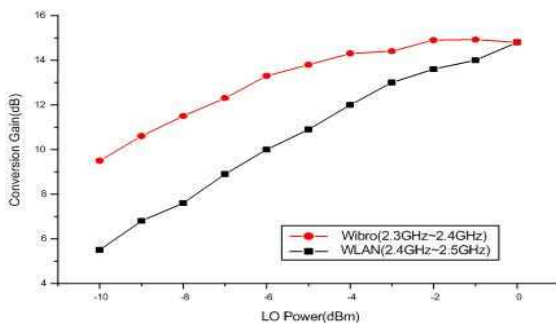


그림 11. LO 전력에 따른 변환이득의 변화
Fig. 11. Measured conversion gain with LO power sweep.

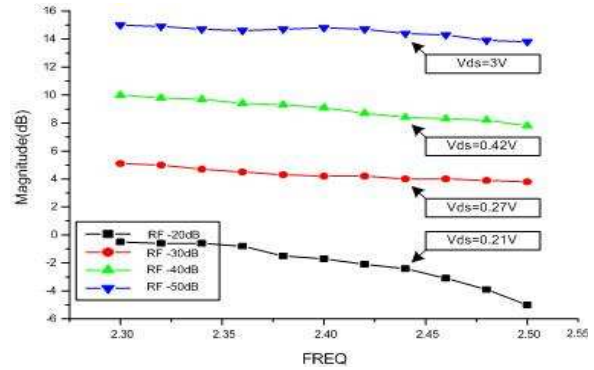


그림 12. 이중게이트 FET 믹서의 가변 변환이득
Fig. 12. Measured variable conversion gain.

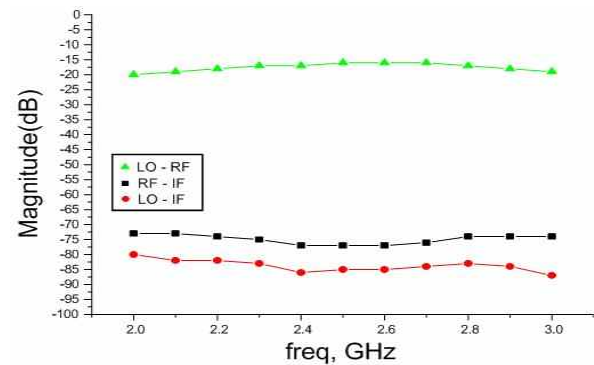
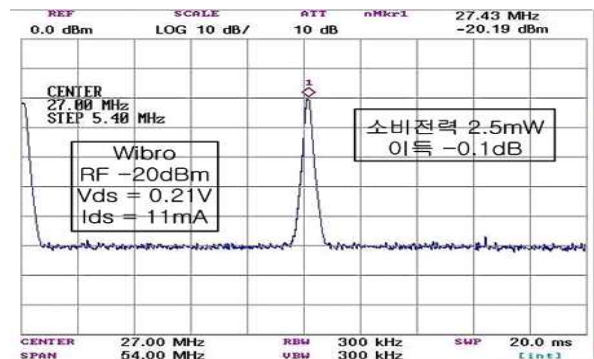
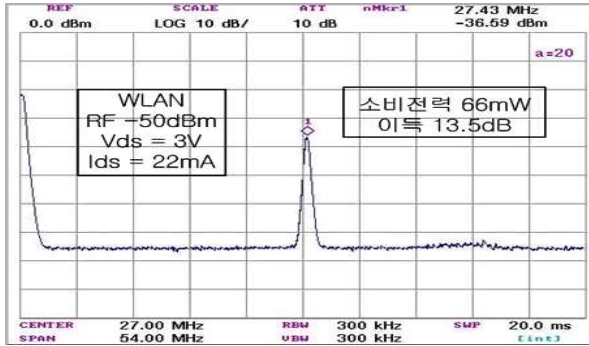


그림 13. 이중게이트 FET 믹서의 격리도 특성
Fig. 13. Measured isolation result of dual-gate FET.

그림 12의 RF 주파수(WiBro, WLAN)에서 입력레벨에 따른 가변 변환이득은 시뮬레이션 값과 2dB 이내의 차이를 보이며 유사한 것을 알 수 있다. 그림 13는 이중게이트 FET 믹서의 격리도 특성, 그리고 그림 14는 변환된 믹서 IF 출력의 스펙트럼이다. 그림 15는 제작된 믹서의 사진이며 주요 측정치를 표 1에 정리하였다.



(a)



(b)

그림 14. (a) 와이브로 대역 스펙트럼 측정결과 (RF=-20dBm)

(b) 무선랜 대역 스펙트럼 측정결과 (RF=-50dBm)

Fig. 14. (a)Measured spectrum result of WLBro (RF=-20dBm)

(b)Measured spectrum result of WLAN (RF=-50dBm).

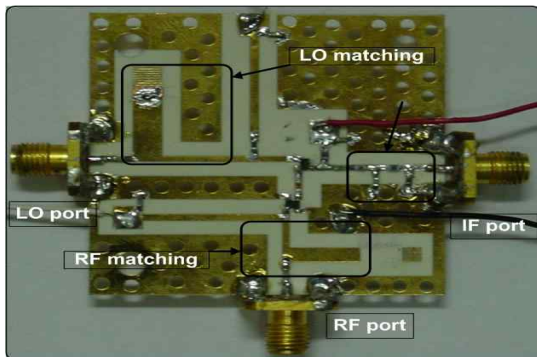


그림 15. 제작된 가변 변환이득 이중게이트 FET 믹서

Fig. 15. Photograph of the dual-gate FET mixer with variable conversion gain.

표 1. 가변 변환이득 믹서의 측정결과

Table 1. Measured performances for variable conversion gain mixer.

측 정 결 과		
RF Frequency		2.3GHz~2.5GHz
LO Frequency		2.3GHz~2.5GHz
IF Frequency		27MHz
RF Port Matching((S1,1))		-10dB
이득	High Gain	14.9±0.1dB
	Low Gain	-2±1dB
소비 전력	High Gain	66mW
	Low Gain	2.5mW
Isolation	LO-IF	73dB~77dB
	RF-IF	81dB~87dB
	LO-RF	16dB~20dB

IV. 결 론

본 논문에서는 두 개의 pHEMT를 캐스코드 구조로 연결하여 구현한 이중 게이트 FET를 이용하여 가변 변환이득 믹서를 설계 및 측정된 결과에 관하여 제시하였다. 이중 게이트 FET의 분리된 입력 구조는 높은 격리도 특성과 높은 변환이득을 가진다.

IF 출력 단에는 RF와 LO 신호에 대한 역압특성을 개선하기 위해 저역통과 여파기를 집중소자를 이용하여 설계하였다. 설계된 믹서는 와이브로와 무선랜 두 가지 대역에서 동작하고 최대 15dB에서 -2dB까지의 가변적인 변환이득을 얻을 수 있다. 이러한 가변 변환이득은 넓은 동작영역이 요구되는 IF 증폭단에서의 AGC의 부담을 줄여줄 수 있으며, 또한 소모 전력을 약 90% 절약하여 효율적으로 사용할 수 있다. 본 연구의 결과는 현재 개발 및 보급이 진행되고 있는 와이브로 및 무선랜에서 사용가능한 멀티밴드 믹서로 활용될 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] K. S. Ang and I.D. Robertson, "Multiple-FET mixer analysis with applications to the cascode distributed mixer," 1999 *High Frequency Post graduate Student Colloquium*, pp.22-27, Sept. 1999.
- [2] Thomas S. Howard and Anthony M.Pavio, "A distributed monolithic 2-18GHz dual-gate FET mixer," *Microwave and Millimeter -Wave Monolithic Circuits Symposium*, 1987.
- [3] Chang-Ho Lee, Sangwoo Han, and J. Laskar, "GaAs MESFET dual-gate mixer with active filter design for Ku-band applications," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 1999.
- [4] Stephen A. Mass, *Microwave Mixer*, Artech House, 1993.
- [5] Stephen A. Mass, *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Artech House, 1998.

[6] 이경보, 이영철, "이중게이트 FETs를 이용한 마이크로파 이미지제거 능동필터 설계," *춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, vol. 25 no. 1, 2002.

[7] 박주환, *5GHz 무선 LAN용 Dual-gate MESFET 믹서 설계*, 서강대학교 대학원, 2002.

[8] O. Kurita, "Microwave MESFET mixer," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 24, no. 6, pp. 361-366, June 1976.

박 현 우 (朴炫雨)



2006년 : 인천대학교 전자공학과(공학사)

2006년~현재 : 인천대학교 대학원 전자공학과

관심분야 : 마이크로파회로 및 모듈설계, RFIC/MMIC 설계

구 경 헌 (具京憲)



1981년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)

1991년 : 서울대학교 전자공학과(공학박사)

1999년~2000년 : UC San Diego 방문학자

2000년~2002년 : 대한전자공학회 마이크로파 및 전파 연구회 위원장

2003년~현재 : 한국향행학회 학술이사, 국제이사

1987년~현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 마이크로파 회로/모듈 설계, 전력증폭기 설계/선형화, 레이더 및 무선통신 시스템 해석