

X밴드 FMCW 레이더용 광대역 저항성 주파수 혼합기 구현

박동국[†] · 한태경^{*}

(원고접수일 : 2007년 6월 5일, 심사완료일 : 2007년 9월 20일)

Implement of Broadband Resistive Mixer for X-band FMCW Radar

Dong-Kook Park[†] · Tae-Kyoung Han^{*}

Abstract : A mixer is a key component in the wireless communication systems. In this paper, we design a mixer which is used in a frequency modulated continuous wave(FMCW) radar system. The frequency sweep range of the radar is from 10 GHz to 11 GHz. The transmitted and received signals of the FMCW radar are applied to LO and RF ports of the mixer, respectively, but the frequency difference between the two signals, which is called "a beat frequency", is under a few KHz and depending on the distance to target. Thus the isolation between the LO and RF ports is very important factor to design this mixer. In this paper we propose a single balanced resistive mixer using GaAs MESFET for this application. We first design a single-ended type resistive mixer using a simulation tool, then design a balanced type to increase the LO-to-RF isolation of the mixer. We fabricated the mixer on the substrate of dielectric constant 10 and thickness 0.635 mm. The measured results show that the isolation and conversion loss of the mixer over the frequency band is 20dB and 10.5dB, respectively. The LO input power for operating the proposed mixer is +3dBm, which is lower than a general conventional mixer's LO power. The 1 dB compression point is 6dBm.

Key words : Frequency modulated continuous wave(주파수 변조 연속파), Mixer(혼합기), Radar(레이더), Resistive(저항성), X-band(X-밴드)

1. 서 론

혼합기는 무선 통신시스템에서 없어서는 안 될 중요한 부품이다. 혼합기는 기저대역의 신호를 캐리어에 실어 송신하거나 혹은 캐리어에 실린 신호를 수신하여 기저대역의 신호로 변환하기 위해 사용되는 소자로서 일반적으로 비선형 특성을 갖는

다이오드나 FET를 이용해서 구현한다.

FET를 이용한 주파수 혼합기는 소자의 비선형성을 이용하는 방법에 따라 핀치-오프(Pinch-off) 영역에서의 전달컨덕턴스의 비선형성을 이용하는 게이트 주파수 혼합기^[1], 드레인 전류가 포화되는 지점에서 포화영역과 비포화 영역의 드레인 컨덕턴스의 비선형성과 전달 컨덕턴스를 이용하는 드레인

[†] 교신저자(한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부), E-mail:dkpark@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4311

^{*} Ethertronics Inc. Korea

주파수 혼합기^[2], 그리고 드레인-소스 채널 저항의 비선형성을 이용하는 저항성 주파수 혼합기^[3]로 구분될 수 있다.

혼합 형태에서 게이트 혼합기와 드레인 혼합기는 능동 혼합이 이뤄져서 변환 이득을 갖는 반면에 저항성 혼합기는 게이트에만 전압이 인가되므로 완전한 능동 혼합은 이루지 못해 변환 손실을 갖는다. 그러나 능동 혼합기는 동적범위(Dynamic Range)가 좁기 때문에 수동 혼합기에 비해 상호변조도 특성이 좋지 못하며 일반적으로 협대역의 주파수에서 사용한다. 그러나 저항성 혼합기는 수동 소자로서 동작하므로, 능동 게이트 및 드레인 혼합기에 비해 동적범위가 넓어 광대역의 특성을 지닌다. 또한 혼합기 잡음은 내부의 저항성 잡음만 존재 하므로 우수한 잡음 특성을 지니고, 매우 낮은 상호변조왜곡(Intermodulation Distortion) 특성으로 인해 비교적 선형적인 주파수 혼합 특성을 갖는다.

본 논문에서는 선박의 레벨 센서로 사용되는 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더 시스템의 수신부에 사용되는 혼합기를 저항성 혼합기 형태로 개발하고자 한다. FMCW 레이더는 송신신호와 목표물체(target)로부터 반사되어온 수신신호의 주파수 차이를 이용하여 목표물체까지의 거리를 판독하는 레이더이다. 본 논문에서 관심을 갖는 레이더의 송신 주파수는 10 GHz ~ 11 GHz 으로서 송신 및 수신된 신호가 각각 혼합기의 LO와 RF 단자에 입력되고 혼합되어, 두 신호의 차 주파수에 해당하는 수 KHz 이하의 신호를 IF 단자로부터 필터를 이용해 추출해 내게 된다.

일반적인 혼합기의 경우 RF와 LO의 주파수가 차이가 커서 RF 및 LO 단자에 통과대역필터(BPF)를 사용하여 두 단자간의 격리도를 유지하지만 본 논문에서처럼 선박용 레벨센서로 사용되는 FMCW 레이더의 경우 목표물체까지의 거리가 최대 40m 정도이므로 두 단자간의 주파수 차가 스위칭 시간에 따라 달라지기는 하지만 대략 수 KHz 이내의 작은 값을 갖는다. 따라서 통과대역필터(BPF)를 사용하여 두 단자를 격리하는 것은 불가능하므로, 격리도 개선을 위해 저항성 혼합기를 평

형구조를 사용하여 설계를 하였다.

또한 FMCW 레이더의 구조상 송신신호를 혼합기의 LO 단에 연결하게 되는데, 본 논문에서 관심을 갖는 레이더의 송신전력은 최대 10 dBm 정도로서 혼합기의 LO 단자로는 5 dBm 이하의 적은 전력이 인가되므로 적은 LO 구동 전력에서 동작하는 혼합기를 설계하여야 한다. 또한 송신신호가 안테나로부터 반사되어 큰 신호가 수신기에 유입되어도 혼합기가 선형 동작을 할 수 있도록 입력 1 dB 압축점(P1 dB)은 5 dBm 이상이 되도록 설계를 하여야 한다.

2. 저항성 혼합기 설계 및 제작

본 논문에서는 RF 회로 시뮬레이션 툴인 ADS를 이용하여 아래의 절차를 따라 저항성 주파수 혼합기를 설계 하였다.

첫째, 사용하는 GaAs MESFET의 등가회로를 S 파라미터로부터 구현하였다^{[4],[5]}.

둘째, 모델링 된 GaAs MESFET의 I-V 특성 곡선을 알아보기 위해 DC 해석을 하였다. DC의 해석을 통해서 혼합기의 저항성 영역 및 포화 영역을 분석할 수 있다.

셋째, 모델링 된 GaAs MESFET를 LO에 대한 대 신호 분석인 LSSP(Large Signal S-Parameter)를 통해서 게이트의 임피던스를 추출하고, 대 신호에 대한 LO 단정합 회로를 구현하였다.

넷째, 소신호 분석인 SP(S-Parameter)를 통해 얻어진 입·출력에 대한 정합 정도는 문헌^[6]에 의하면 2.1dB 이하의 전압정재파비(Voltage Standing Wave Ratio)로 하고 있다. 본 연구에서도 동일한 방법으로 RF와 IF에 대한 입·출력의 임피던스 정합을 이루었다.

다섯째, 개별적으로 설계된 회로들을 조합한 주파수 혼합기를 ADS의 하모닉 발런스(Harmonic Balance)를 이용하여 주파수 혼합 특성에 대한 시뮬레이션을 하였다.

이러한 절차에 따라 본 논문에서 설계한 평형 저항성 혼합기의 블록도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 주파수 혼합기는 격리도 특성을 개선하

기 위해 평형 구조 형태를 취하고 있다.

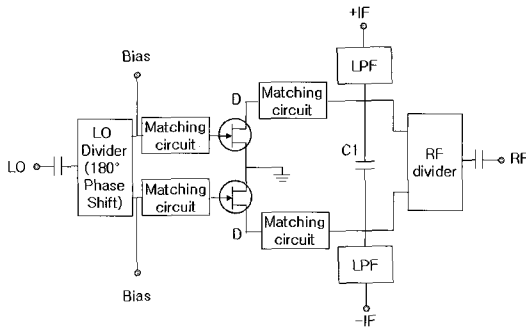


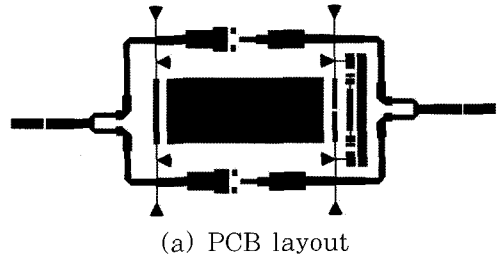
Fig. 1 Block diagram of balanced resistive mixer

LO에 180°의 위상차를 두어서 FET에 인가하면 RF 단으로 넘어가는 LO는 커패시터 C1에서 상쇄가 되어 RF단과 LO단을 격리 할 수 있고, IF 단으로는 저역통과필터(LPF)에 의해 LO 전력이 격리가 된다. 그리고 2개의 FET에 LO가 180° 위상차로 인가되므로 2개의 IF 출력단에 나오는 신호는 크기는 동일하고 180° 위상차만 존재하게 되고, 그러므로 +/-IF단자 중 어느 것을 출력 단자로 사용해도 상관이 없다. 본 논문에서는 +IF 출력단자를 통해 나오는 신호를 관측하였다.

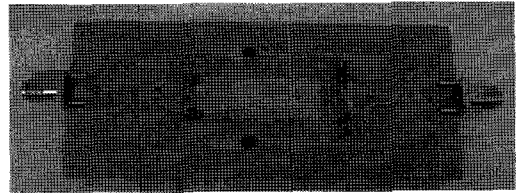
선박의 레벨 계측용 X 밴드 FMCW 레이더에서 사용하기 위해 본 논문에서 설계하고자 하는 저항성 주파수 혼합기의 설계 사양을 Table. 1에 나타내었다. 주파수 혼합기용 비선형 소자로는 모델명 NEC4210 S01인 GaAs MESFET을 사용하였으며, 바이어스는 VGG = -0.7V을 인가하였다. 상대유전율 $\epsilon_r = 10$, 두께 0.635 mm인 기판을 사용하여 제작한 혼합기의 layout 및 사진을 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1 Specification of the proposed mixer

항 목	사 양
RF, LO 주파수 대역	10 GHz ~ 11 GHz
IF 주파수 대역	DC ~ 10 KHz
LO 전력	< 5 dBm
P1 dB (입력)	> 5 dBm
LO/RF 격리도	> 20 dB
LO/IF 격리도	> 30 dB
변환손실	< 10 dB



(a) PCB layout



(b) Photo of fabricated mixer

Fig. 2 PCB layout and photo of fabricated mixer

Fig. 2 (a)의 layout를 살펴보면, 게이트에 바이어스를 인가하기 위해 10.5 GHz의 1/4 파장에 해당하는 개방형 레디얼 스텐브 및 높은 임피던스의 마이크로스트립 선로를 이용해 RF 초크를 구현하였고, 평형 구조를 만들기 위해 사용한 Wilkinson 전력분배기를 RF와 LO 단자에 각각 배치하였으며, LO 단자의 경우 180° 위상차를 만들기 위해 각각의 FET에 도달하는 마이크로스트립 전송선로의 길이를 다르게 설정하였다. 그리고 IF 단자에는 RF 와 LO의 혼합에 의해 발생하는 고조파를 제거하고 차 신호 성분만을 추출하기 위해 차단주파수가 10 KHz인 3차 저역통과 필터를 설계하였다.

3. 측정 결과

제작된 혼합기에 10.5 GHz, 3 dBm의 LO신호가 인가되었을 때 -20 dBm의 RF 입력 전력에 대한 혼합기의 IF 출력신호 스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다. 측정된 IF 신호의 주파수는 약 821 Hz이며, 전력은 -30.469 dBm으로서 혼합기의 변환손실이 10.469 dB 인 것을 알 수 있다. Fig. 4에는 RF 신호의 전력이 -20 dBm이며, RF 주파수는 LO 주파수와 약 1 KHz 차이 나는 신호를 인

가하여, LO의 전력이 0 dBm에서 10 dBm 까지 변할 때의 변환 손실을 나타내었다. Fig. 4에서 LO 전력의 변화에 대해 변환 손실의 변화는 일정하게 약 10.5 dB인 것을 알 수 있다.

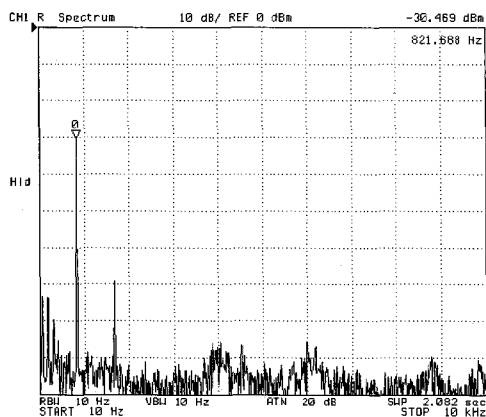


Fig. 3 Measured IF spectrum

Fig. 5에 입력 RF 전력의 변화에 따른 출력 IF 전력의 변화를 나타내었다. Fig. 5로부터 주파수 혼합기의 1 dB 압축점이 6 dBm 인 것을 알 수 있다. 일반적으로 혼합기의 경우 LO 전력이 증가할수록 그리고 변환손실이 작을수록 P1 dB가 증가하는데, 본 논문에서 설계한 혼합기는 LO 전력이 3 dBm으로 저전력에서 구동하는데도 불구하고 P1 dB가 6 dBm으로 큰 값을 갖는 특징이 있다.

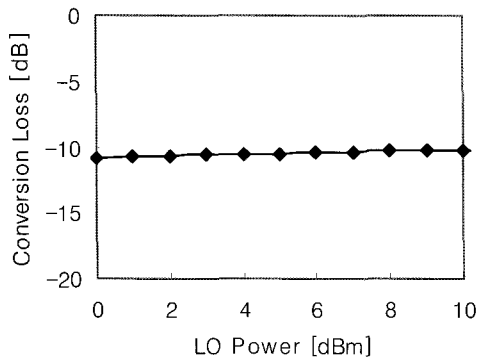


Fig. 4 Measured conversion loss of mixer as function of LO power

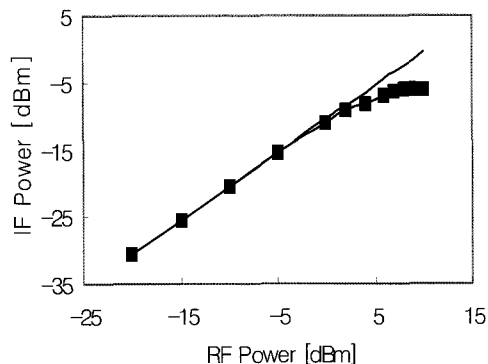


Fig. 5 Measured IF power as function of RF power

또한 제작한 혼합기의 각 포트 간 격리도 특성을 조사하여 Fig. 6에 나타내었다. 10 GHz ~ 11 GHz의 광대역 주파수 범위에서 LO와 RF 단자 간의 격리도는 약 20 dB 이상이며, LO와 IF 단자 간의 격리도는 30 dB 이상이고, RF와 IF 단자 사이의 격리도는 43 dB 이상인 것을 알 수 있다. 이것은 상용 제품인 Hittite사의 혼합기의 경우 LO 전력이 13 dBm 인가 될 때 LO/RF, LO/IF, RF/IF 단의 격리도가 각각 30 dB, 30 dB, 20 dB인 것과 비교하면, 본 논문에서 제작한 혼합기는 3 dBm의 낮은 LO 전력이 인가되었는데도 불구하고, LO/RF 간의 격리도는 성능이 떨어지지만 LO/IF, RF/IF간에는 뛰어난 격리도 특성을 얻었다.

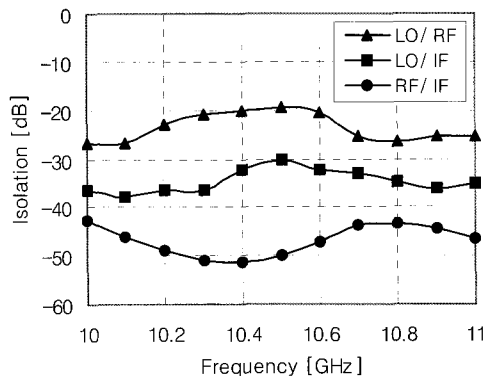


Fig. 6 Measured isolation of the proposed mixer

4. 결 론

본 논문에서는 10 GHz ~ 11 GHz 의 광대역 주파수 범위에서 사용가능한 저항성 주파수 혼합기를 설계 및 제작하였다. 주파수 혼합기의 설계는 시뮬레이션을 통해 GaAs MESFET에 대한 등가 회로를 설계 후, LO에 대한 입력 정합 회로 및 RF 입력 정합 회로, IF에 대한 출력 정합 회로와 격리특성을 개선하기 위해 평형 형태의 분배기와 합성기로 제작 하였다.

본 논문에서 제작한 저항성 주파수 혼합기는 LO와 RF 주파수는 각각 10 GHz ~ 11 GHz 이고, IF는 100 Hz ~ 10 KHz 이며, LO 전력이 3 dBm 인가되었을 때, 변환손실은 약 10.5 dBm 으로 다소 손실이 크게 나타나지만 10 GHz ~ 11 GHz의 광대역에서 동작을 한다. 그리고 LO와 RF 단자간의 격리도는 10 GHz ~ 11 GHz 대역에서 약 20 dB 이상이며, 1 dB 압축점은 6 dBm 으로 관측되었다.

설계 및 제작 된 저항성 주파수 혼합기는 선박의 레벨센서용 FMCW레이더에 적용 가능할 것으로 사료 된다.

참고문헌

- [1] R. A. Pucel, D. Masse, and R. Bera, "Performance of GaAs MESFET Mixers at X Band", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-24, pp. 351-360, June 1976.
- [2] G. Bergmann and A. Jacob, "Conversion Gain of a Microwave MESFET Drain Mixers", *Electron Lett.*, Vol. 15, pp. 567-568, Aug. 1979.
- [3] S. A. Mass, "A GaAs MESFET Mixer with Very Low Intermodulation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-35, No. 4, April 1987.
- [4] Shur, M. S., and L. F. Eastman, "I/V Characteristics, Small-Signal Parameters and Switching Times of GaAs FETs", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. ED-25, pp.606, 1978.
- [5] Shockley W., "A Unipolar-Field Effect Transistor", *Proc. IRE*, Vol. 40, pp.1365, 1952.
- [6] S. A. Mass, *Microwave Mixers*, 2nd ed., Artech House, Boston-London, 1993.

저 자 소 개



박동국 (朴東國)

1964년생, 1987년 부산대학교 전자공학과 졸업(학사), 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사), 2004년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사), 2004년~2006년 LG전자 선임연구원, 2006년~현재 한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부 교수



한태경(韓泰京)

1977년생, 2004년도 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(학사), 2006년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(석사), 현재 Ether-tronics Inc. Korea 주임연구원