

## Ka-Band의 집적화된 송수신 모듈 개발

김완식\*, 정연만\*\*, 김계국\*\*

### Integrated Transceiver Module development at Ka-Band

Wan-Sik Kim \*, Yun-Man Jung \*\*, Gye-Kuk Kim \*\*

#### 요 약

본 논문에서는 레이더에 사용할 수 있는 집적화, 소형화된 Ka-band용 송수신 모듈을 설계 및 제작하였다. 캐비티 형태의 공진기 및 MMIC의 VCO, 전력증폭기, 저잡음 증폭기, 주파수 혼합기와 직접 설계, 제작한 수동 소자들을 캐리어에 장착시키고, 이 캐리어들을 직접 송수신 모듈에 연결하여 결과적으로 출력 21dBm, 잡음지수 5dB까지의 성능을 보이면서 50cm\*50cm\*20cm의 소형화된 크기로 설계하였다. 개발된 FMCW 송수신 모듈을 이용하여 60m 이상 떨어져 있는 목표물을 탐지할 수 있는 비트 신호와 하늘 및 땅에 대한 특성을 분석할 수 있는 라디오미터 신호를 측정하였다. MMIC로 구성된 Ka-band의 송수신 모듈은 레이더와 라디오미터용으로 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

#### Abstract

In this paper, an integrated and small Ka-band transceiver module has been developed for measuring distance at the radar systems. Oscillator of cavity type, The MMIC such as VCO, power amplifier, LNA, and mixer, and passive components are integrated on carriers and these are assembled in the transceiver module directly. The test result shows the output power of 21dBm and the noise figure of 5dB using developed transceiver module. Using developed FMCW transceiver module. We can measure the 60m range target by detecting the beat frequency and distinguish both earth and sky using radiometer signal. So we defined that the integrated module using MMIC had a good performance for the radar and radiometer at Ka-band.

▶ Keyword : 송수신 모듈(Transceiver module, 저잡음 증폭기(LAN))

## I. 서론

레이더 시스템 중 호모다인 방식은 간단하고, 저비용으로 설계 가능한 시스템 구조로서 목표물에 전자파 에너지를 발사하고 목표물에서 돌아오는 반사파와의 주파수 차이를 이용하여 거리를 측정하는 장치이다.[1] 이 시스템은 지능형 신관, 차량 충돌방지시스템[2], 거리계 및 항공용 기상측정시스템으로 폭넓게 적용되고 있는데, 상기 시스템을 밀리미터파 동작 주파수로 사용하는 경우, 높은 주파수 분해능과 작은 안테나를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 밀리미터파 레이더 시스템은 소형화가 절실함에도 건(Gunn) 발진기 또는 쇼트키 다이오드 믹서 등의 하이브리드 타입으로 설계가 되어지는 등 소형화, 집적화된 설계가 되어 오지 못하였다.[3]

최근 MMIC의 개발이 활발하게 이루어짐에 따라서[4] 소형화된 설계가 용이하게 되었고 이러한 Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC)을 이용한 경우에 저비용, 고 신뢰성, 무게 및 크기가 축소되는 장점이 있다.[5][6][7] 그러나 MMIC를 부품 레벨에서 연구가 활발하더라도 시스템으로 집적화하는 연구는 기술적으로 어려움이 있고 또한 성능이 뛰어나지 못하는 단점이 있다. 이러한 보완점을 보완하기 위하여 LTCC를 이용하여 시스템으로 집적화를 위한 시도가 진행되고 있으나 이 또한 향후 지속적인 연구와 노력이 필요한 부분이다.[8] 따라서 현 시점에서 MMIC를 이용한 시스템의 소형화, 집적화를 가능하게 하는 연구를 진행하고 있다.[9]

본 논문에서는 이러한 MMIC, 캐비티 타입의 발진기와 수동소자를 사용하여 Ka-band의 레이더용 송수신 모듈을 50cm(W)\*50cm(L)\*20cm(T) 크기로 직접 설계 및 제작하였다. 설계 고려사항으로 집적화 및 소형화, VCO의 낮은 위상잡음 및 주파수 선형성을 위한 캐비티 타입의 발진기 제작, 선형 특성과 출력이 높은 전력증폭기의 사용 그리고 소형 크기의 수동소자의 설계 및 제작 등이다. 송수신 모듈용 RF 시스템은 송신단과 수신단으로 구성되어 있다. 각 모듈은 시스템에 캐리어를 이용하여 직접 조립되었는데 조립 이전에 각각 성능을 측정한 후 장착하였다. 측정에서는 60m 이상 떨어져 있는 목표물에 대한 거리를 분석할 수 있는 비트 신호와 물체에 대한 특성을 분석할 수 있는 라디오미터 신호를 측정하여 우수한 특성을 보였다.

본 논문의 제 1장에서는 서론, 제 2장에서는 집적화, 소형화된 Ka-band의 송수신 모듈을 설계 및 제작하고 실험 결과를 나타내었다. 마지막으로 3장에서는 결론을 도출하였다.

## II. 본론

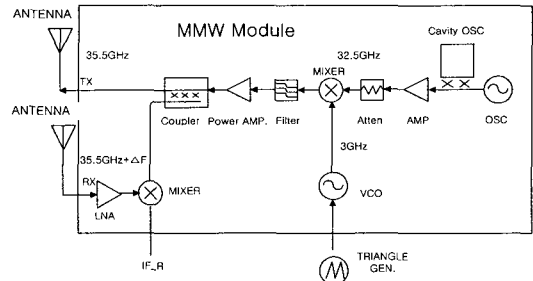


그림 1. 모듈의 블록도  
Fig 1. Block diagram of transceiver module

그림 1은 Ka-band용 송수신 모듈을 보여준다. 모듈의 송신단은 커플링된 캐비티의 공진기 및 VCO와 전력 증폭기로 이루어져 있으며, 수신단은 LNA, 믹서로 구성된다. 레이더로서의 역할을 수행하는데 있어 VCO는 변조기로부터 신호를 받아 주파수를 연속적으로 변화시키게 되며 증폭기를 통하여 송신을 하게 되고, 수신기는 목표물로부터 반사되는 주파수를 수신 후 믹서의 IF부를 통하여 비트 신호를 검출하게 된다.

표1은 제작하고자하는 송수신모듈의 개발 규격이다. 레이더 시스템에서 송신단의 위상잡음은 낮은 잡음지수의 시스템을 갖도록 하는데 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 낮은 위상잡음, 높은 공진 Q값 및 온도 안정성이 우수한 캐비티 발진기를 사용하여 레이더의 성능을 높이고자 한다. 또한 시스템 전체적인 설계에 있어서도 높은 잡음 레벨을 갖는 VCO의 누설 신호는 Mixer를 통하여 IF의 잡음 레벨에 영향을 주므로 이를 고려하여 설계하여야 한다.

표1 송수신 모듈의 규격  
Table 1 Specifications of transceiver module

파라미터	개발 목표	
크기	50*50*20cm	
중심 주파수	35.5GHz	
송신 출력	>20dBm	
대역폭	1GHz	
위상 잡음	@1KHz	(<-89dBc/Hz)
	@100KHz	(<-93dBc/Hz)
주파수 안정도	@-20~-50℃	±1MHz
잡음지수		5dB
공진 Q 값		5000~10000

2-1. 모듈의 설계 및 제작

그림 2는 캐비티 공진기 및 커플링과 관련한 제작 그림으로 발진기의 내부는 임의의 주파수가 공진하기 위한 구조로 되어 있다. 설계된 캐비티 공진기는 32.5GHz에서 공진되는데 GaAs MESFET의 공진 주파수 전력을 증폭시키고, 공진기를 사용하지 않을 경우보다 높은 안정도 Q를 가지게 하며, 위상잡음의 성능을 개선시키는 역할을 한다. 캐비티 공진기를 커플링하기 위한 구조로 알루미늄 스트립라인을 안테나 구조로 하여 결합시켰다.



그림 2. 캐비티 공진기의 구조  
Fig 2. Structure of cavity resonator

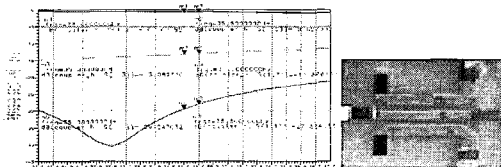
이 발진기는 믹서를 이용하여 3GHz의 VCO와 상향 주파수 변환시켜 중심주파수 35.5GHz, 대역폭 1GHz의 대역폭을 갖도록 설계하였다.

VCO의 선형도를 나타내는 전압대비 주파수 비선형성(non-linearity) 정도를 나타내는 파라미터는 다음 수식과 같이 계산된다. [6]

$$L = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}} * 100\% \dots\dots\dots (1)$$

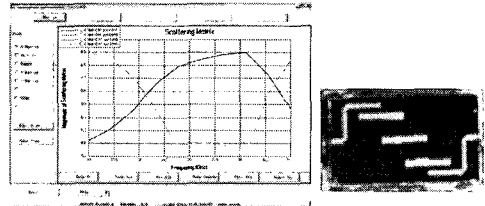
여기서 L은 비선형성을, Smax Smin은 VCO 감도(Sensitivity)의 최대값 및 최소값을 나타낸다.

모듈에서 사용된 수동소자는 커플러와 필터 및 감쇄기 등이다. 커플러는 그림 3과 같이 15dB의 커플링 값을 시뮬레이션을 통하여 구현하고 각 측면에 있는 전송선로가 50Ω이 되도록 고정된 뒤 마이크로스트립 라인 길이와 커플링 값만을 최적화하였다. 또 필터는 그림 4에서와 같이 IL=2dB, 대역폭이 1GHz로 설계하였고, 각각 크기는 2.4x2.4mm이고 알루미늄 기판을 사용하여 제작하였다.



(1) 시뮬레이션 결과 (2) 제작된 커플러

그림 3. 설계된 커플러  
Fig 3. Designed coupler



(1) 시뮬레이션 결과 (2) 제작된 필터

그림 4. 설계된 필터  
Fig 4. Designed filter

송신단은 0.25um GaAs MESFET 공정을 사용한 UMS의 파운드리에 의하여 제작된 MMIC를 사용하였는데, P1dB가 24dBm이고 이득은 14dB이다. 수동소자로서 커플러는 알루미늄(AI2O3) 기판을 사용하여 설계 및 제작을 하였는데, 결합계수가 15dB, 삽입손실이 1dB 특성을 갖는다. 각각의 부품은 0.7 mil 두께의 골드 와이어를 사용하였다. 그림 5는 제작된 송신용 캐리어로 전력증폭기, 필터, 커플러로 구성된다.

표2는 송신단의 출력 전력 계산결과이다.



그림 5. 제작된 송신용 캐리어  
Fig 5. Fabricated carrier for transmitter

표 2 송신단의 전력 계산  
Table 2 Power calculation of transmitter

		OSC	AMP	Filter	Mixer	Filter	Amp	Coupler
Gain	dB	4	16	-2	-7	-2	14	-2
Power	dBm	4	20	18	11	9	23	21

그림 6은 제작된 수신단용 캐리어로 주파수 혼합기와 저잡음 증폭기로 구성된다.



그림 6. 제작된 수신용 캐리어  
Fig 6. Fabricated carrier for receiver

주파수 혼합기는 변환 손실이 7.5dB로 적은 더블 발란스 GaAs 쇼트키 다이오드 주파수 혼합기인 Alpha사의 MMIC를 사용하였다.

저잡음 증폭기는 0.25 $\mu$ m 게이트 길이를 갖는 HEMT 공정을 사용하여 제작된 UMS사의 MMIC 칩을 사용하였고 잡음지수는 3.5dB이고 이득 26dB이다. 이를 네트워크 분석기로 측정한 결과 이득이 25dB 임을 확인할 수 있었다. 표3은 수신단의 파워 버짓 및 잡음지수 계산결과이다.

표 3. 수신단의 전력 계산 및 잡음지수  
Table 3 Power budget and NF of the receiver

		Antenna transition.	LNA	Mixer	Filter
Gain	dB	-1	25	-7	-2
Input Power	dBm	-69	-44	-51	-53
NF	dB	1	4.43	6.08	-

2-2. 측정

그림 7과 같이 상기 송수신 모듈은 레이더 및 라디오미터로서의 기능을 수행하면서 소형 집적화된 50(W)\*50(L)\*20(H)mm 크기로 제작하였다.

송신단에서 VCO의 대역폭은 수신되는 신호 값과 비례하여 증가시키지만 반대로 열잡음 전력과 비례하여 잡음을 증가시켜서 잡음레벨을 증가시키므로 약 200MHz 정도까지만 변화를 주었다.

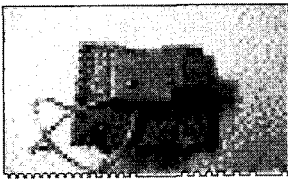


그림 7. 모듈의 제작 사진  
Fig. 7. Fabricated transceiver module

전력증폭기는 1dB까지 출력될 수 있도록 최대 이득을 갖도록 하고 송신 출력을 증대시키면, 수신단의 수신 전력 또한 증가된다. 그림 8은 VCO의 출력 전력과 대역폭 그리고 비선형성을 측정된 결과이다. 측정 결과로 L값은 4.58% 값으며, 레이더 시스템의 신호 검출에 우수한 특성 결과를 갖는다.

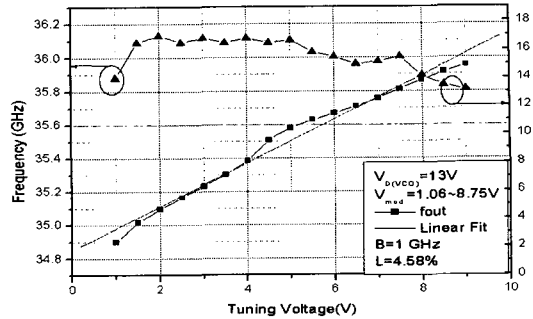


그림 8. VCO의 출력 측정 결과  
Fig 8. Test result of VCO

그림 9는 VCO의 위상잡음을 측정된 결과로 공진 Q값은 5000~10,000이고, 위상잡음은 1MHz offset시에 -89dBc/Hz를 갖는다.

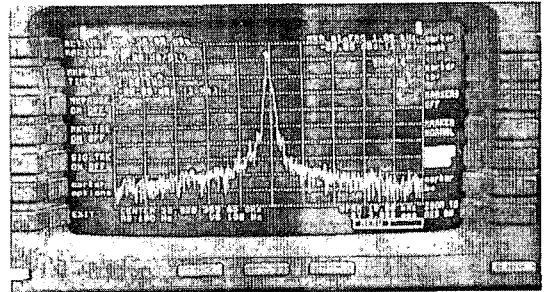


그림 9. VCO의 위상잡음  
Fig 9. Phase noise of VCO

전력 증폭기의 측정 결과는 21dBm 이상이고 출력 전력의 평탄도는 1dB 이하로 일정하였다. 수신단은 저잡음 증폭기 및 혼합기용 캐리어로 구성하였다. 낮은 잡음지수 값을 갖도록 안테나 임피던스 정합을 충분히 고려하여야 하고 주파수 혼합기의 로컬 전력 레벨을 조정하기 위하여 감쇄기를 사용하고 최대 수신 전력 이득을 갖도록 설계하였다.

그림 10은 변조 주파수가 0.8kHz, 대역폭이 200MHz 인 경우, 수신단의 IF 신호는 112kHz이고 수신되는 전력 레벨은 -53dBm이다.

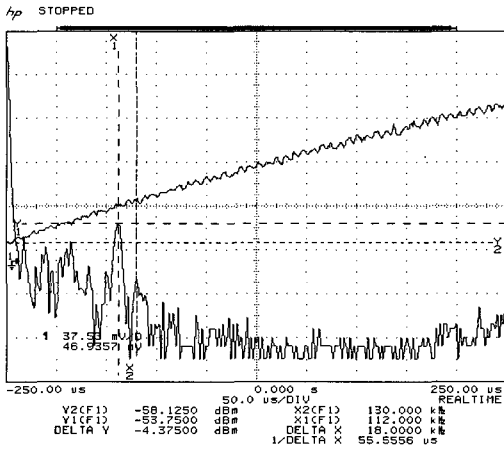


그림 10. 수신 IF 출력단의 측정 결과  
Fig 10. Test result of IF output

MMIC로 구성된 본 논문의 시스템은 전기적 특성이 매우 민감하므로 동작시 바이어스 인가에 주의를 기울여야 한다. 표4는 송수신 모듈의 특성을 정리한 것으로 실험 후 결과가 개발 목표에 만족함을 알 수 있다.

표4 송수신 모듈의 특성  
Table 4 Characteristics of transceiver module

특성	개발 목표	실험 결과	
크기	50*50*20cm	좌 동	
중심 주파수	35.5GHz	좌 동	
송신 출력	>20dBm	21dBm	
대역폭	1GHz	1.2GHz	
위상잡음	@1KHz	<-89dBc/Hz	좌 동
	@100KHz	<-93dBc/Hz	좌 동
주파수 안정도	@-20~ -50℃	±1MHz	좌 동
잡음 지수	5.0dB	6.08dB	
공진 Q 값	5000~10000	좌 동	
IF 출력	< 500kHz	112kHz	

### III. 결 론

본 논문은 Ka-band의 송수신 가능한 모듈을 소형화 집적화된 크기로 제작하였다. VCO는 캐비티 공진기를 이용하여 VCO의 위상잡음을 낮추도록 하였고, MMIC 및 수동소자들을 집적화된 크기로 설계하기 위하여 캐리어에 실장하

고 직접 연결시키는 공정 방법으로 소형화 집적화를 가능하게 하였다.

본 논문에서 제시된 모듈을 이용하여 표적을 감지하는 레이더, 차량 충돌 방지 시스템, 및 소형 및 저가의 통신시스템에 폭 넓게 응용되어 사용 가능하리라고 본다. 향후 연구과제의 목표로는 Phase Noise 특성이 우수한 Cavity 형태의 공진기를 제외한 나머지 부분에 대하여 LTCC 및 MMIC의 집적화 기술을 향상시켜 시스템을 설계 및 제작하고자 한다.

### 참고문헌

- (1) S.A. Hovanessian "Radar System Design and Analysis", 1984
- (2) T.Takehana, H.Iwamoto, T.Skamoto, and T.Nogami. "Millimeter-Wave radars for Automotive Use," SAE technical Paper Series Convergnce '88, 1988
- (3) P. J. F. Swart, J. Schier. A. J. C. van Gemund, W. F. van der Zwan, J. P. Karelse, G. L. Lighthart and H.T. Steenstra, "The Colarado multistatatic FMCW radar system", in Proc. European Microwave Conference, Amsterdam, October 1998, vol.2, pp.449-454
- (4) Tanaka, S.; Yamanouchi, S.; Amamiya, Y.; Niwa, T.; Hosoya, K.; Shimawaki, H.; Honjo, K. "A Ka-band HBT MMIC power amplifier" Microwave Symposium Digest. IEEE MTT-S International , Volume: 1, 2000 Page(s): 553-556 vol.1
- (5) D.L. Ingram, L. Sjogren, J. Kraus, M .Nishimoto, M. Siddiqui" A High Integrated Multi-Function Chip Set Low Cost Ka-Band transceiver" IEEE MTT-S Digest. 1998.
- (6) E. Holzman, Solid-State Microwave Power Oscillator Design, Artech House, pp.352-353, 1992.
- (7) 권영우, 최우열 "도파관내에서 공간적으로 결합된 V-band MMIC 결합 발진기 Array" 13권 8호, September 2002.
- (8) 송명선, 은기찬 "LTCC를 이용한 밀리미터파 송수신기

실계 기술" 한국전자과학회. 2005. October 2005.

[9] 김완식 "FMCW Radar용 Ka-band 송수신 모듈 개발" 한국군사과학기술학회 논문집. 2002.

### 저 자 소개



**김완식**

1991년 2월 : 건국대학교 전자공학과  
공학사  
1993년 2월 : 건국대학교 전자공학과  
공학석사  
2005년 2월 : 건국대학교 전자정보  
통신공학과 공학박사  
1992년~2001년 : 대우전자 선임연  
구원  
2002년~2005년 : 고등기술연구원  
수석연구원  
2005년 ~ 현재 : 넥스원퓨처(주)  
수석연구원  
[주 관심분야] 밀리미터파 시스템, 레  
이더 및 MMIC



**정연만**

1983년 2월 : 숭실대학교 전자공학과  
공학사  
1985년 2월 : 실대학교 대학원  
전자공학과 공학석사  
1991년 8월 : 숭실대학교 대학원  
전자공학과 공학박사  
1993년~2006년 11월 현재: 국립  
원주대학 정보통신과 교수  
[주 관심분야] 무선통신시스템 및  
통신회로



**김계국**

1954년 8월 24일 제주우도출생  
원광대학교 전자공학과 졸업  
숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업  
건국대학교 대학원 전자공학과  
졸업(공학박사)  
원광대학교 전자공학과 강사  
건국대학교 전자공학과 강사  
한국컴퓨터정보학회 홍보이사  
문예지 시마을 신인상으로 시인등단  
현재 국립원주대학 정보통신과 교수  
[주 관심분야] 안테나 및 초고주파회로