

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.233>

IIBC 2017-2-33

국내개발 MMIC칩을 적용한 W-Band 송수신모듈 개발

Development of W-band Transceiver Module using Manufactured MMIC

김완식*

Wan-Sik Kim*

요약 저잡음 증폭기, 믹서, 로컬 증폭기와 온도보상회로를 포함하는 다채널 수신 블록이 단일 MMIC 칩으로 설계 및 제작되었다. 이 국내개발 MMIC 칩을 송수신 모듈내에 장착하고 제작하여 송수신 모듈의 잡음지수와 변환이득 등을 측정하였으며, 또한 상용 칩을 장착하여 제작한 송수신모듈의 측정 결과와 이를 비교하였다. 결과적으로 국내개발 MMIC 칩을 이용한 송수신모듈이 상용 MMIC 칩을 이용한 송수신 모듈보다 잡음지수 및 평탄도 등에서 국내 개발 칩이 더 변환이득 특성이 좋으며, 채널당 이득 차이는 각각 0.5dB과 1.5dB이고 위상 차이는 각각 1.06도와 3.93도로 비교적 국내 개발 칩이 우수한 특성을 보였다.

Abstract The dual-channel receiver MMIC which is composed of LNA, Mixer, LO-amp and temperature compensation circuit is designed on a single chip. For the performance comparison, a FMCW radar transceiver module using commercial MMICs is also implemented. As a result, Multi-channel Transceiver using manufactured MMIC shows an improved performance such as noise figure and gain flatness compare to purchased MMIC.

Key Words : MMIC, W-band, Transceiver Module, FMCW

1. 서 론

밀리미터파 레이더는 대부분 차량용 자동차에 장착하여 송신파와 수신파를 비교하고 이로부터 밀리미터파 레이더는 대부분 차량용 자동차에 장착하여 송신파와 수신파를 비교하고 이로부터 획득된 수신 비트 신호와 도플러 신호 등을 이용하여 전방차량과의 거리 및 상대 속도를 파악하여 차량의 충돌을 방지하거나 위험을 알려주는 역할을 하며 최근에는 자율 주행을 가능하게 하는 핵심 기술이다. 밀리미터파를 이용하는 레이더 센서는 대부분 W-대역을 사용하며 이 주파수 대역에서 지속적으로 연

구가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우 2001년 4월 전파법 제 9조의 규정에 의거 정보통신부 고시 제 2001-21호에서 W-대역을 차량레이더용으로 권고하였다.^{[1][2]} 현재 차량용 레이더는 유럽을 선두로 W-대역의 밀리미터파를 활용하고 있으며, 이제는 밀리미터파 센서의 구현 방안중 가격과 성능면에서 많은 대안을 간구하고 준비되고 있다.

이 경우 밀리미터파 레이더의 핵심이 되는 카레이더용 MMIC 개발은 독일의 Infineon, NXP 및 TI 등이 활발하게 차량에 적용하는 노력을 수행하여 상용화 칩을 공급을 하고 있거나 예정이다.^[2]

*정회원, LIG 넥스원(주)

접수일자: 2017년 3월 7일, 수정완료: 2017년 4월 5일

게재확정일자: 2017년 4월 7일

Received: 7 March, 2017 / Revised: 5 April, 2017

Accepted: 7 April, 2017

*Corresponding Author: wansik.kim@lignex1.com

Dept. of Radar R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

또한 카레이더 용 모듈을 포함하여 밀리미터파 레이더 등은 해외의 보쉬, 콘티넨탈 등에서도 공급하고 있으나 시스템에 적용하고 있으며, 국내의 경우 일부 업체를 필두로 차량용 밀리미터파 대역의 레이더를 개발하였거나 계속 개발하고 있다고 하겠다.^[2] 본 논문도 차량용 밀리미터 대역의 레이더를 위한 송수신모듈의 개발 내용에 해당한다.

II. 수신용 MMIC 칩 개발

밀리미터파 레이더 개발 시스템의 특성을 고려하고, 시스템에 적합한 밀리미터파 MMIC 칩의 확보 필요성 때문에 MMIC 칩의 국내 개발을 진행하게 되었다. 즉, 밀리미터파 레이더 개발 시스템은 다채널 수신기를 필요로 하며 다채널 수신기는 여러 개의 MMIC을 사용하게 되는 원인이 되기도 한다. 현재 일부 MMIC 칩 제작 업체에서 다채널 단일 칩을 공급하지는 않지만, 방산분야에는 제한적으로 공급하고 있는데 이러한 특수성을 고려하면 밀리미터파 레이더용 다채널 수신단에 적합한 MMIC 칩의 확보가 어려운 한계가 있다. 본 논문에서는 FMCW 레이더에 적용을 위하여 이중 채널 수신용 MMIC 칩을 개발하였으며 개발된 MMIC 칩을 적용하여 W-band의 다채널 송수신모듈을 개발하고 시험된 전기적 특성을 제시하였고, 또한 상용 구매 칩을 이용하여 제작된 송수신 모듈과 시험 결과를 비교하였다.

이중 채널 수신용 MMIC 칩을 구현하기 위하여 수신단에서 필요로 하는 수신용 MMIC 칩은 0.15um GaAs pHEMT 소자 기술을 기반으로 국내 설계 후 제작되었는데 그 구성은 LNA, Mixer, Lo-amp 및 온도보상 회로로 되어 있다.

밀리미터파 대역에서 4개의 MMIC를 단일 칩 화하였는데 그림 1에서와 같이 해외 구매 칩을 활용하여 송수신 모듈의 수신단을 구현하는 경우 각 채널당 구매 부품의 특성과 이를 이용한 조립 공정시 조립 오차 등에 의한 손실 발생 등으로 채널마다 수신단의 이득, 잡음지수 등 전기적 특성이 불균일하여 신호처리를 위한 데이터로서 여러 가지 문제점을 야기시키고 있다.

따라서 그림 2와 같은 블록도와 칩의 실제 제작 형상에 해당하는 칩을 개발하여 사용하면 수신단의 각 채널의 불균일성을 개선하고 궁극적으로는 조립의 편리성을 가져오게 된다. 표 1은 국내 개발 MMIC 칩의 제작 후 전

기적 특성을 나타낸다. 표 2는 해외 유사 LNA 칩의 온도 보상 기술이 적용된 경우를 비교하여 W-대역에서 온도 변화에 대한 잡음지수의 변화 특성을 제공하여 주고 있다.^{[3][4][5][6][7]}

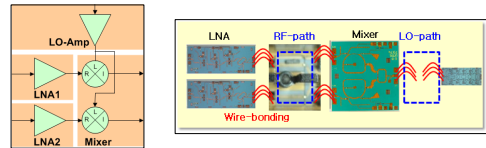


그림 1. 구매칩을 이용한 수신단 블록도와 모듈 조립도
Fig. 1. Receiver block diagram and module assembly using purchased MMIC of W-band

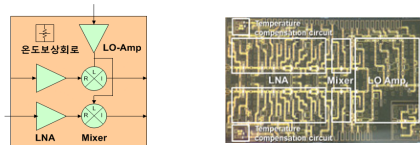
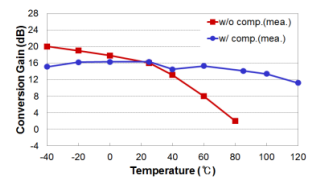
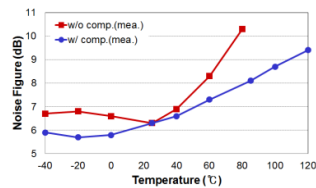


그림 2. 제작된 칩을 이용한 수신단 블록도와 모듈 조립도
Fig. 2. Receiver block diagram and photograph of fabricated MMIC of W-band



(a) 보상회로 유무에 따른 변환이득
(a) Conversion gain with and without compensation



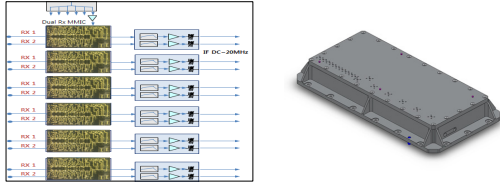
(b) 보상회로 유무에 따른 잡음지수
(b) Noise Figure with and without compensation

그림 3. 개발된 MMIC를 이용한 온도 측정 값
Fig. 3. Measured Temperature dependencies of the fabricated MMIC.

III. 다채널 송수신 모듈 개발

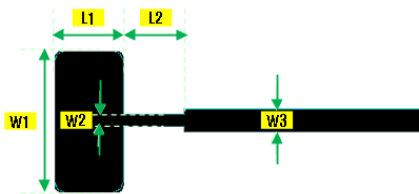
밀리미터파 레이더 개발 시스템에 적용하기 위하여 그림 2의 내용으로 국내 개발된 수신용 MMIC 칩을 적용

하여 그림 4의 (a)와 같이 송수신 모듈내 수신단에 개발된 MMIC 칩을 적용하여 블록도와 (b)와 같은 형상으로 송수신모듈을 개발하였다.

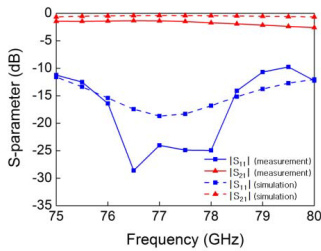


(a) 수신칩의 블럭도 (b) 송수신부 형상
 (a) Block diagram of Receiver (b) Configuration of Transceiver

그림 4. 수신칩의 블럭도와 송수신기 형상
 Fig. 4. Receiver block diagram using receiver MMIC chip and configuration of transceiver



(a) W-대역의 스트립라인과 도파관 전이 구조
 (a) Structure of W-band Microstrip to Waveguide transition



(b) W-대역의 스트립라인과 도파관 시뮬레이션 및 결과
 (b) Simulated and measured S11 and S21 of W-band Microstrip to Waveguide transition

그림 5. W-대역의 스트립라인과 도파관 전이 구조 그리고 측정 결과
 Fig. 5. Structure of W-band Microstrip to Waveguide transition and Test result

그림 5는 W-대역 마이크로 스트립라인과 도파관 트랜지션에 관한 설계 및 제작 결과이다. 도파관 트랜지션 관련기술은 여러 가지 방법이 있으나 대부분 Back short을 포함한다.^{[8][9][10][11]} 본 논문에서는 Back short을 포함하지 않은 구조로 출력된 RF 전력은 그림 5 (a)와 같이

마이크로스트립 라인을 통하여 도파관을 통해서 안테나로 출력하게 된다. 이때 Back short 없는 마이크로 스트립라인의 물리적 특성은 $w_1=1.91\text{mm}$, $w_2=0.15\text{mm}$, $w_3=0.30\text{mm}$, $L_1=1.01\text{mm}$ 및 $L_2=0.815\text{mm}$ 이다. 결과적으로 그림 5 (b)와 같은 시뮬레이션 및 측정 결과를 얻었다. 즉, 스트립라인부터 도파관까지 트랜지션 삽입 손실은 1.7 dB @76.5 GHz 이고, 시뮬레이션 0.7dB 대비 약 1dB의 정도 손실이 증가하는 오차 결과를 보였다. 반면 S11의 경우는 28.6 dB @76.5 GHz를 보여서 시뮬레이션 대비 10 dB 정도 개선되는 결과를 보였다.

표 1. 수신 MMIC 특성

Table 1. Characteristics of receiver MMIC

구분	단위	MMIC 시험결과
변환이득	[dB]	> 14.5 (상온)
잡음지수	[dB]	< 9.3
입력P1dB	[dBm]	-25.7 (Typ.)
VSWR		1.7 : 1
격리도 (LO-RF & LO-IF)	[dB]	> 58
IF 대역폭	[MHz]	DC~50

Table 2. Comparison of the reported LNA's using temperature compensation technique

Freq (GHz)	Process (μm)	Gain (dB)	NF (dB)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Gain Variation (dB/ $^{\circ}\text{C}$)	Ref.
76.5	GaAs 0.15	25	6.5	-40 ~120	-0.031	[3]
10	GaAs 0.25	9~13	~3	-60 ~100	-0.019	[4]
12	GaAs 0.25	20	~1.4	-25~75	-0.01	[5]
60	CMOS 0.09	21	6.5 ~8	-5~85	-0.056	[6]
62	CMOS 0.065	9.9	4.1	-20~100	-0.014	[7]

IV. 실험 및 결과

그림1과 그림2에서와 같이 블록도를 이용하여 개발된 국내 개발 칩과 해외 개발 칩을 활용한 경우 잡음지수는 그림 6(a)에서와 같이 각 채널당 편차가 최대 1.7dB로 안

정적인 반면 해외구매 칩을 활용한 경우에는 최대 8.5dB의 오차를 보이고 있다. 이는 각 채널의 수신단에 사용하는 4개 이상의 MMIC 칩을 하나의 모듈로 집적화하는 과정에서 임피던스 부정합에 의한 손실발생과 기생성분으로 인한 채널간 간섭 등을 야기하게 된다. 즉, 국내 개발 칩을 활용하면, 각 채널 당 와이어 본딩이 단순화되어 기생성분 영향이 축소되었고 전기적 특성이 안정화되었다.

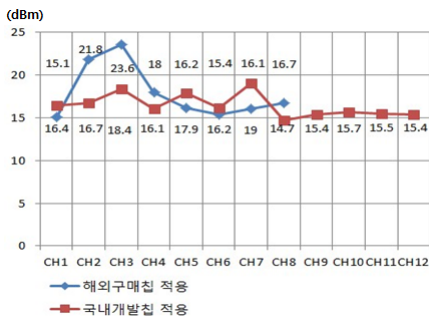
그림 6(b)에서 수신 변환이득은 국내 개발 칩과 해외 구매 칩 모두 45dB 이상 정도의 특성을 보이고 있으나 국내 개발 칩이 더 변환이득 특성이 좋으며, 채널당 이득 차이는 각각 0.5dB과 1.5dB이고 위상 차이는 각각 1.06도와 3.93도로 비교적 국내 개발 칩이 우수한 특성을 보인다. 또한 소력전력 및 크기 축소 등의 이점 때문에, 밀리미터파 레이더의 수신단에서 해외 구매 칩보다 국내 개발 MMIC 칩이 우수한 특성을 보임을 확인하였다.

V. 결론

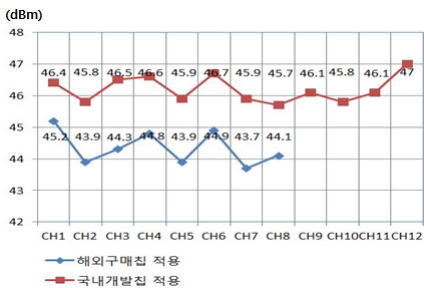
본 논문은 밀리미터파 레이더 개발 시스템에 적용할 목적의 수신기 MMIC 칩을 개발하고 그 칩을 이용하여 송수신모듈을 제작하였다. 국내개발 MMIC 칩과 해외구매 칩을 활용하여 송수신모듈을 개발하고 그 특성을 표3에서 비교하였으며, 채널 간 잡음지수, 채널간 이득과 위상 차이 등에서 국내개발 MMIC 칩을 사용하여 상용 칩 대비 MMIC와 송수신 모듈 모두 전기적 특성이 우수함을 확인할 수 있었다.

표 3. 구매 칩과 상용 칩을 이용한 송수신기 특성비교
Table 3. Transceiver characteristics both purchased MMIC and fabricated MMIC

구분	단위	국내 개발 칩 적용 송수신부	해외 구매 칩 적용 송수신부
잡음 지수	[dB]	14.7~19.0	15.1~23.6
채널간 잡음지수차이	[dB]	1.7	8.5
이득	[dB]	45.7~46.4	45.2~43.7
채널간 이득차이	[dB]	0.5	1.5
입력 P1dB	[dBm]	-27 이상	-33 이상
채널간 위상차이	[Deg]	1.06	3.93
수신 채널	[ea]	12	8
시스템 소형화		적용 가능	적용 불가능



(a) 측정된 잡음지수
(a) Measured noise figure



(b) 측정된 변환이득
(b) Measured receiver conversion gain

그림 6. 상용 칩과 구매 칩을 이용한 송수신모듈에서의 잡음지수와 변환이득 비교

Fig. 6. Compared noise figure and receiver gain data both fabricated MMIC and purchased MMIC in transceiver

References

- [1] An Official Gazette No 16322, Radio Wave Research Institute No 2006-84, 2006. 8. 23.
- [2] J. Y. Hong. "Car radar trend using Millimeter Wave," ETRI Journal, Vol.22, No.5, Oct. 2007, pp.35-45.
- [3] Sangho Lee, "W-band dual channel receiver with active power divider and on-chip temperature-compensation circuit," (To be published)
- [4] Long, A.P., et al.: 'Wideband HEMT MMIC low-noise amplifier with temperature compensation', Electronic Letters, 1994, 30,(5), pp.422-423
- [5] Yamanaka, K., et al.: 'Ku-band Low Noise MMIC Amplifier with Bias Circuit for Compensation of

- Temperature Dependence and Process Variation', IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., 2002, 3, pp.1427-1430
- [6] Shin, S.-C., et al.: 'A temperature variation compensated 60-GHz low-noise amplifier in 90-nm CMOS technology', Asia-Pacific Microw. Conf. Proceedings, 2011, pp. 211-214
- [7] Kawai, S., et al.: 'A temperature variation tolerant 60GHz Low Noise Amplifier with current compensated bias circuit', IEEE Asian Solid-State Circuits Conf., 2013, pp.429-432
- [8] Y. Deguchi, K. Sakakibara, N. Kikuma, and H. Hirayama, "Millimeterwave microstrip-to-waveguide transition operating over broad frequency bandwidth," in *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, Jun. 2005, pp. 2107 - 2110.
- [9] H. Iizuka, T. Watanabe, K. Sato, and K. Nishikawa, "Millimeterwave microstrip line to waveguide transition fabricated on a single layer dielectric substrate," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E85-B, no. 6, pp. 1169 - 1177, Jun. 2002.
- [10] K. Seo, K. Sakakibara, and N. Kikuma, "Microstrip-to-waveguide transition using waveguide with large broad-wall in millimeter-wave band," in *Proc. IEEE Int. Conf. Ultra-Wideband*, Sep. 2010, pp. 1 - 4.
- [11] Sun-il Kim "Design and fabrication of SSPA module in Ku band for satellite terminals," in *Journal of Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)* vol. 16, No. 4, pp.59-64 Aug. 31, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.59>

저자 소개

김 완 식(정회원)



- 1991년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
 - 1993년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
 - 2004년 2월 : 건국대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 - 1992년 11월 ~ 2001년 11월 : (주)대우전자 선임연구원
 - 2001년 12월 ~ 2005년 7월 : 고등기술연구원 책임연구원
 - 2005년 8월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석연구원
- <주관심분야 : 초고주파 회로설계, RF/밀리미터파 시스템, MMIC, 레이더 및 관련 센서 시스템>