

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.163>

IIBC 2018-6-22

국내개발 MMIC칩을 적용한 W-Band 송수신모듈의 분석 및 제작 결과

Analysis and Development Results of W-band Transceiver Module using Open MMIC Chips

김완식*, 정주용**, 김종필***

Wansik Kim*, Jooyong Jung**, Jongpil Kim***

요약 국내개발된 수신용 단일 MMIC 칩과 송신용 전력증폭 MMIC 칩을 W-대역 송수신모듈내에 장착하여 개발하였다. W-대역에서 중요한 잡음지수와 출력 전력 값을 계산하기 위하여 안테나 연결로부터 MMIC까지 W-대역의 전이구조 손실을 분석하였고, 수신부 12채널 및 송신부 5채널로 제작후 분석 결과와 측정값을 비교하였다. 결과적으로 송신부의 출력전력 값은 분석 결과와 상온 및 환경조건에서의 측정 결과 모두 유사한 결과를 얻었다. 수신부의 잡음지수 또한 유사한 결과를 얻었으나, W-대역의 12채널로 제작되는 다채널인 관계로 일부 채널에서는 제작 오차에 의해서 3 dB 정도의 오차를 보였다.

Abstract We developed W-band transceiver module using open MMIC chip such as receiver single chip and transmitting power amplifier. In order to calculate the noise figure and output power value, we analyzed the W-band transition loss from the antenna to MMIC connection and constructed the 12 channel receiver and the 5 channel transmitter. And compared with the results of the measurement. As a result, the output power of the transmitter was similar to the analytical results and the measured results at room temperature and environmental conditions. The noise figure of the receiver was also similar, but some channels showed error of about 3 dB due to manufacturing error.

Key Words : MMIC, W-band, W/G Transition loss, FMCW

1. 서론

밀리미터파 레이더는 대부분 차량용 자동차에 장착하여 수신파와 송신파를 비교하고 이로부터 획득된 수신 비트와 도플러 신호를 이용하여 전방차량과 거리 및 상대속도를 파악하여 차량의 충돌을 방지하거나 위험을 알려주는 역할을 하며 최근에는 자율주행 가능하게 하는 핵심 기술이다. 밀리미터파레이더는 이를 이용하는 레이더 센서는 대부분 W-대역을 사용하며 이 주파수 대역에서

지속적으로 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우 2001년 4월 전파법 제 9조의 규정에 의거 정보통신부 고시 제 2001-21호에서 W-대역을 차량레이더용으로 권고하였다.^[1]

현재 차량용 레이더는 유럽을 선두로 W-대역의 밀리미터파를 활용하고 있으며, 이제는 밀리미터파 센서의 구현 방안중 가격과 성능면에서 많은 대안을 간구하고 준비되고 있다.^{[2][3][4][5][6][7][8]} 현재 일부 MMIC 칩 제작 업체에서 다채널 단일 칩을 공급하기는 하지만, 방산분야

*정회원, LIG 넥스원(주)

접수일자: 2018년 10월 15일, 수정완료: 2018년 11월 15일

게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 15 October, 2018 / Revised: 15 November, 2018 /

Accepted: 7 December, 2018

*Corresponding Author: wansik.kim@lignex1.com

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

에는 제한적으로 공급 하고 있는데 이러한 특수성을 고려하면 밀리미터파 레이더용 다채널 수신단에 적합한 MMIC 칩의 확보가 어려운 한계가 있다.

본 논문에서는 FMCW 레이더에 적용을 위하여 방산 분야에서 확보하기 어려운 이중 채널 수신용 단일 MMIC 칩과 송신용 전력증폭 MMIC 칩을 개발하였으며 이 칩들을 적용하여 W-band의 다채널 송수신모듈을 개발한 전이구조 특성을 분석하여 시험된 상온 및 환경 조건(고온)에서 전기적 특성을 비교 제시하였다.

II. W-대역 MMIC 칩의 국내개발

밀리미터파 레이더 개발 시스템의 특성을 고려하고, 시스템에 적합한 다채널 수신기를 필요로 하며 다채널 수신기는 여러 개의 MMIC을 사용하게 되는 원인이 되기도 한다. 본 논문에서는 FMCW 레이더에 적용을 위하여 수신용 단일 MMIC 칩은 0.15um GaAs pHEMT 소자 기술을 기반으로 국내 설계 후 제작되었는데 그 구성은 LNA, Mixer, Lo-amp 및 온도보상 회로를 포함하는 회로로 되어 있다. 이때 온도보상회로는 Temperature Compensation Circuit (TCC) 의 약자이다. 또한 송신 출력 증대 목적의 송신용 전력증폭 MMIC 칩을 개발하였다. 그림 1은 조립 공정시 조립 오차 등에 의한 손실 발생 등으로 채널마다 수신단의 이득, 잡음지수 등 전기적 특성이 불균일하여 신호처리를 위한 데이터로서 여러 가지 문제점을 제거하기 위하여 수신용 단일 MMIC 칩 제작 도면이며, 그림 2는 온도보상회로가 포함되어 개발된 수신용 MMIC의 잡음지수 측정결과를 나타낸다. 온도보상 회로 (TCC)를 포함하는 경우 NF가 고온 환경조건에서 9.4 dB로 TCC 없는 경우 대비 개선됨을 확인할 수 있었다.^[9]

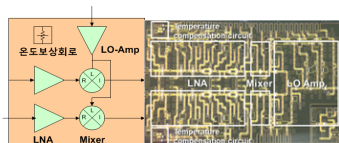


그림 1. 개발된 수신용 단일 MMIC 칩 블록도와 제작도면
Fig. 1. Receiver block diagram and photograph of fabricated MMIC of W-band

그림 3은 개발된 송신용 전력증폭 MMIC를 나타내고

있으며 송신 출력 증대 목적의 출력 성능 향상을 위하여 ITCLC (Impedance Transforming Coupled Line Couplers) 방식을 적용하여 개발하였다. 그림 4는 개발된 송신용 전력증폭 MMIC의 측정된 출력전력 값이다.^[10]

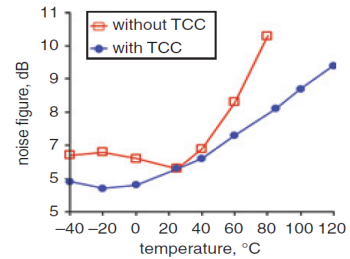


그림 2. 개발된 수신용 MMIC의 측정된 잡음지수 값
Fig. 2. Measured Noise Figure of the fabricated receiver MMIC.

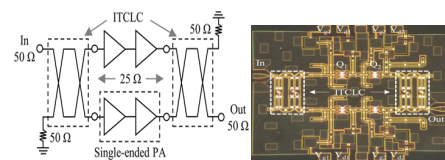


그림 3. 개발된 송신용 전력증폭 MMIC 블록도와 제작도면
Fig. 3. Measured results of the fabricated PA MMIC.

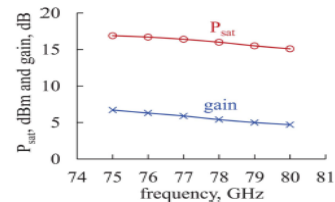


그림 4. 개발된 송신용 전력증폭 MMIC 칩의 출력전력 측정 값
Fig. 4. Measured output power of the fabricated Power Amplifier MMIC.

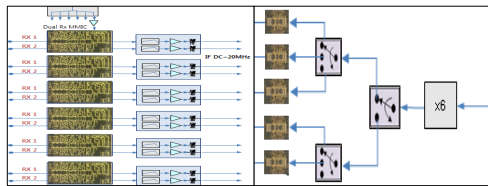
표1. 국내개발된 수신 및 송신용 MMIC 특성

Table 1. Characteristics of receiver and PA MMIC

구분	단위	MMIC 시험결과
수신 MMIC	변환이득	[dB] > 16 (상온조건)
	잡음지수	[dB] < 6.4 (상온조건) < 9.4 (환경조건-고온)
	입력P1dB	[dBm] -25.7 (Typ.)
	VSWR	1.7 : 1
	IF 대역폭	[MHz] DC ~ 50
송신 MMIC	출력전력	[dBm] 16.7(상온조건) 13.5(환경조건-고온)
	이득	[dB] 12

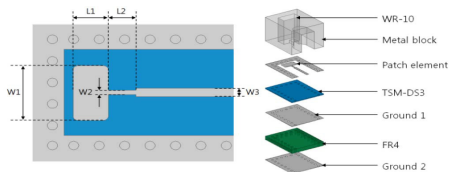
III. W-대역 송수신모듈 개발

W-대역 레이더 개발 시스템에 적용하기 위하여 그림 1의 내용으로 국내 개발된 수신용 단일 MMIC 칩을 적용하여 그림 5의 (a)와 같이 송수신 모듈내 수신단에 12채널의 수신부를 개발하였고 또한 송수신부는 그림 5의 (b)와 같이 개발된 송수신용 전력증폭 MMIC 칩을 적용하여 5채널의 송수신부를 개발하였다.^{[14][15]}

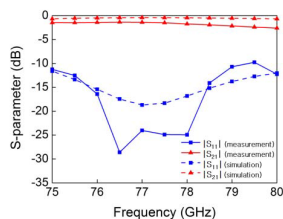


(a) 수신부의 블럭도 (a) Block diagram of receiver
 (b) 송수신부의 블럭도 (b) Block diagram of Transmitter

그림 5. 송신 및 수신용 MMIC 칩을 적용한 송수신기 블럭도
 Fig. 5. Transceiver block diagram using PA and receiver MMIC chip



(a) W-대역 안테나 연결용 도파관에서 MMIC까지 전이구조
 (a) Structure of W-band Waveguide transition for antenna

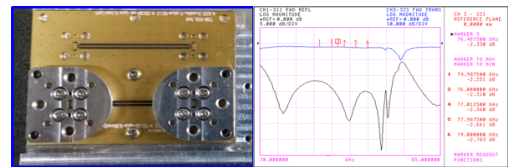


(b) 안테나 연결용 W/G에서 MMIC까지 전이구조 측정결과
 (b) Test Results of W-band Waveguide transition for antenna

그림 6. W-대역의 도파관 전이 구조 그리고 측정 결과
 Fig. 6. Structure of W-band Waveguide transition and Test result

그림 6은 W-대역 마이크로 스트립라인과 도파관 트랜지션에 관한 설계 및 제작 결과이다. 도파관 트랜지션 관련기술은 여러 가지 방법이 있으나 대부분 Back short

을 포함한다.^{[11][12][13]} 본 논문에서는 Taconic TSM-DS3과 FR4를 포함하는 6층 기판을 사용하였으며, Back short을 포함하지 않은 구조로 출력된 RF 전력은 그림 6(a)와 같이 마이크로스트립 라인을 통하여 도파관을 통해서 안테나로 출력하게 된다. 이때 물리적 특성은 $w1=1.91\text{mm}$, $w2=0.15\text{mm}$, $w3=0.30\text{mm}$, $L1=1.01\text{mm}$ 및 $L2=0.815\text{mm}$ 이다. 결과적으로 그림 6(b)와 같은 시뮬레이션 및 측정 결과를 얻었다^{[14][15]}. 즉, 스트립라인부터 도파관까지 전이구조의 삽입 손실은 1.5 dB @76.5 GHz 이고, 시뮬레이션 0.7dB 대비 약 0.8dB의 정도 손실이 증가하는 오차 결과를 보였다. 반면 S11의 경우는 28.6 dB @76.5 GHz를 보여서 시뮬레이션 대비 10 dB 정도 개선되는 결과를 보였다.



(a) 본딩손실 측정기구 (a) Test fixture of Wire bonding loss
 (b) 본딩손실 측정 결과 (b) Test results of Wire bonding loss

그림 7. W-대역 본딩 손실 측정을 위한 치구 및 측정 결과
 Fig. 7. Test fixture and results of Wire bonding at W-band

그림 7은 W-대역에서 길이 150 μm , 지름 1mil인 경우 2개의 와이어본딩 연결 특성에 대한 측정치구(a)와 측정결과(b) 이고 결과적으로 1.2 dB@76.5GHz의 특성을 확인할 수 있었다.

그림 8은 국내개발 수신용 단일 MMIC 칩을 이용할 경우의 안테나 연결용 도파관에서 수신 MMIC까지의 전이구조 손실에 대한 구조 분석을 위한 형상이고, 그림 9는 국내개발 송수신용 전력증폭 MMIC 칩을 이용할 경우의 전이구조 손실에 대한 구조 분석을 위한 형상이다. 그림 8의 수신용 전이구조에서 스트립라인(MSTL1)이 2 채널 연결되어 있어서 송수신부 전이구조보다 길게 사용되었다.

표 2는 수신부(그림 8)과 송수신부(그림 9)의 형상조건으로 안테나에서 MMIC 칩까지의 W-대역 전이구조 손실값을 계산하였으며 수신부는 5.4 dB 그리고 송수신부는 4.9 dB를 각각 계산하였다.

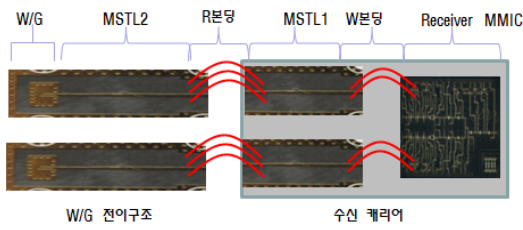


그림 8. 수신용 단일 MMIC칩을 포함하는 전이구조 분석
Fig. 8. Transition loss analysis including receiver MMIC chip

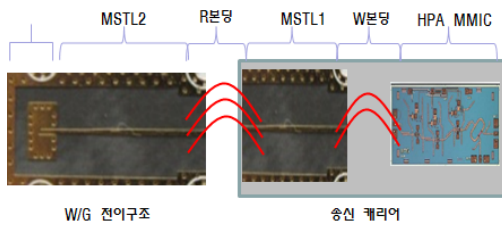


그림 9. 송신용 전력증폭 MMIC칩을 포함하는 전이구조 분석
Fig. 9. Transition loss analysis including PA MMIC chip

표 2. 안테나에서 MMIC 칩까지 전이구조 및 손실 분석
Table 2. Transition loss characteristics from Antenna waveguide transition to fabricated MMIC

전이구조 손실	단위	수신부	송신부	참고
도파관전이구조	[dB]	1.5	1.5	그림 6
MSTL2	[dB]	1.0	0.5	
리본 분당 (150 um) (3 mil)	[dB]	1.2	1.2	그림 7
MSTL1	[dB]	0.5	0.5	
와이어 분당 (150 um) (1 mil)	[dB]	1.2	1.2	그림 7
합계	[dB]	5.4	4.9	계산 값
분석된 잡음지수	[dB]	11.8	-	상온조건
		14.7	-	고온조건
분석된 출력전력	[dBm]	-	11.8	상온조건
		-	8.6	고온조건

IV. 실험 및 결과

그림 10은 제작된 송수신부의 형상을 보여 주며, 그림 11은 12 채널에서 수신부의 잡음지수 분석 및 측정결과를 보여준다. 상온조건에서 잡음지수 분석값은 11.8 dB 인 반면 측정값은 최소 12 dB 및 최대 15 dB 값이 측정되었다. 표 3의 분석결과 상온 조건에서최소 12 dB는 예측

되었으나 오차가 약 3.2 dB 가 발생하여 조립과정에서 제작 오차가 있었을 것으로 판단된다. 마찬가지로 환경조건에서도 유사한 결과를 보였다. 이는 수신용 MMIC 칩이 2 채널로 조립 과정이 복잡함에 따른 원인으로 판단된다.

그림 12는 5 채널에서 송신부의 출력전력 분석 및 측정결과를 보여준다. 상온조건에서 출력전력 분석값은 11.8 dBm인 반면 측정값은 최소 11.8 dBm 및 최대 12.3 dBm 값이 측정되었다. 표 4의 분석결과 상온 조건에서최소 11.8 dBm은 예측되었으나 오차가 거의 없어 조립과정에서 제작 오차가 없었을 것으로 판단된다. 마찬가지로 환경조건에서도 유사한 결과를 보였다.

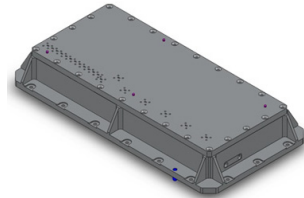


그림 10. 제작된 송수신부 형상
Fig. 10. Manufactured Configuration of Transceiver

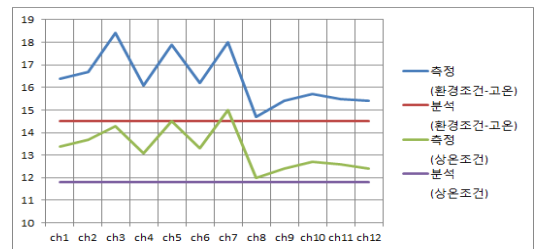


그림 11. 국내개발된 수신용 단일 MMIC 칩을 이용한 잡음지수 측정결과
Fig. 11. Test results of noise figure using fabricated receiver MMIC chip

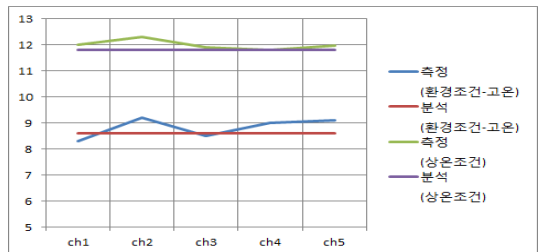


그림 12. 국내개발된 송신용 전력증폭 MMIC 칩을 이용한 출력전력 측정결과
Fig. 12. Test results of output power using fabricated PA MMIC chip

표 3. 국내개발 칩을 이용한 잡음지수 분석 및 측정결과
Table 3. Analysis and test results of Noise figure
using fabricated receiver MMIC chip

구분		단위	잡음지수 (상온조건)	잡음지수 (환경조건-고온)	참고
수신부	분석 값	[dB]	11.8	14.7	표2
	측정 값	[dB]	12.0 ~ 15.0	14.7 ~ 18.4	그림11
	차이	[dB]	최소 0.2 최대 3.2	최소 0.0 최대 3.7	

표 4. 국내개발 칩을 이용한 출력전력 분석 및 측정결과
Table 4. Analysis and test results of Output Power
using fabricated PA MMIC chip

구분		단위	출력전력 (상온조건)	출력전력 (환경조건-고온)	참고
송신부	분석 값	[dBm]	11.8	8.6	표2
	측정 값	[dBm]	11.8 ~ 12.3	8.3 ~ 9.2	그림12
	차이	[dB]	최소 0.0 최대 0.5	최소 -0.3 최대 0.6	

V. 결 론

본 논문은 W-대역 레이더 개발 시스템에 적용할 목적의 수신용 단일 MMIC 칩과 송신용 전력증폭 MMIC 칩을 개발하고 이 칩들을 이용하여 송수신모듈을 제작하였다. 국내개발 MMIC 칩을 적용하는 경우 안테나 도파관과 MMIC간의 전이구조에 대한 특성이 중요하며 그중 수신부는 잡음지수 송신부는 출력전력에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 정확한 전이구조에 분석이 필요하며 송수신모듈 개발에 중요하여 2개의 항목에 대하여 분석과 측정 결과를 비교하였다. 결과적으로 송신부의 출력전력은 송신부 5개의 채널에서 그리고 상온조건 및 환경조건에서 매우 근접한 분석 및 측정 결과를 얻었다고 할 수 있다. 수신부의 잡음지수 값도 12개의 채널에서 그리고 상온 및 환경조건에서 분석한 결과와 근접하는 결과를 얻었으나 일부 채널에서는 최대 3 dB 이상의 분석값 대비 오차가 발생하여 조립 오차를 개선할 필요성이 제기 되었다. 하지만 안테나에서 MMIC까지 전이구조에 대한 잡음지수 및 출력전력 결과는 분석 결과가 매우 정확함을 확인할 수 있었다.

References

- [1] An Official Gazette No 16322, Radio Wave Research Institute No 2006-84, 2006. 8. 23.
- [2] J. Y. Hong. "Millimeter Radar Technology Trend for Forward Surveillance," 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-PacificMicrow. Conf. Proceedings, 2011, pp. 211-214
- [7] Sun-II Kim "Design and fabrication of SSPA module in Ku Band satellite terminals", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 16, No. 4, pp. 59-64, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.59>.
- [8] Hong-Gu Ji "Monolithic Integrated Amplifier for Millimeter Wave Band", The Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 11, No. 10, pp. 3917-3922, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.3917>.
- [9] Seokchul Lee "W-band dual-channel receiver with active power divider and temperature-compensated circuit" Electronics Letters. Vol. 52, No. 10, May 12, 2016
- [10] Jungsik Kim "W-band Power Amplifier Using Broadband Impedance-Transforming Coupled Line Couplers" MOTL. Vol. 57, No. 4, April, 2015
- [11] 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.

- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Seokchul Lee "W-band Multichannel FMCW Radar Sensor with Switching-TX Antennas," *IEEE Sensor Journal*. Vol. 16, No. 14, July 15, 2016
- [15] Wansik Kim, "Development of W-band Transceiver Module using Manufactured MMIC", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 17, No. 2, pp. 233-237, Apr 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.2.233>.

정 주 용(정회원)



- 2004년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2006년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 (공학석사)
- 2006년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 선임연구원
<주 관심분야> 초고주파 집적회로, 영상레이더, 위성시스템

김 중 필(정회원)



- 1997년 2월 : 경기대학교 전자공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석연구원
<주 관심분야> 레이더 및 반도체송수신모듈

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
<주 관심분야> 초고주파 회로설계, RF/밀리미터파 시스템, MMIC, 레이더 및 관련 센서 시스템