

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.2.27>

IIBC 2018-2-4

# W-band 초소형 레이다용 송수신모듈

## Transceiver Module for W-band Compact Radar

김영곤\*, 안세환\*, 박창현\*, 권준범\*, 송선기\*\*, 용명훈\*\*

Young-Gon Kim\*, Se-Hwan An\*, Chang-Hyun Park\*,  
Jun-Beom Kwon\*, Sun-Ki Song\*\*, Myung-Hun Yong\*\*

**요약** 본 논문에서는 W-대역 초소형 레이다용 송수신모듈을 설계 및 제작하였다. 제안하는 광대역 마이크로스트립-도파관 전이구조를 이용하여 설계 및 제작 오차를 줄였으며, 전이구조 당 1 dB 이하의 삽입손실 및 제작의 신뢰성을 제공하였다. 이중편파 모노펄스 특성을 가지는 초소형 레이다에 직접 적용하기 위해 28 dBm의 높은 출력을 가지는 한 채널의 송신모듈을 설계 및 제작하였다. 또한 13.5 dB의 낮은 잡음지수 및 최대 17 dBm의 높은 입력 P1dB를 가지는 6채널의 수신모듈을 개발하였다. 본 논문에서 제시한 W-대역 송수신모듈을 이용하여 초소형 레이다에 적용하여 이중 편파 모노펄스 신호를 바로 처리 가능하리라 예상된다.

**Abstract** In this paper, W-band transceiver module for compact radar has been designed and fabricated. Utilizing proposed microstrip-to-waveguide transition, the error between design and implementation is reduced. The proposed transition provides less than 1 dB insertion loss per transition and reliability for fabrication. In order to apply compact radar with dual-polarized monopulse directly, W-band transmitter with 28 dBm output power is designed and developed. Also, 6 channels of receiver module with low noise figure 13.5 dB and maximum 17 dBm input P1dB is developed. Proposed W-band transceiver module is expected compact radar application for dual-polarized monopulse signal processing system.

**Key Words** : W-band, transceiver, microstrip-to-waveguide transition, dual-polarized, monopulse

### 1. 서 론

밀리미터파 기술의 눈부신 발전으로 W-대역에서의 차량용 레이다 및 군수용 레이다의 수요가 급증하고 있다.<sup>[1-3]</sup> W-대역은 상대적으로 Ku-대역 혹은 Ka-대역에 비해 각도, 거리, 속도 분해능이 아주 우수하며, RF 회로와 안테나의 소형화가 가능함에 따라 차량용 레이다 혹은 군수용 유도무기 레이다의 탑재에 용이하다는 장점이

있다. 한편 단점으로 소자의 대부분이 해외에서 수입에 의존하여 부품 수급의 어려움이 있으며 높은 제작 난이도로 부품 단가가 높다.

이러한 W-대역을 이용한 기술 동향은 주로 민수분야에서는 주로 차량용 레이다, 영상 라디오미터에 사용되어 왔다. 한편 방산분야에서 W-대역의 기술을 살펴보면 영국의 MBDA에서 개발된 Brimstone은 공대지 유도무기로 W-대역의 밀리미터파 레이다를 센서로 사용하고

\*정회원, LIG 넥스원(주)

\*\*정회원, 유텔(주)

접수일자: 2018년 1월 18일, 수정완료: 2018년 2월 20일

게재확정일자: 2018년 4월 6일

Received: 18 January, 2018 / Revised: 20 February, 2018

Accepted: 6 April, 2018

\*Corresponding Author: [younggon.kim@lignex1.com](mailto:younggon.kim@lignex1.com)

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

있다. 국내의 방산분야에서는 수입제한의 특수성으로 W-대역의 송수신모듈의 개발이 현재까지 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 W-대역 초소형 레이더에 적용 가능한 송수신 모듈을 설계 및 제작하였다. 각도 위치를 정밀하게 추정하기 위해 각도 분해능을 높이는 모노펄스 기능뿐만 아니라, 이중편파로 수신하여 표적의 식별 능력과 제밍 대응 능력의 향상<sup>[4]</sup>을 가지도록 그림 1과 같은 구조의 시스템을 위한 송수신기를 제안하였다.

하나의 송신기로부터 생성된 신호는 순환기를 거쳐 모노펄스비교기 (comparator)와 편파분리기(OMT: Otho-Mode Transducer)를 통해 방사된다. 안테나로부터 수신되는 신호는 편파분리기로 H-pol.과 V-pol.의 두 편파를 분리하고 모노펄스비교기를 통해 총 6개의 채널로 수신하게 된다. 이러한 이중편파 모노펄스를 가지는 시스템에 적용 가능한 W-대역 송수신기를 설계 및 제작하였다.

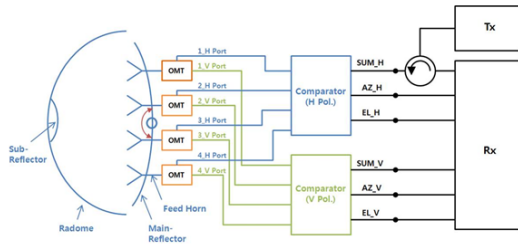


그림 1. 이중편파 모노펄스를 갖는 W-대역 시스템 블록도  
Fig. 1. W-band system block diagram with dual-polarized monopulse

## II. W-대역 송수신모듈 설계 및 제작

### 1. W-대역 모듈을 위한 전이구조

본 논문에서의 송수신 모듈을 구성하기 위해 제안한 마이크로스트립-도파관 전이구조는 그림 2와 같다. W-대역의 파장이 매우 짧기 때문에, PCB의 제작 공차 및 기구 하우징의 공차에 의해 설계와 측정의 오차가 쉽게 생기게 된다. 본 논문에서는 이러한 오차를 줄이고자 광대역의 성능을 가지며 도파관과 마이크로스트립선로 사이에 간격을 쉽게 조절할 수 있는 전이구조를 제안하였다. 제안하는 전이구조는 그림 2(b)와 같이 세부분으로 구성되어 있다. 마이크로스트립 선로에서 SIW (Substrate Integrated Waveguide) 혹은 기판으로 채워

져 있는 도파관으로 이어지는 부분 (part A), 기판의 2단 계단형 유전체로 구성되는 부분 (part B)과 E-plane으로 도파관이 2단의 계단으로 되어있는 부분 (part C)으로 구성되어 있다. 각 단계에서의 전계 분포 변화를 그림 3에 도시하였으며 자연스런 전계가 이루어지도록 하였다.

본 논문의 전이구조 설계는 RT/Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$ ), 0.127 mm 두께의 기판을 사용하였다. 50옴의 마이크로스트립 선로에서 SIW 혹은 기판으로 채워져 있는 도파관으로 전이되는 과정은 기존의 많은 연구<sup>[5-6]</sup>에서 살펴 볼 수 있다. 본 논문에서는 SIW 구조에서 기판두께의 도파관으로 전이되는 과정 (part B)을 2단의 Chebyshev transformer (반사 계수( $\Gamma_m$ )는 0.05)를 이용하여 280.5옴에서 484.6옴으로 임피던스 변환하였다. 대역을 넓히거나 특정 대역에서의 리플 특성을 개선하기 위해서 본 논문에서 제시한 계단형태 대신에 여러 다른 임피던스 변환기를 이용하여 정합을 할 수 있다. 기판두께의 도파관에서 WR-10의 정규 도파관으로의 변환은 E-plane 계단형태의 변환으로 도파관의 높이가 바뀌면서 생기는 여러 고차모드를 계산하여 정합하였다. 본 논문에서 제시한 전이구조에 대한 크기는 표1과 같다.

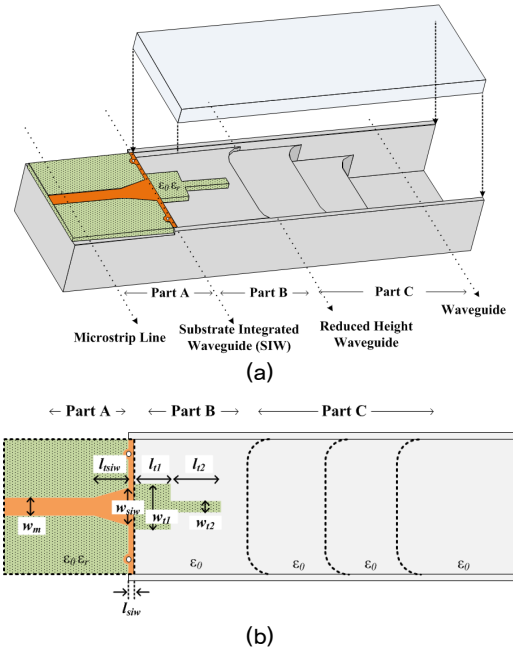


그림 2. (a) 제안하는 마이크로스트립-도파관 전이구조  
(b) 전이구조 윗면

Fig. 2. (a) Perspective view of proposed structure of the Microstrip-to-waveguide transition and (b) top view of the transition.

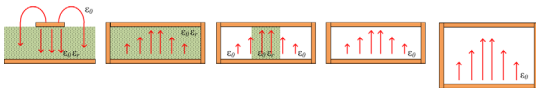


그림 3. 전이구조 각 단계에서의 전계 분포 변화  
 Fig. 3. Electric field lines at each cross-section along the transition

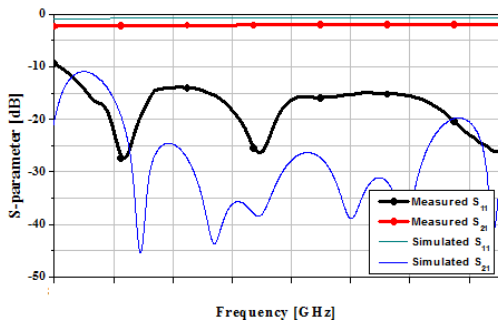
표 1. 마이크로스트립-도파관 전이구조 크기(단위: mm)  
 Table 1. Summary of the transition dimensions(unit: mm).

$w_m$	$w_{s10}$	$w_{t1}$	$w_{t2}$	$l_{ts10}$	$l_{s10}$	$l_{t1}$	$l_{t2}$
0.3683	0.762	0.7112	0.1651	0.4318	0.5842	0.6960	0.9627

제작된 전이구조의 형상은 그림 4(a)와 같으며, 시뮬레이션 및 측정 결과를 그림 4(b)에 나타냈다. Back-to-back 측정 결과, 83~110 GHz 대역에서 삽입손실 최대 2 dB 이하의 우수한 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션과 측정 결과 유사한 결과를 나타내지만 기구가공의 표면의 거칠기 및 공차에 의해 반사손실 및 삽입손실에서의 약간의 차이가 난다고 예측할 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. 제작된 전이구조 시뮬레이션 및 측정 결과  
 Fig. 4. Insertion loss and return loss of the transition: measured(dot lines) versus simulated(solid lines) values.

## 2. W-대역 송신 모듈

본 논문에서 제안한 마이크로스트립-도파관 전이구조를 이용하여 W-대역 송신모듈을 설계하였다. 그림 5와 같이 체배기와 구동증폭기 2개와 전력증폭기 1개로 구성하여 28 dBm의 출력을 내도록 설계하였다. 본 논문에서는 각 소자의 고유 정합을 확보하기 위해 소자마다 정합 회로를 구성하여 본딩으로 인한 손실 및 비매칭을 보상하도록 하였다.

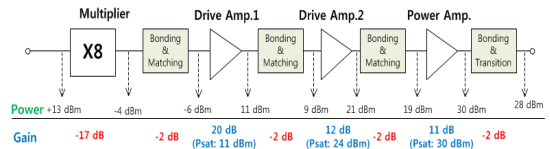


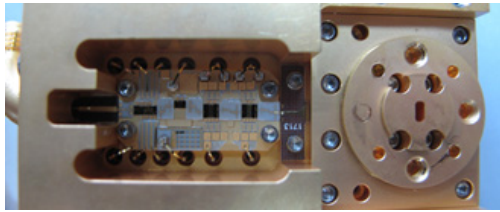
그림 5. W-대역 송신모듈 블록도 및 버짓 분석  
 Fig. 5. W-band transmitter module block diagram and the budget analysis

여러 가지 파형의 사용이 가능하도록 W-대역 송신모듈 출력 대역폭을 1 GHz의 넓은 대역으로 설계하였다. 송신부의 입력으로 1X.XX GHz ± 62.5 MHz, 13 dBm 신호를 입력 받아 8체배기를 거쳐 9X GHz ± 0.5 GHz의 W-대역 신호를 생성하도록 하였다. 각 단계에 사용된 소자의 주요 특성을 표2에 나타내었다. 제작된 송신모듈은 그림 6(a)와 같으며, 제안하는 전이구조의 출력을 90도 굽혀 안테나와 접촉을 용이하게 하였다. 그림 6(b)와 같이 출력단에 40 dB의 감쇄기를 연결하여 측정하였다. 측정 결과 W-대역에서 1 GHz 이상의 대역폭 28 dBm의 높은 출력을 가지고 있다.

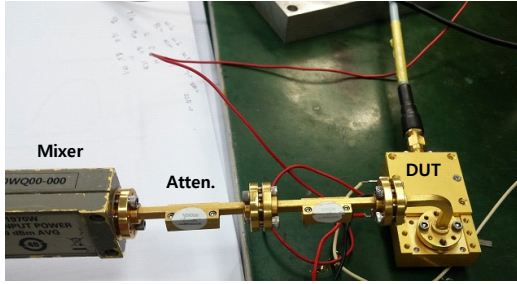
표 2. W-대역 송신모듈 내부 소자

Table 2. Summary of devices in the proposed W-band transmitter module.

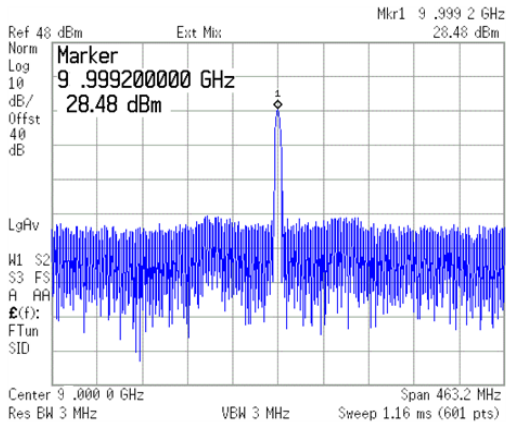
	이득	출력전력
체배기	-17 dB	-
구동증폭기1	20 dB	11 dBm
구동증폭기2	12 dB	24 dBm
전력증폭기	11 dB	30 dBm



(a)



(b)



(c)

그림 6. (a) 제작된 W-대역 송신모듈 (b) 측정 구성도 (c) 측정 결과

Fig. 6. (a) The fabricated W-band transmitter module, (b) measurement setup, and (c) measured result.

### 3. W-대역 수신 모듈

이중편파 모노펄스 신호를 신호처리하기 위해 본 논문에서는 6개 채널의 수신모듈을 설계 및 제작하였다. 수신기의 구성은 전이구조, 스위치, 저잡음증폭기 (LNA), 혼합기로 구성하였다. 혼합기의 국부발진주파수는  $9X \pm 0.5$  GHz로 출력 IF 신호를 2 GHz가 되도록 하였다. 본 논문에서 제안한 전이구조를 이용하여 수신모듈 초단의 손실을 최소화하였으며, 소자와 소자간의 분당 손실을

줄이기 위해 매칭회로를 삽입하였다. 수신모듈의 예측되는 이득 및 잡음지수는 그림 7과 같이 0.5 dB 13.3 dB로 예상할 수 있으며 제작에 사용된 내부 소자의 주요 성능은 표 3에 나타내었다.

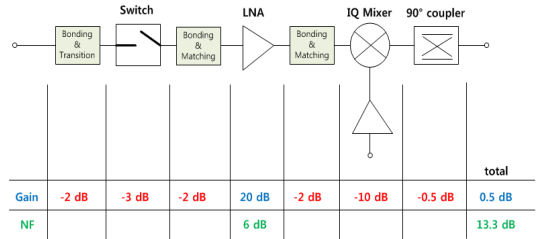


그림 7. W-대역 수신모듈 블록도 및 버짓 분석

Fig. 7. W-band receiver module block diagram and the budget analysis for gain and NF (noise figure)

표 3. W-대역 수신모듈 내부 소자

Table 3. Summary of devices in the proposed W-band receiver modules.

	이득	입력 P1dB
스위치	-17 dB	15 dBm
저잡음증폭기	20 dB	-10 dBm
혼합기	10 dB	5 dBm

본 논문의 수신 모듈은 하나의 안테나로부터 신호를 인가받으므로 외부로부터의 재밍 및 송신 누설 전력을 고려하여 수신기 초단에 스위치를 삽입을 하였다. 구성된 수신기의 최대입력 전력을 그림 8과 같이 분석하였으며 스위치, LNA, 혼합기의 최대 입력 레벨을 고려하였다.

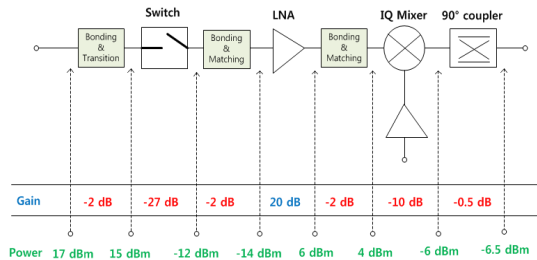


그림 8. W-대역 수신모듈 최대입력 분석

Fig. 8. Maximum input power analysis of W-band receiver module

본 논문에서 제시한 수신모듈의 구성을 바탕으로 그림 9와 같이 6채널의 수신기를 제작하였으며 측정 결과

는 표 4와 같다. 변환이득은 0 dB이며 잡음지수는 13.5 dB의 결과를 얻었다. 수신모듈의 스위치가 비감쇄 (off 상태) 일 때 -8 dBm, 감쇄 상태 (on 상태) 일 때 17 dBm로 넓은 수신 동적영역을 확보 하였다.

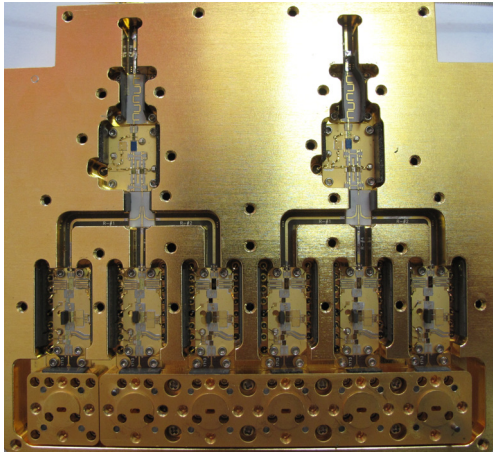


그림 9. 제작된 W-대역 수신 모듈  
 Fig. 9. The fabricated W-band receiver module

표 4. W-대역 수신모듈 측정 결과  
 Table 4. Performance measured W-band receiver modules.

구분	단위	측정 결과
변환이득	[dB]	0.2
잡음지수	[dB]	13.5
입력 P1dB	[dBm]	스위치 off : -8
		스위치 on : 17
LO/RF 대역폭	[GHz]	1.1

### III. 결론

W-대역 이중편파 모노펄스 초소형 레이더에 적용 가능한 송수신모듈을 설계 및 제작하였다. 광대역의 W-대역 마이크로스트립-도파관 전이구조를 제시하였으며 제작된 송수신 모듈에 적용하였다. 제안한 송신 모듈은 28 dBm의 높은 출력을 가지고 있으며, 수신모듈은 낮은 잡음지수 및 높은 P1dB를 확보하였다. 본 논문에서 제시한 W-대역 송수신모듈을 이용하여 초소형 레이더에 적용하여 이중편파 모노펄스 신호를 바로 처리 가능하리라 예상된다.

### 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] W-S. Kim, "Development of W-band Transceiver Module using Manufactured MMICA", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 2, pp. 223-237, Apr. 2017.  
 DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.2.233>
- [4] K. J. Lee, C-H. Jung, J-G. Baek, C-H. Park, S. Nam "Design of Dual-Polarized Monopulse Cassegrain Antenna for W-Band Millimeter-Wave Seeker". THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 27, No. 3, pp. 261-268, Mar 2016.
- [5] J. J. Cano, A. Mediavilla, A. R Perez "Full-Band Air-Filled Waveguide-to-Substrate Integrated Waveguide (SIW) Direct Transition", IEEE Microw. Wirel Compon. Lett. vol. 25, no. 2, pp. 79-81, Feb. 2015.
- [6] Z. Kordiborojeni, J. Boremann "New Wideband Transition From Microstrip Line to Substrate Integrated Waveguide", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 62, no. 12, pp. 2983-2989, Dec. 2014.

저자 소개

김 영 곤(정회원)



- 2006년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 초광대역 발룬, 초광대역 소자, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기>

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기>

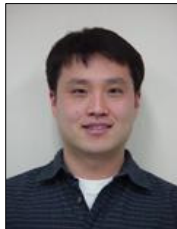
박 창 현(정회원)



- 1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

<주관심분야 : 안테나 설계 및 수치해석, RF 탐색기 시스템>

권 준 범(정회원)



- 1997년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

<주관심분야 : 마이크로파 신호처리기, 마이크로파 탐색기 등>

송 선 기(정회원)



- 2006년 2월 : 공주대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 2009년 9월 : 로스원주 주임연구원
- 2009년 9월 ~ 현재 : 유텔주 선임연구원

<주관심분야 : 초고주파/W-Band 송수신기, mmw 주파수 합성기>

용 명 훈(정회원)



- 2014년 2월 : 호남대학교 이동통신공학과 (공학사)
- 2014년 11월 ~ 현재 : 유텔주 선임연구원

<주관심분야 : 전자기학 / 초고주파수신기>