The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 18, No. 5, pp.97-102, Oct. 31, 2018. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.97
JIIBC 2018-5-12

W-band 소형 레이다용 파형발생부

Waveform Generator for W-band Compact Radar

이만희*, 안세환*, 김영곤*, 김홍락*

Man-Hee Lee*, Se-Hwan An*, Young-Gon Kim*, Hong-Rak Kim*

요 약 본 논문에서는 W-대역 소형 레이다용 파형발생부를 설계 및 제작하였다. 제작된 파형발생부는 DDS를 적용하여 CW 및 FMCW 등 시스템에서 요구되는 다양한 파형을 고속으로 정밀하게 생성한다. 시스템 자체 점검으로 거리 지연 및 거리 추적 시험 시 별도의 점검장비 없이 레이다 자체만으로 시험이 가능하도록 LO 경로를 두 개로 설계하여 스위치를 통해 선택 가능하도록 구현하였다. 제안된 파형발생부는 대역폭 125 MHz, 위상잡음 1 kHz 오프셋(offset)에서 -91 dBc/Hz, 불요파 -63.2 dBc가 측정되었다. 본 논문에서 제시한 파형발생부를 이용하여 W-대역 소형 레이다용 송수신모듈에 바로 적용이 가능할 것으로 예상한다.

Abstract In this paper, W-band Waveform Generator for compact radar has been designed and fabricated. DDS (Direct Digital Synthesizer) is applied to generate CW (Continuous Wave) and FMCW (Frequency Modulation Continuous Wave) waveform at high speed. We designed two LO (Local Oscillator) paths for functions of distance delay and distance tracking tests at the prpposed system without extra test equipment. Two mode selections are provided by switch. It is observed that fabricated waveform generator performs -91 dBc/Hz phase noise at offset 1 kHz and -63.2 dBc spurious. Proposed W-band Waveform Generator is expected to apply for W-band compact radar transceiver module.

Key Words : W-band, Waveform Generator, DDS, FMCW, transceiver

Ⅰ. 서 론

최근 밀리미터파 기술이 레이다 기술로 각광받고 있다. 그 중 W 대역 레이다는 좁은 안테나 빔 폭과 넓은 주파수 대역을 활용해 각도 및 거리 분해능을 향상 시킬 수 있어[1-2], 차량용 레이다 및 군수용 레이다에서 많이 활용되고 있다.[3-5] 파형발생부는 이러한 레이다 시스템에 주파수 신호 및 신호 파형을 발생시키는 주요 구성품으로, 시스템 내 다른 구성품에서 요구되는 전력레벨 및 대역폭 그리고 불요파 등의 조건을 충족하는 신호를 공급한다. 파형발생부를 구현하는 방법은 크게 세 가지로 나룰 수 있다.[6] 첫 번째로 위상동기루프(PLL, Phase Locked Loop method)를 이용하는 간접합성방법은 안정된 기준 주파수원에 위상동기루프를 이용하여 출력 주파수를 항상 일정하게 만들어 내도록 하는 방법이다. 간접합성방법은 일반적으로 고속 주파수 스위칭이 힘들고 위상잡음 특성이 좋지 않기 때문에 고속으로 동작하는 시스템용으로 사용하기에는 한계가 있다.[7] 두 번째로 직접 아날로그 합성방법 (DAS, Direct Analog Synthesis)은 고속 주파수 스위칭을 위한 합성 시간이 짧고, 낮은 위상잡음 특

*정회원, LIG 넥스원(주)
접수일자 : 2018년 8월 8일, 수정완료 : 2018년 9월 7일
게재확정일자 : 2018년 10월 5일

Received: 8 August, 2018 / Revised: 7 September, 2018 / Accepted: 5 October, 2018
*Corresponding Author: manhee.lee@lignex1.com
Dept. of Seeker & EO/IR R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

성을 만족시킬 수 있으나 시스템이 커지고 복잡해지는 단점이 있다.[7] 세 번째로 직접 디지털 합성방법 (DDS, Direct Digital Synthesizer)[8]은 클럭 주파수에 따라 주파수가 변하므로 연속적인 주파수 합성과 빠른 주파수 스위칭 및 고 분해능을 가지며 이를 본 논문에 적용하였다. 제안된 파형발생부는 그림 1에 보이는 W 대역 소형 레이다[9]의 송수신모듈에 송신용(Tx), 수신용(Rx) 신호를 각각 공급한다. 이 레이다는 모노펄스 기능과 이중편파 수신 구조를 통해 정밀한 각도 분해능 및 표적 식별 능력, 우수한 재밍 대응 능력[10]을 보유 하고 있다.

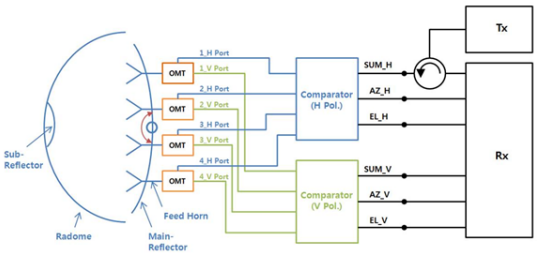


그림 1. 이중편파 모노펄스를 갖는 W 대역 시스템 블록도
Fig. 1. W band system block diagram with dual-polarized monopulse

II. 파형발생부 설계 방안

1. 설계 목표 및 구성

본 논문에서 제작하고자 하는 파형발생부의 출력 중 송신용 신호(F_{TX}_X-Band)에 대한 설계목표를 표 1에 나타내었다.

표 1. 파형발생부 설계 목표
Table 1. Specification of Waveform generator

항목	설계 목표
출력 주파수 및 대역폭	11.75 GHz ± 62.5 MHz
출력 전력	15 dBm ± 2 dB
출력 파형	CW, FMCW
위상 잡음 (Offset 1 kHz)	≤ -83 dBc/Hz
불요파	≤ -40 dBc

파형발생부는 그림 1에 보인 시스템의 송수신모듈에 송신용 신호, 수신용 신호(F_{LO}_X-Band), 외부점검용 (F_{TCE}_X-Band) 신호를 공급한다. 이 신호들은 X 대역 신호들로 송수신모듈 내부 체배기를 통해 시스템에는 최종적으로 W 대역 신호가 생성된다. 파형발생부의 구성은 그림 2와 같다. 50 MHz의 발진기를 기준 신호로 하여, DDS 기준 입력용 1개, 파형발생부 내부 LO용 3개인 총 4개의 PLVCO에 신호를 공급한다. 1 GHz 출력의 PLVCO는 DDS AD9910의 기준 입력이 되어 250 MHz ± 62.5 MHz의 최종 출력을 가지며, 여기서 FMCW 파형 발생이 가능해진다. 이 출력은 2.25 GHz PLVCO와 상향 변환되어 2.5 GHz ± 62.5 MHz가 되며 9.25 GHz PLVCO 출력과 다시 상향 변환 되어 최종 11.75 GHz ± 62.5 MHz의 송신용 신호가 된다. 외부점검용 신호는 시스템 운용이나 점검 시 외부에서 모니터링용으로 사용되는 신호이므로, 송신용 신호와 출력 전력만 다르고 나머지 성분은 모두 같은 신호이다. 따라서 외부점검용 신호는 최종 송신용 신호에서 커플러를 통해 출력 전력만 낮추어 생성하였다. 수신용 신호는 2.25 GHz PLVCO 출력과 9.25 GHz PLVCO 출력을 상향 변환한 신호와 2.5 GHz ± 62.5 MHz와 9 GHz PLVCO 출력을 상향 변환한 신호 중 선택하여 사용할 수 있게 설계하였다.

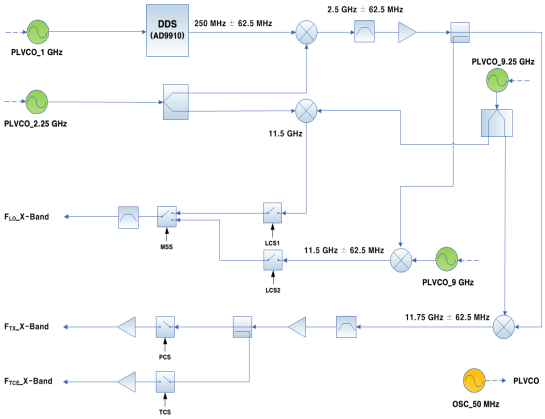


그림 2. 파형발생부 블록도
Fig. 2. Block diagram of Waveform Generator

2. 시스템 자체 점검 경로 설계

수신 입력 신호는 그림 2에서 보는 바와 같이 단일 신호와 대역폭을 갖는 신호 두 개의 경로로 설계하고 이를 MSS (Mode Selection Swich)를 통해 선택 사용이 가능케 하였다. 이는 레이다의 거리 지연 시험 등 자체 점검 시 제약 사항을 극복하기 위해 반영되었다.[11] 그림 3 (a)와 같이 기존 다른 소형 레이다는 이런 점검 시 별도의 거리 지연 장비 나 챔버가 구비된 검사 환경이 요구되었으며, 이는 공간적, 비용적 부담을 증대시키고, 점검 때마

다 레이다를 이동시켜야 하며, 검사 환경과 실제 운용 환경 차이로 인한 정밀한 시험이 불가하였다. 또한 W 대역과 같은 밀리미터파의 경우 거리 지연 장치의 성능이 이 주파수를 처리하지 못하는 문제에도 직면하였다.[11]

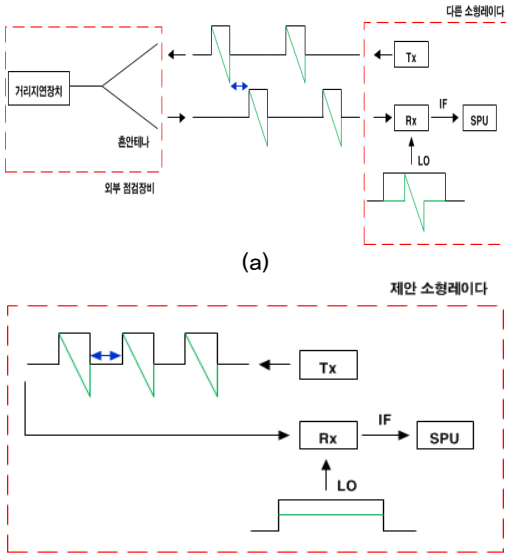


그림 3. (a) 기존 시험구성 (b) 제안 시험구성
Fig. 3. (a) Typical test setup (b) Proposed test setup

그림 3 (a)의 시험구성에서 수신구간을 그림 4 (a)에 보인다. 레이다 송신부에서 혼안테나로 신호를 송신하면 이 신호는 거리지연장치를 거쳐 혼안테나를 통해 다시 레이다의 수신부로 입력된다. 이때 신호의 하향변환을 위한 LO 신호는 모의 신호와 동일하게 주파수가 스윕되는 모드로 수신구간에 모의 신호와 동일한 신호가 존재하여 신호가 하향변환 되고 난 후 레이다의 신호처리부로 단일 주파수만이 입력되어 거리지연 시험이 불가하게 된다. 하지만 그림 3 (b)와 같이 제안된 구조는 그림 4 (b)처럼 모의 신호만 스윕하고 LO 신호는 단일 주파수만 발생하여 레이다 신호처리부에 하향변환된 스윕신호가 입력된다. 따라서 별도의 외부장비 없이 레이다 자체점검으로 거리지연 및 거리 추적 시험이 가능하게 된다.

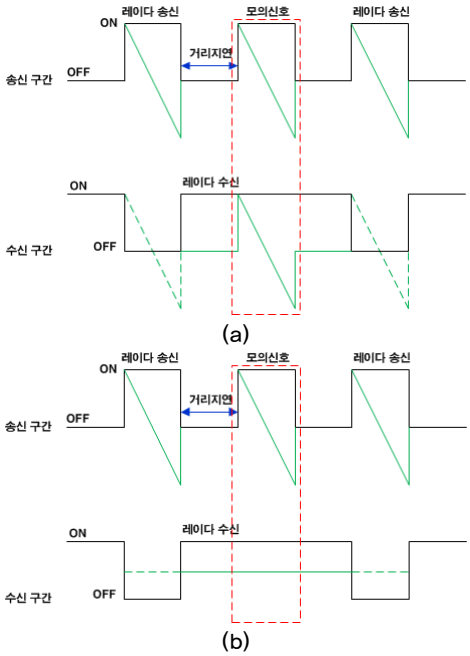
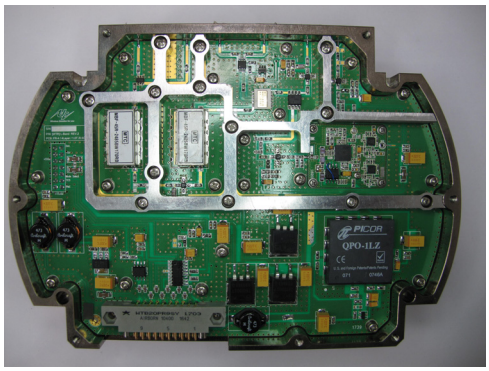


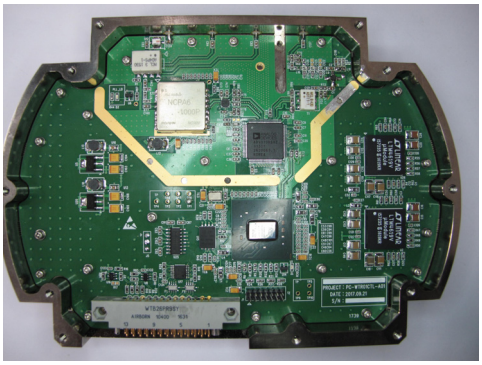
그림 4. (a) 기존 수신 구간 (b) 제안 수신 구간
Fig. 4. (a) Typical Rx region (b) Proposed Rx region

Ⅲ. 파형발생부 제작 및 측정

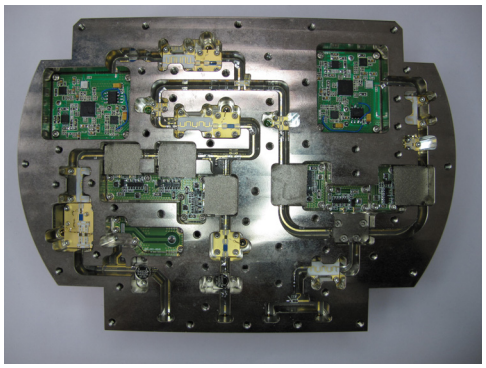
상기 설계 방안으로 그림 5와 같이 파형발생부를 제작하였다. L-대역 생성부, DDS 생성부 는 FR4 PCB 기판에 구현하였으며, PLVCO를 제외한 X-대역 생성부는 MMIC를 적용한 캐리어 타입으로 제작하여 추후 소자 교환 용이성 등 장점을 지닌다.



(a)



(b)

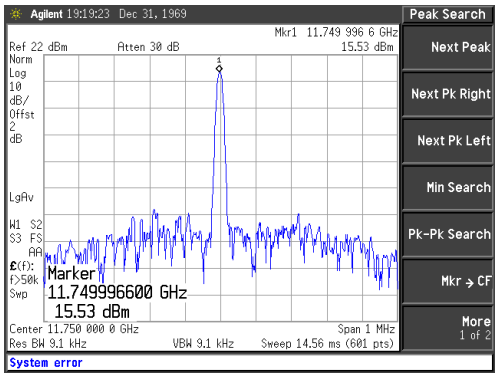


(c)

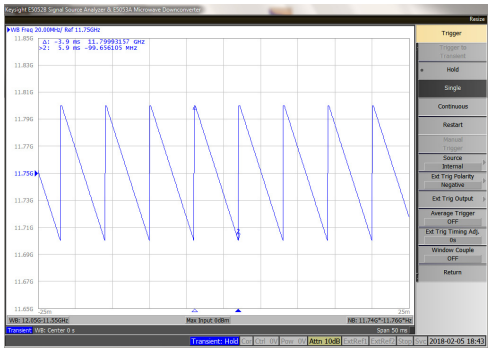
그림 5. 제작된 파형발생부 (a) L-대역 생성부 (b) DDS 생성부 (c) X-대역 생성부

Fig. 5. The fabricated waveform generator (a) L-band signal generator (b) DDS signal generator (c) X-band signal generator

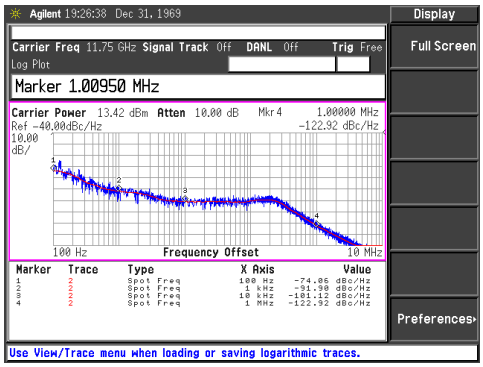
그림 6은 송신용 신호의 출력전력, FMCW 파형, 위상잡음, 불요파에 대한 측정 결과이다.



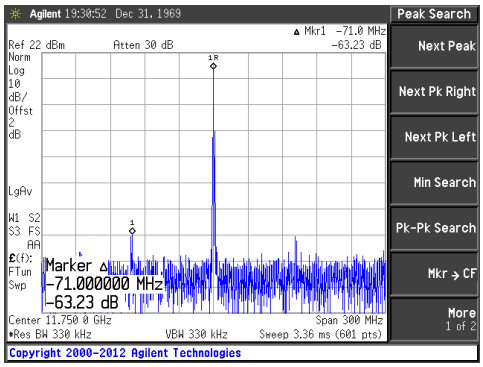
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 송신용 신호 측정 결과 (a) 출력전력 (b) FMCW 파형 (c) 위상잡음 (d) 불요파

Fig. 6. Measured result of FTX_X-Band (a) Output power (b) Waveform of FMCW (c) Phase noise (d) Spurious

FMCW 파형은 레이다에서 사용하는 총 3개의 대역폭 조건에서 모두 만족하게끔 모듈레이션이 되었으며, 이 중 100 MHz 대역폭에서 모듈레이션 된 결과를 보였다. 또한 위상잡음 및 불요파 모두 목표 대비 낮은 수준으로 구현함으로써 레이다 시스템의 탐지성능 향상에 기여하였다.

표2는 송신용 신호의 설계 목표 대비 측정 결과를 정리한 표이며, 모두 목표 성능을 만족함을 확인하였다.

표 2. 파형발생부 측정 결과
Table 2. Measured values of Waveform generator

항목	설계 목표	측정 결과
출력 주파수 및 대역폭	11.75 GHz ± 62.5 MHz	11.75 GHz ± 62.5 MHz
출력 전력	15 dBm ± 2 dB	15.5 dBm
출력 파형	CW, FMCW	CW, FMCW
위상 잡음 (Offset 1 kHz)	≤ -83 dBc/Hz	-91 dBc/Hz
불요파	≤ -40 dBc	-63.2 dBc

Ⅳ. 결 론

본 논문은 DDS AD9910을 이용하여 W-대역 소형 레이다용 송수신모듈에 적용가능한 파형발생부를 설계 및 제작하였다. 제작된 파형발생부는 고속으로 CW 및 FMCW 등 다양한 파형을 정밀하게 생성하며, 수신경로를 각각 설계하여 스위치를 통해 선택하게 함으로써, 레이다 시스템에서 외부의 별도 장비 없이 자체 점검으로 거리 지연 및 거리 추적 시험이 가능하도록 구현하였다. 본 논문에서 제시한 파형발생부를 이용하여 W-대역 소형 레이다에 적용하여 탐지성능 향상에 기여 할수 있을 것으로 예상한다.

References

[1] http://brimstonemissile.com/brimstone/
[2] N. R. Iyer. "Recent advances in anti-tank missile systems and technologies", SPIE Conference on Photonic Systems and Applications in Defense and Manufacturing, Singapore, pp. 46-57, Dec. 1999.
[3] An Official Gazette No 16322, Radio Wave Research Institute No 2006-84, 2006. 8. 23.
[4] J. Y. Hong. “Car radar trend using Millimeter Wave,” ETRI Journal, Vol.22, No.5, Oct. 2007, pp.35-45.
[5] 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
[6] James A, Crawford, Frequency Synthesizer Design Handbook, Artech House. 1994.
[7] Dong-Sik Kim, Hang-Soo Lee, Jong-Pil Kim, Seon-Ju Kim, "Design and Modeling of a DDS Driven Offset PLL with DAC" The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol.12 No.5, pp.1-9, Oct 2012
DOI: https://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.5.1.
[8] AD9910 datasheet, Analog Devices. Inc. Available: http://www.analog.com
[9] Y. G. Kim, S-H. An, C-H. Park, J-B. Kwon, S-K. Song, M-H. Yong “Transceiver Module for W-band Compact Radar” THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 18, No. 2, pp. 27-32, Apr 2018.
[10] 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.
[11] J. K. Choi, “SELF-TEST METHOD OF MILLIMETER-WAVE SEEKER”, KR. Patent 10-1754235, June 29, 2017.

저자 소개

이 만 희(정회원)

- 2007년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원

<주관심분야 : 초고주파 회로 및 시스템, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기>

안 세 환(정회원)

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

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

김 영 곤(정회원)

- 2006년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석 연구원

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

김 홍 락(정회원)

- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

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