

W-대역 영상레이다를 위한 광대역 Chirp 신호 발생장치

Wideband Chirp Signal Generation for W-Band SAR

이명환 · 정진미 · 이준섭* · Ashish Kumar Singh* · 김용훈**

Myung-Whan Lee · Jin Mi Jung · Jun Sub Lee* · Ashisg Kumar Singh* · Yong Hoon Kim**

요 약

본 논문에서는 FPGA를 이용하여 디지털 방식으로 영상 레이다에 사용하는 주파수 변조된 칩(Chirp) 신호를 생성하고, 이 신호를 I-Q 변조하여 RF 신호로 변환 한 후 24 주파수 체배기로 체배하여 94 GHz W-대역에서 광대역 칩 신호 발생 장치의 설계, 제작한 연구 결과를 제시한다. 개발된 칩 발생기는 94 GHz의 캐리어 주파수와 960 MHz의 대역폭을 가지는 주파수 변조된 신호이며, 평탄도는 IF단(3.9 GHz)에서 1 dB 이내, W-대역에서 2 dB 이내 그리고 3 W의 출력을 보여주고 있다.

Abstract

In this paper, we describe the designed digital waveform of a linear frequency-modulated (FM) chirp signal using field-programmable gate arrays (FPGAs) for image radar, and this signal is modulated with an I-Q modulator, and multiplied by 24 frequency multipliers to obtain a 94-GHz W-band wideband chirp generator. The developed chirp generator is an FM signal with a 94-GHz carrier frequency and a 960-MHz bandwidth, and the flatness is less than 1.0 dB at intermediate frequency (IF) (3.9 GHz), 2.0 dB in the W-band, and it has a 0.3-W output power in the W-band.

Key words: FPGA Chirp Signal, W-Band Radar, Frequency Multiplier, Wideband Radar Signal

I. 서 론

합성개구레이다 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 광대역의 선형주파수변조신호 LFM(Linear Frequency Modulation) 또는 칩(chirp) 신호를 range-Doppler 신호처리를 통하여 2차원의 영상을 획득하는 방법이다. 사용하는 주파수는 저주파수에서부터 밀리미터파 대역까지 사용하며, 최근에는 고해상도 영상을 얻기 위하여 1 GHz 이상의 대역폭을 사용하기도 한다^[1]. 고해상의 영상을 얻기 위하여서는 선형성과 평탄도가 우수한 광대역의 칩 신호가 요

구되며, 칩 신호의 특성에 따라 영상의 성능이 결정된다. 칩 신호의 대역폭이 넓어지면 신호의 평탄도가 저하되며, 부엽신호(side lobe)가 커지는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 밀리미터파 W-대역 SAR 시스템에 사용되는 광대역 칩 신호 발생장치 설계 및 제작에 대하여 고찰하고자 한다.

II. W-대역 칩 발생기

본 논문에서는 약 15 cm의 거리 해상도를 가지는 SAR를 설계하기 위하여 960 MHz 대역폭을 가지는 광대역 칩

(주)밀리시스, (millisys Inc.)

*광주과학기술원 기계공학과(School of Mechanical Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology)

**광주과학기술원 기계공학과, (주)밀리시스 (School of Mechanical Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology, millisys Inc.)

· Manuscript received March 27, 2017 ; Revised February 8, 2018 ; Accepted February 14, 2018. (ID No. 20170327-026)

· Corresponding Author: Yong Hoon Kim (e-mail: yhkim@gist.ac.kr)

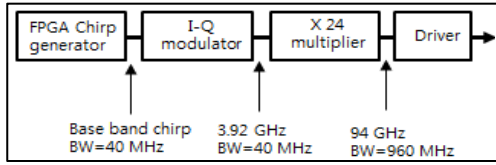


그림 1. W-대역 광대역 Chirp 발생기 구성도
Fig. 1. Configuration of W-band wideband chirp generator.

발생기를 설계 제작하였다. 칩 발생기는 그림 1에서 도시한 것처럼 FPGA에서 40 MHz의 기저대역폭을 가지는 칩 생성기와 I-Q 변조기, 그리고 40 MHz 기저 대역폭을 960 MHz 대역폭으로 변환하는 24배의 주파수 체배기로 구성되었다. 각각의 모듈에 대한 세부적 설계에 대하여 다음 단락에 서술하도록 한다.

2-1 FPGA Chirp 발생기

칩 발생기는 VCO(Voltage Controlled Oscillator) 또는 PLL(Phase Lock Loop)를 이용한 아날로그 방식을 사용하지 않고, 신호의 side lobe 특성을 우수하게 하기 위하여, 디지털 방식을 채택하였다^[2]. 전치 왜곡된 NLFM(Non-Linear Frequency Modulation) 신호파형을 구현 가능하도록 하기 위하여 칩 신호를 프로그램이 가능한 FPGA 보드에 구현하였다. 그림 2에 도시한 것처럼 PROM에 전치 왜곡된 칩 신호를 저장하여 FPGA 보드에서 구동이 되도록 하는 메모리 저장 파형 생성 방식을 택하였다. 설계된 LFM^[3], NLFM^[4] 신호 파형에 대하여 시뮬레이션 신호와 이 신호의 펄스 압축된 신호 결과를 그림 3에 제시하였다. 시뮬레이션 결과, 펄스압축된 신호의 부엽은 LFM 경우 -13 dB, NLFM 경우 약 -30 dB의 우수한 결과를 보여주고 있다.

2-2 I-Q 변조기

FPGA에서 생성된 기저대역의 I(Inphase), Q(quadrature)

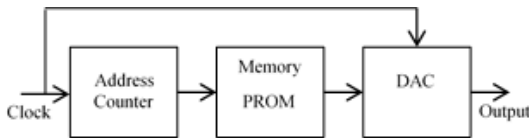


그림 2. FPGA 이용한 메모리방식의 칩 발생기 구성도
Fig. 2. Memory based FPGA chirp generator.

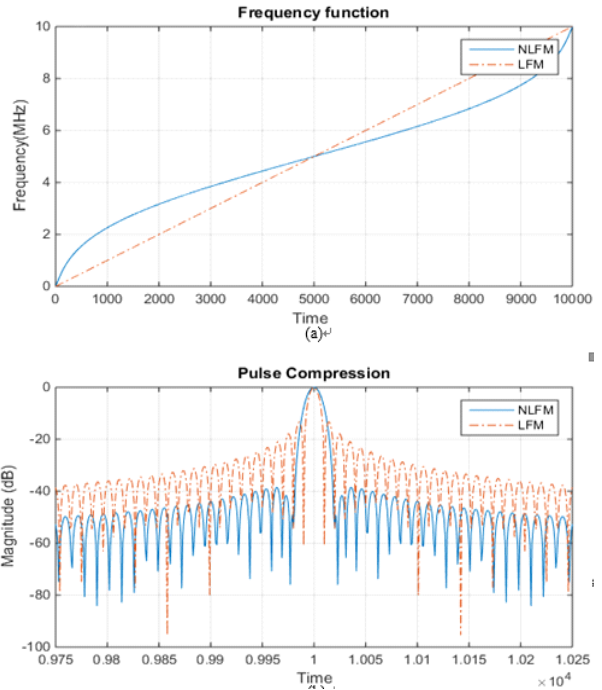


그림 3. 비선형 LFM, NLFM 칩 발생기와 펄스 압축된 신호 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation results for LFM, NLFM signal and its pulse compression.

칩 신호는 그림 4의 I-Q 변조기를 통하여 3.9 GHz의 RF 신호로 변환되도록 설계하였다. I-Q 변조기는 상용 보드를 이용하였으며, 보드에 내장된 주파수 발생기를 통하여 3.9 GHz의 칩 신호로 변환하였다. I-Q 변조된 칩 신호를 그림 6에, 그리고 출력 스펙트럼을 그림 7에 각각 제시하였다. FPGA 보드는 Kintex-7^[5]을 사용하였으며, 출력 주파

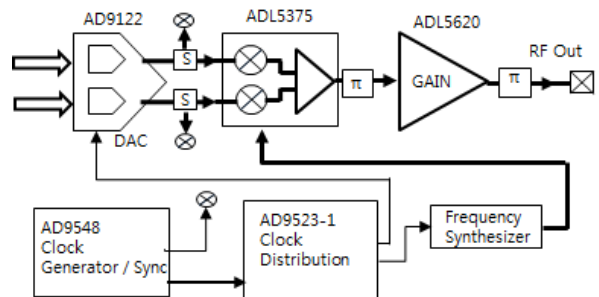


그림 4. I-Q 변조기 구조
Fig. 4. Block diagram of I-Q modulator.

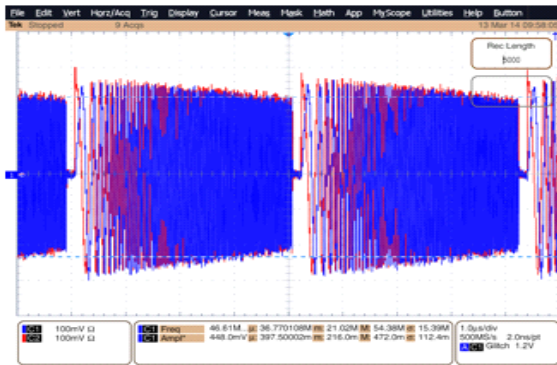


그림 5. I-Q 변조기 출력 신호 @ 3.9 GHz
Fig. 5. Output signal of I-Q modulator. at 3.9 GHz.

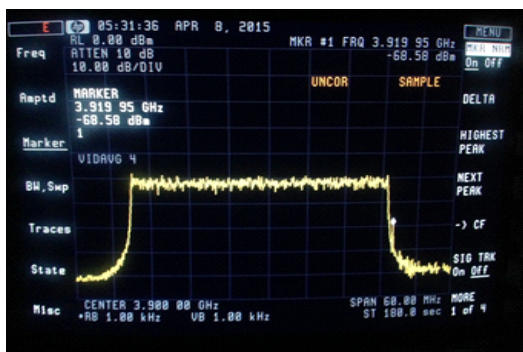


그림 6. I-Q 변조된 chirp 신호 스펙트럼 @ 3.9 GHz
Fig. 6. Chirp signal spectrum of I-Q modulator at 3.9 GHz.

수가 4 GHz까지 동작하는 FCOMMS1^[6] I-Q 변조기를 이용하였다. 그림 6의 I-Q 변조된 3.9 GHz, 40 MHz RF 칩 신호는 그림 3의 설계에서 제시한 NLFM 파형이며, 대역폭 내에서의 평탄도, slope, side lobe 등에서 거의 simulation과 유사한 우수한 시험 결과를 보여주고 있다.

2-3 W-대역 주파수 체배기

광대역의 W-대역 신호를 얻기 위하여서는 일반적으로 주파수 체배기를 이용하며, 본 논문에서는 그림 7처럼 24배의 주파수 체배기로 설계하였다. 94 GHz에서 960 MHz의 광대역폭 신호를 얻기 위하여 3.9 GHz에서 I-Q 변조된 40 MHz 칩 신호를 24배로 주파수 체배를 하였다. 24 주파수 체배기는 3 체배기와 3개의 2 체배기로 구성되었으며, 마이크로파 대역의 체배기는 Teflon 기판에 구현하였으며,

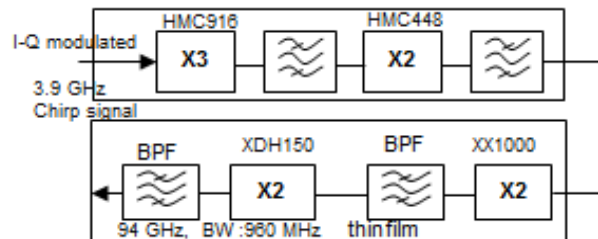


그림 7. W-대역 24 주파수 체배기 구성도
Fig. 7. W-band 24 multiplier block diagram.

밀리미터파 대역은 기판의 손실을 줄이기 위하여 알루미늄이나 기판의 Thin film으로 설계 제작하였다. 밀리미터파 대역에서 사용한 MMIC는 모두 bare chip 형태이며, wire bonding하여 MMIC 칩을 실장하였다. 각각의 주파수 체배 후 체배기에서 발생하는 하모닉 신호를 억제하기 위하여 각 체배기 출력단에는 대역통과 필터를 사용하였다. 각 필터는 신호의 왜곡이 발생하지 않도록 입력 신호의 칩 대역폭보다 조금 더 넓은 대역폭으로 설계하였다.

주파수 체배기의 최종 출력단에는 전력 증폭기를 설계하여 94 GHz의 출력신호를 증폭하도록 하였으며, 설계된 출력 신호는 0.3 W를 측정하였다.

III. 실험 및 성능 분석

설계, 제작된 94 GHz 칩 발생기의 실제 사진을 그림 8에 제시하였다. 앞에서 언급한 것처럼 FPGA 보드는 상용 Kintex7, I-Q 변조기는 FCOMMS1를 사용하였고, 체배기는 24 주파수 체배로 제작하였다. 설계된 칩 발생기의 스펙트럼을 그림 9에 제시하였으며, 94 GHz 칩 신호 스펙트럼은 스펙트럼분석기 HP70004A와 Agilent harmonic mixer

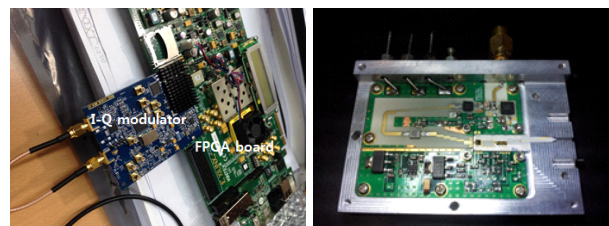


그림 8. 제작된 FPGA 칩신호 발생기와 24 주파수 체배기
Fig. 8. Manufactured chirp generator and 24 frequency multiplier.

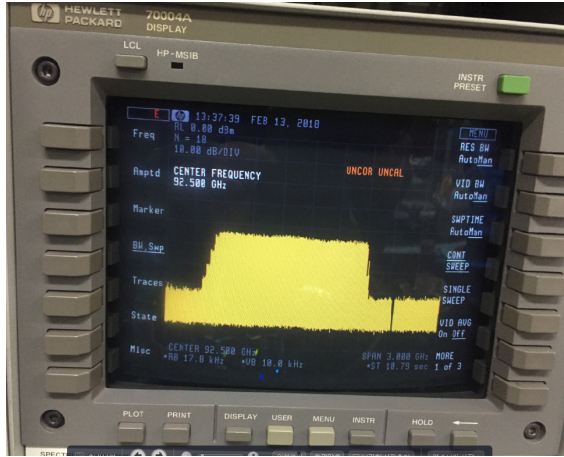


그림 9. 제작된 W-대역 칩신호 스펙트럼
Fig. 9. Manufactured chirp spectrum at W-band.

1,1970 W를 이용하여 측정하였다. 실험 결과 92.64~93.6 GHz, 960 MHz의 대역폭을 보여주고 있다. Spectral growth -20 dB이며, 주파수 체배 시 발생하는 고조파의 하모닉 신호에 의하여 발생하며, 주파수 체배기와 필터의 설계에 따라 약간의 특성이 다르게 나타날 수가 있다. 제작된 칩 신호는 24 체배 후 960 MHz의 광대역 임에도 불구하고 대역폭에서의 평탄도는 약 2.0 dB 이내로 아주 우수한 특성을 보여주고 있다.

그림 9에서 fundamental 신호와 harmonic 신호가 중첩되어 표시되는 것은 W-대역 스펙트럼 분석기에서 사용하는 external mixer가 harmonic mixer에 이어서 광대역 신호인 경우 고조파 신호에 의하여 두 개의 신호가 중첩되어 표시되는 이유이며, 실제 칩 신호에는 없는 스펙트럼이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 국내에서는 처음으로 W-대역에서 960

MHz 광대역을 가지는 칩 신호 발생 장치를 제작하였으며, 이에 관한 연구 결과를 제시하였다. 제작된 칩 신호는 본 연구실에서 개발되고 있는 고해상도의 W-대역 영상레이다에 사용될 예정이다. 본 연구 결과를 토대로 향후 4 GHz의 대역폭을 가지는 칩 신호 발생기 설계, 제작에 활용될 예정이다. 개발된 칩 발생기는 W-대역의 고해상도 영상 레이더 SAR의 신호원으로 사용될 예정이다.

References

- [1] S. Stanko, W. Johannes, R. Sommer, A. Wahlen, J. Wilcke, and H. Essen, et al., "SAR with MIRANDA- millimeter-wave radar using analog and new digital approach," in *2011 8th European Radar Conference*, Manchester, Oct. 2011, pp. 214-217.
- [2] M. Y. Chua, V. C. Koo, "FPGA-based chirp generator for high resolution UAV SAR," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 99, pp. 71-88, 2009.
- [3] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques," in *IEE Proceedings F(Radar and Signal Processing)*, Oct. 1992, vol. 139, no. 5, pp. 343-350.
- [4] J. A. Johnston, A. C. Fairhead, "Waveform design and Doppler sensitivity analysis for nonlinear FM chirp pulses," in *IEE Proceedings F(Communications, Radar and Signal Processing)*, Apr. 1986, vol. 133, no. 2, pp. 163-175.
- [5] Xilinx, May 2017. Available: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds182_Kintex_7_Data_Sheet.pdf.
- [6] Analog devices. Available: <http://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits>.