

FMCW 응용을 위한 우수한 성능의 W-band 도파관 전압조정발진기

정희원 류근관*, 이진구**, 김성찬*

High Performance W-band VCO for FMCW Applications

Keun-Kwan Ryu*, Jin-Koo Rhee**, Sung-Chan Kim*^o *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 FMCW(frequency modulation continuous wave) 응용에서 사용 가능한 우수한 성능의 W-band 도파관 전압조정발진기를 구현하였다. 중심주파수가 94 GHz인 도파관 전압조정발진기(VCO, voltage controlled oscillator)를 구현하기 위하여 GaAs 건 다이오드(Gunn diode) 및 버랙터 다이오드(varactor diode)와 저역통과필터(LPF, low pass filter)를 적용한 두 개의 바이어스 포스트(bias post)를 이용하였으며, 발진기의 동공(cavity)을 47 GHz에서 발진하도록 설계하여 2차배된 신호를 사용하였다. 제작된 전압조정발진기는 1.095 GHz의 대역폭, 1.69%의 오차율 특성을 갖는 590 MHz의 선형성 구간과 14.86 ~ 15.93 dBm의 출력전력 특성을 나타내었다. 위상잡음은 전 구간에서 -95 dBc/Hz(at 1 MHz offset) 이하의 우수한 특성을 얻었다.

Key Words : waveguide VCO, GaAs Gunn diode, varactor diode, FMCW, second harmonic

ABSTRACT

In this paper, we reported on a high performance waveguide VCO(voltage controlled oscillator) for FMCW applications. The waveguide VCO consists of a GaAs Gunn diode, a varactor diode, and two bias posts with low pass filter(LPF). The cavity is designed for fundamental mode at 47 GHz and operated at second harmonic of 94 GHz center frequency. The developed waveguide VCO has 1.095 GHz bandwidth, 590 MHz linearity with 1.69% and output power from 14.86 to 15.93 dBm. The phase noise is under -95 dBc/Hz at 1 MHz offset.

I. 서 론

무선통신 산업의 성장과 고속 데이터 전송의 필요성이 증대됨에 따라 밀리미터파 대역 기반의 다양한 응용기술들이 주목받고 있다. 군사적 목적으로 제한적인 개발이 이루어졌던 밀리미터파 대역 기술은 28 GHz LMDS (local multipoint distribution service), 60 GHz WLAN (wireless local area network) 등의 상업용 목적으로 확대되고 있다. 특히 W-band(75 GHz

~ 110 GHz) 대역은 신호 흡수 감쇠가 적어 77 GHz 자동차 충돌방지 시스템, 94 GHz FMCW(frequency modulation continuous wave) 레이더 시스템 등의 응용을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

FMCW 레이더는 연속파형 신호를 주파수 변조하여 안테나를 통해 표적에 방사한 후, 표적에서 반사된 신호를 수신하여 전파의 시간지연에 따른 송신신호와 수신신호의 주파수 차이를 이용함으로써 표적과의 거리를 측정하고, 수신되는 전력을 비교하여 표적의

* 이 논문은 2010년 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았다.

* 국립한밭대학교 전자공학과(sckim@hanbat.ac.kr), (°: 교신저자) **동국대학교 밀리미터파기술연구소
논문번호 : KICS2012-03-117, 접수일자 : 2012년 3월 8일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 9일

유무를 감지한다. 94 GHz 대역의 FMCW 레이더는 구조가 간단하기 때문에 소형화된 근거리 감지용 능동 센서의 구현에 사용 가능 하며 FMCW 레이더 적용을 위한 밀리미터파 센서모듈은 소형이면서도 우수한 성능과 높은 신뢰성을 가져야 한다^[4].

94 GHz 대역 FMCW 레이더 시스템을 구현하기 위하여 신호원으로 사용되는 전압조정발진기(VCO, voltage controlled oscillator)는 가장 중요한 부품 중 한가지이다. 따라서 본 논문에서는 GaAs 기반의 건 다이오드(Gunn diode)를 이용하여 도파관(waveguide) 형태의 94 GHz 전압조정발진기를 개발하였다. 개발된 전압조정발진기는 주파수 진행축으로 두 개의 다이오드 포스트가 나열된 구조를 가지고 있으며 건 다이오드에 의해 신호가 발진되고 버랙터 다이오드(varactor diode)로 전기적인 주파수 조절이 가능하다.

II. 도파관 전압조정발진기 설계

그림 1에 47 GHz에서 발진하는 도파관 전압조정발진기의 측면도를 나타내었다. 도파관 전압조정발진기는 두 개의 바이어스 포스트(bias post) 및 건 다이오드와 버랙터 다이오드로 구성되어 있으며 최초 발진된 신호는 47 GHz 대역에서 발진하며 Iris 필터를 거쳐 94 GHz의 2체배(second harmonic) 신호가 WR-10을 거쳐 출력되는 구조이다. 설계에 사용된 GaAs기반의 건 다이오드는 E2V사의 상용 다이오드(DC1279F-T94)를 사용하였으며, 버랙터 다이오드는 MDT사의 상용 다이오드(MV31011)를 사용하였다.

전압조정발진기의 설계 시 가장 중요한 변수는 동공(cavity)의 넓이와 건 다이오드와 버랙터 다이오드 사이의 거리이다. 동공의 넓이는 실제 동공에서 발진될 수 있는 주파수를 결정하고 두 다이오드 사이의 거리는 전압조정발진기의 대역폭과 출력에 영향을 미친다. HFSS의 eigenmode와 de-embedding 기법을 이용하여 동공에서 발진할 수 있는 주파수와 임피던스를 확인하였으며 건 다이오드와 버랙터 다이오드 사이의 거리는 $\lambda/2$ 로 설계하였다^[5].

도파관 전압조정발진기에서 건 다이오드와 버랙터 다이오드에 바이어스(bias)를 인가하기 위하여 바이어스 포스트가 필요하다. DC 바이어스를 인가하면서 RF 신호가 외부로 방사되는 것을 방지하기 위하여 저역 통과필터(LPF, loss pass filter)를 설계하여 바이어스 포스트로 사용함으로써 바이어스 인가와 동시에 신호 차단효과를 얻을 수 있었다. 도파관 전압조정발진기의 동공내에는 47 GHz와 94 GHz 신호가 공존하므로

두 신호를 모두 차단할 수 있는 특성을 갖도록 저역 통과필터를 설계하였다. 설계된 저역통과필터는 47 GHz와 94 GHz에서 각각 -40.1 dB와 -52.53 dB의 이득 특성을 보여 전압조정발진기의 동공에서 발생된 신호가 바이어스 포스트를 통하여 외부로 방사되지 않음을 확인할 수 있다. 건 다이오드의 바이어스 포스트에 함께 구현되어 있는 공진기는 발진주파수와 대역폭 및 출력전력을 좌우한다. 공진기의 디스크(disk) 크기가 클수록 발진주파수와 출력전력이 감소하며 대역폭은 증가한다. 그림 2에 저역통과필터의 개략도를 나타내었으며 그림 3에 HFSS를 이용하여 설계된 저역 통과필터의 특성을 나타내었다.

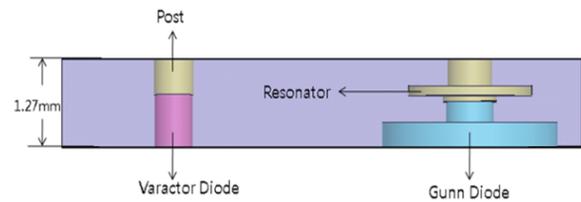
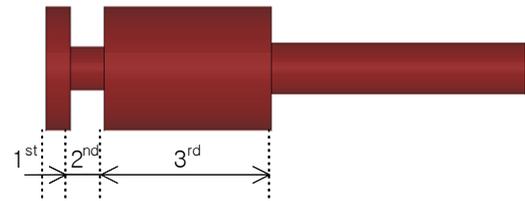


그림 1. 도파관 전압조정발진기의 측면도
Fig. 1. The cross section of waveguide VCO



임피던스단	직경(mm)	길이(mm)
1 st	2.88	0.57
2 nd	1.03	0.8
3 rd	2.88	3.95

그림 2. 저역통과필터의 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of the low pass filter

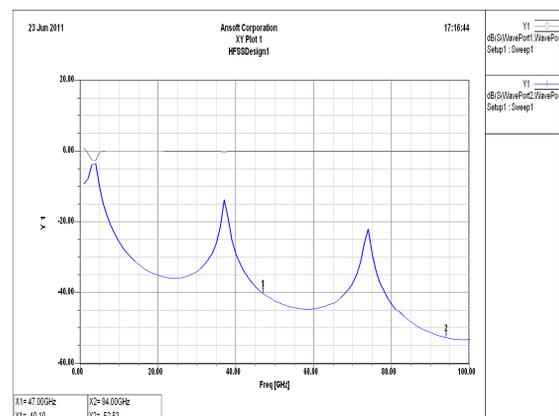


그림 3. 설계된 LPF의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The simulated result of the designed LPF

Ⅲ. 도파관 전압조정발진기 제작 및 측정결과

그림 4에 제작된 도파관 전압조정발진기를 나타내었다. 윗면 조립지그(assembly jig)에는 바이어스를 인가하기 위한 바이어스 포스트가 마운트(mount)되어 있으며 아래 지그에는 건 다이오드와 버렉터 다이오드가 마운트 되어있다. 건 다이오드는 열방출 문제를 고려하여 나사탭으로 조립지그에 완전하게 고정하였고 버렉터 다이오드는 주파수 세부조정(tuning)을 위하여 받침대를 설계하고 움직임이 가능하도록 조립하였다. 건 다이오드를 위한 바이어스 포스트는 발진주파수와 대역폭 등을 세부조정하기 위한 공진기(resonator)가 적용되어 있고, 버렉터 다이오드를 위한 바이어스 포스트는 바이어스 인가를 위한 기능만을 수행한다.

그림 5에 제작된 도파관 전압조정발진기의 대역폭과 출력전력 특성을 나타내었다. 측정결과 전압조정발진기는 1.095 GHz (93.65 ~ 94.745 GHz)의 대역폭을 가지며, 이때 14.86 ~ 15.93 dBm의 출력전력을 얻었다. FMCW 레이더 센서에 적용하기 위해 중요한 특성중 하나인 선형성 구간은 0.5 ~ 5.5 V의 버렉터 다이오드 바이어스가 인가 될 때 590 MHz (93.7 ~ 94.29 GHz)에서 1.69 %의 우수한 오차 특성을 나타낸다.

그림 6은 spectrum analyzer를 이용하여 측정할 위상잡음 특성이다. RBW(resolution band width)를 100 KHz로 설정하고 피크(peak)값에서 1 MHz offset으로 측정하였다. 측정결과 -53.52 dB를 얻었으며 산출된 위상잡음 특성은 -103.52 dBc/Hz(at 1 MHz)로서 매우 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다. 0 ~ 20 V까지의 전 구간에서 1 V 단위로 측정할 결과 전 구간에서 -95 dBc/Hz(at 1 MHz offset) 이하의 우수한 특성을 얻었다.

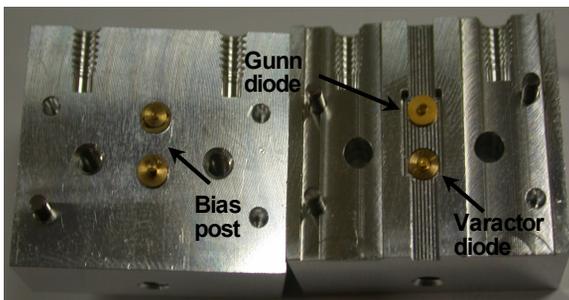


그림 4. 제작된 94 GHz 도파관 전압조정발진기
Fig. 4. The fabricated 94 GHz waveguide VCO

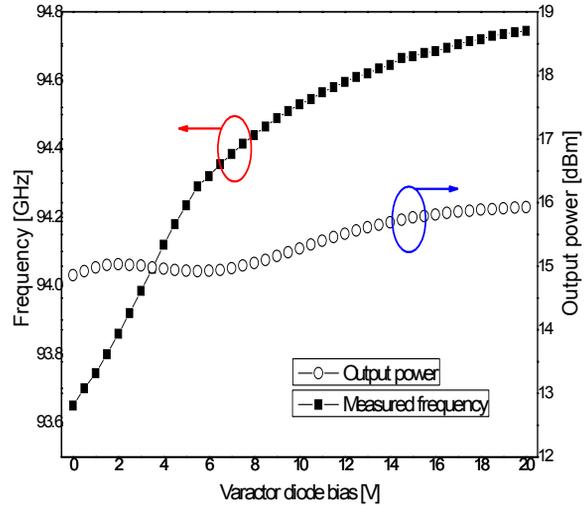


그림 5. 제작된 94 GHz 도파관 전압조정발진기의 측정결과
Fig. 5. The measured results of the fabricated 94 GHz waveguide VCO

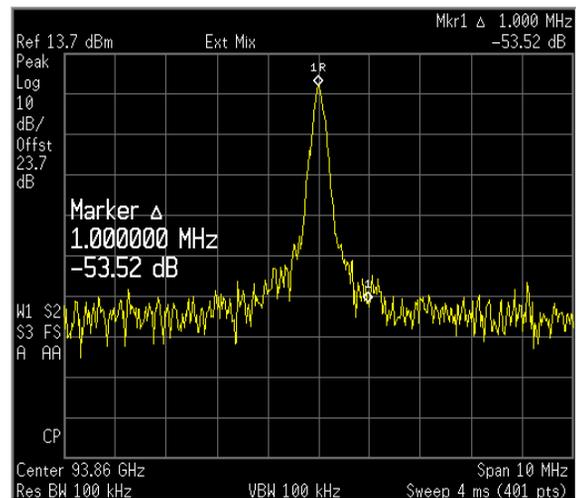


그림 6. 제작된 94 GHz 도파관 전압조정발진기의 위상 잡음 특성

Fig. 6. The phase noise characteristic of the fabricated 94 GHz waveguide VCO

대역폭과 위상잡음은 Agilent사의 extend harmonic mixer와 함께 E4407B spectrum analyzer를 사용하여 측정하였으며, 출력전력은 Agilent사의 E4419B EPM series power meter를 이용하여 측정하였다.

본 논문에서 연구된 W-band 도파관 전압조정발진기는 47 GHz에서 발진하도록 설계되었으며 2채배된 94 GHz 신호를 중심주파수로 사용한다. 측정결과 양호한 대역폭과 출력전력 특성 및 우수한 위상잡음특성과 선형성 구간을 나타내어 FMCW 레이더 센서에 충분히 적용 가능할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 second harmonic 구조를 채택하고 패키징된 GaAs 건 다이오드와 버렉터 다이오드를 이용하여 도파관 전압조정발진기를 설계 및 제작하였다. 전압조정발진기의 동공은 47 GHz에서 발진할 수 있도록 설계되었으며 2채배된 94 GHz 신호를 중심주파수로 사용한다. 측정결과, 전압조정발진기는 1.095 GHz의 대역폭과 14.86 ~ 15.93 dBm의 출력전력 특성을 나타내었다. 산출된 선형성 구간은 590 MHz로 1.69% 오차를 가지며 위상잡음 특성은 -103.52 dBc/Hz(at 1 MHz offset)의 우수한 특성을 얻었다.

본 논문에서 개발한 W-band 도파관 전압조정발진기는 양호한 대역폭과 출력전력 특성 및 우수한 위상잡음특성과 선형성을 나타내어 FMCW 레이더 센서에 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Tessmann, S. Kudszus, T. Feltgen, M. Riessle, C. Sklarczyk, W. H. Haydl, "A 94 GHz Single-Chip FMCW Radar Module for commercial sensor applications," 2002 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig, vol. 3, pp. 1851-1854, 2002.
- [2] J. D. Park and W. J. Jim, "An Efficient Method of Eliminating the Range Ambiguity for a Low-Cost FMCW Radar Using VCO tuning Characteristics," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 54, no. 10, 2006.
- [3] D. C. W. Lo, K. W. Chang, R. Lin, E. W. Lin, H. Wang, M. Biedenbender, G. S. Dow, and B. R. Allen, "A Single-chip W-band Transceiver with Front-end Switching Receiver for FMCW radar applications," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol.2, pp. 873-876, 1995.
- [4] Myung-Suk Jung and Wan-Joo Kim, "Design of a W-band Radiometer Simultaneously Operating with a Single-Antenna Configured FMCW Radar," IEEE, vol. 43, TC, no.4, pp.67-74, 2006.
- [5] D. S. Ko, S. W. Moon, M. K. Lee, S. J. Lee, D. H. Ko, S. H. Bang, Y. H. Baek,

M. Han, S. K. Choi, T. J. Baek, S. D. Kim, and J. K. Rhee, "94 GHz Waveguide VCO with Magic T for FMCW radar," 38th Euro. Micro. Conf., pp. 1234-1237, 2008.

류 근 관 (Keun-Kwan Ryu)

정회원



1992년 광운대학교 전자통신공학과 공학사
1994년 광운대학교 전자통신공학과 공학석사
2000년 광운대학교 전자통신공학과 공학박사
2000년 3월~2003년 1월 한국

전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원
2003년~현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 초고주파용 능동/수동 회로 설계

이 진 구 (Jin-Koo Rhee)

정회원



1969년 국립항공대학교 전자공학과 공학사
1975년 서울대학교 전자공학과 공학석사
1982년 Oregon State University 전기공학과 공학박사

1985년 Cray Research, USA, Research Scientist
1985년 Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer
1990년~1991년 University of Michigan, Visiting Research Scientist
1995년~현재 한국전자과학회 이사
1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
2004년 대한전자공학회 수석부회장
2005년 대한전자공학회 회장
1985년~2010년 동국대학교 전자공학과 교수
2010년~현재 동국대학교 전자공학과 명예교수
<관심분야> 밀리미터파 소자 및 회로 개발

김 성 찬 (Sung-Chan Kim)

정회원



1999년 동국대학교 전자공학과
공학사

2001년 동국대학교 전자공학과
공학석사

2006년 동국대학교 전자공학과
공학박사

2006년~2007년 동국대학교

밀리미터파 신기술 연구센터 박사후연구원

2007년~현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 밀리미터파 소자 및 회로 개발