

## 차량 충돌 방지 레이더 시스템 응용을 위한 77 GHz 도파관 전압 조정 발진기

류근관 · 김성찬\*

### 77 GHz Waveguide VCO for Anti-collision Radar Applications

Keun-Kwan Ryu · Sung-Chan Kim\*

Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 차량 충돌 방지 레이더 시스템 응용을 위하여 중심 주파수가 77 GHz인 도파관 (waveguide) 전압 조정 발진기 (VCO, voltage controlled oscillator)를 구현하였다. 구현된 도파관 전압 조정 발진기는 GaAs 기반의 건 다이오드 (Gunn diode)와 버랙터 다이오드 (varactor diode), 도파관 천이기 (waveguide transition), 저역 통과 필터 (LPF, low pass filter) 및 공진기 (resonator) 기능을 동시에 수행하는 다이오드의 바이어스 (bias) 포스트 (post)로 구성되어진다. 77 GHz 신호는 동공 (cavity)을 38.50 GHz에서 발진하도록 설계하여 2차 배된 신호를 사용하였으며 WR-12에서 WR-10으로 천이되어 출력된다. 도파관 천이기는 77 GHz의 중심주파수에서 1.86 dB의 삽입손실 (insertion loss)과 -30.22 dB의 입력반사계수 (S11, input reflection coefficient) 특성을 갖는다. 제작된 도파관 전압 조정 발진기는 870 MHz의 대역폭 (bandwidth)과 12.0 dBm ~ 13.75 dBm의 출력 전력 특성을 나타내었다. 위상잡음 특성은 1 MHz 오프셋 (offset)에서 -100.78 dBc/Hz의 우수한 특성을 얻었다.

#### ABSTRACT

In this work, we demonstrated a 77 GHz waveguide VCO with transition from WR-12 to WR-10 for anti-collision radar applications. The fabricated waveguide VCO consists of a GaAs-based Gunn diode, a varactor diode, a waveguide transition, and two bias posts for operating as a LPF and a resonator. The cavity is designed for fundamental mode at 38.5 GHz and operated at second harmonic of 77 GHz. The waveguide transition has a 1.86 dB of insertion loss and -30.22 dB of S11 at the center frequency of 77 GHz. The fabricated VCO achieves an oscillation bandwidth of 870 MHz. Output power is from 12.0 to 13.75 dBm and phase noise is -100.78 dBc/Hz at 1 MHz offset frequency from the carrier.

**키워드** : 도파관, 전압 조정 발진기, 77 GHz, 건 다이오드, 버랙터 다이오드

**Key word** : waveguide, VCO, 77 GHz, Gunn diode, varactor diode

접수일자 : 2014. 03. 07 심사완료일자 : 2014. 04. 07 게재확정일자 : 2014. 04. 18

\* **Corresponding Author** Sung-Chan Kim(E-mail:sckim@hanbat.ac.kr, Tel:+82-42-821-1130)

Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.7.1652>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

지금까지 밀리미터파 (millimeter-wave) 관련 응용 기술들은 주로 군사적 목적으로 제한적인 개발이 이루어져 왔다. 그러나 최근 무선통신 산업의 발전에 따라 밀리미터파 대역 기술은 단거리 통신, 실내 통신, 초고속 광대역 통신, 차량 충돌 방지 레이더 등 여러 분야에 폭 넓게 응용되고 있다. 특히 77 GHz를 사용하는 차량 충돌 방지 레이더 시스템은 ITS (intelligent transport system)의 핵심 기술 중 하나로써 현재 전 세계적으로 연구가 꾸준히 진행 중이다[1-4]. 밀리미터파 센서는 초음파 센서, 마이크로파 센서와 비교하여 온도, 습도 등의 기후 조건에 영향을 적게 받고 안개, 연기 등에 대한 투과력이 높으며 소형·경량화 특성의 장점을 지닌다.

77 GHz를 사용하는 차량 충돌 방지 레이더 시스템을 구현하기 위하여 신호원으로 사용되는 전압 조정 발진기 (VCO, voltage controlled oscillator)는 가장 중요한 부품 중 한가지이다. 따라서 본 논문에서는 GaAs 기반의 건 다이오드 (Gunn diode)와 벡터 다이오드 (varactor diode)를 이용하여 77 GHz 응용에 사용 가능한 도파관 (waveguide) 전압 조정 발진기를 개발하였다. 개발된 전압 조정 발진기는 주파수 진행 축으로 두 개의 다이오드 포스트가 나열된 구조를 가지고 있으며 건 다이오드에 의해 신호가 발진되고 벡터 다이오드로 전기적으로 주파수 조절이 가능하다.

전압 조정 발진기의 설계 시 가장 중요한 변수는 동공(cavity)의 넓이와 건 다이오드와 벡터 다이오드 사이의 거리이다. 동공의 넓이는 실제 동공에서 발진될 수 있는 주파수를 결정하고 두 다이오드 사이의 거리는 전압 조정 발진기의 대역폭과 출력에 영향을 미친다. HFSS의 eigenmode와 de-embedding 기법을 이용하여 동공에서 발진할 수 있는 주파수와 임피던스를 확인하였으며 건 다이오드와 벡터 다이오드 사이의 거리는  $\lambda_g/2$ 로 설계하였다[5]. 77 GHz 신호는 동공을 38.50 GHz에서 발진하도록 설계하여 2체배된 신호를 사용하였으며 아이리스 (iris) 필터를 거쳐 WR-12에서 WR-10으로 천이되어 출력된다.

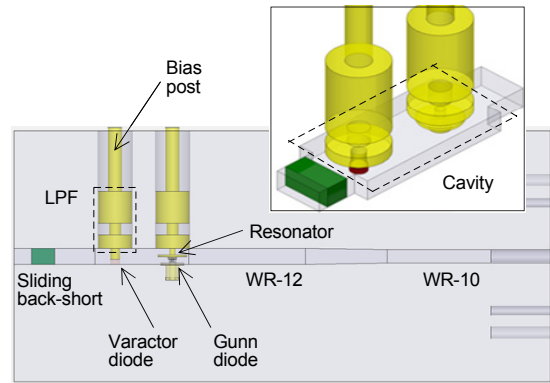
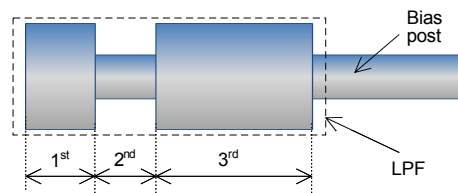


그림 1. 도파관 전압 조정 발진기 개략도  
Fig. 1 Schematic diagram of the waveguide VCO

## II. 도파관 전압 조정 발진기 설계

그림 1에 77 GHz에서 동작하는 도파관 전압 조정 발진기의 개략도를 나타내었다. 구현된 도파관 전압 조정 발진기는 건 다이오드와 벡터 다이오드, 도파관 천이기 (waveguide transition), 저역 통과 필터 (LPF, low pass filter) 및 공진기 (resonator) 기능을 동시에 수행하는 다이오드의 바이어스 (bias) 포스트 (post)로 구성되어진다. 설계에 사용된 GaAs 기반의 건 다이오드는 E2V사의 상용 다이오드 (DC1279F- T94)를 사용하였으며, 벡터 다이오드는 MDT사의 상용 다이오드 (MV31011)를 사용하였다.



임피던스단	직경(mm)	길이(mm)
1st	2.88	1.27
2nd	1.03	1.10
3rd	2.88	2.95

그림 2. 저역 통과 필터 개략도  
Fig. 2 Schematic diagram of the low pass filter

건 다이오드와 벡터 다이오드에 DC 바이어스를 인가하면서 RF 신호가 외부로 방사되는 것을 방지하기 위하여, 저역 통과 필터를 설계하여 바이어스 포스트로 사용함으로써 바이어스 인가와 동시에 RF 신호 차단 효과를 얻을 수 있도록 하였다. 도파관 전압 조정 발진기의 동공 내에는 38.5 GHz와 77 GHz 신호가 공존하므로 두 신호를 모두 차단할 수 있는 특성을 갖도록 저역 통과 필터를 설계하였다. 설계된 저역 통과 필터는 38 GHz와 77 GHz에서 각각 -39.07 dB와 -45.82 dB의 이득특성을 보여 전압 조정 발진기의 동공에서 발생된 신호가 바이어스 포스트를 통하여 외부로 방사되지 않음을 확인하였다. 그림 2에 HFSS를 이용하여 설계된 저역 통과 필터의 개략도를 나타내었고 그림 3에 설계된 저역 통과 필터의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

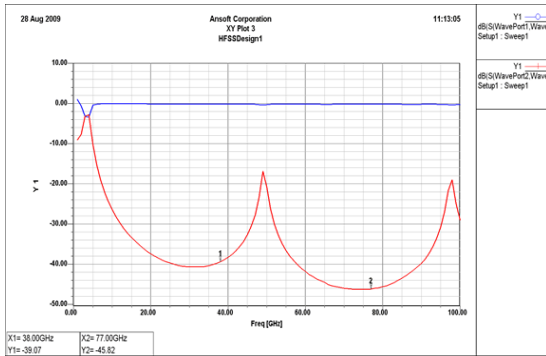


그림 3. 설계된 저역 통과 필터의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3 The simulated results of the designed LPF

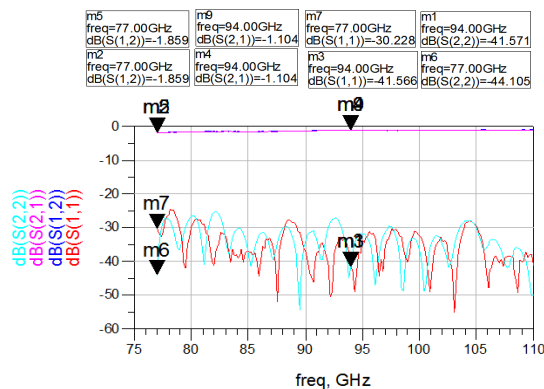


그림 4. 제작된 도파관 천이기의 측정 결과  
Fig. 4 The measured results of the fabricated back-to-back waveguide transition

건 다이오드의 바이어스 포스트에 함께 구현되어 있는 공진기는 발진주파수와 대역폭 및 출력 전력을 좌우한다. 공진기의 디스크 (disk) 크기가 클수록 발진 주파수와 출력전력이 감소하며 대역폭은 증가한다. 시뮬레이션 결과 공진기 디스크의 직경을 2.50 mm로 설정하였다.

E-band (60 GHz ~ 90 GHz)에서 동작하는 도파관 전압 조정 발진기는 일반적으로 WR-12 도파관을 사용한다. WR-12는 WR-10 (75 GHz ~ 110 GHz)과 비교하여 낮은 차단주파수 특성을 가지므로 77 GHz 응용에 더 적합하다. 그러나 본 연구에서는 측정 시스템상의 문제로 인하여 WR-12를 WR-10으로 변환하는 도파관 천이기를 설계하여 도파관 전압 조정 발진기의 출력이 아이리스 필터를 거쳐 WR-12에서 WR-10으로 천이되어 출력된다. 도파관 천이기의 시뮬레이션 결과 77 GHz에서 0 dB의 S21 특성과 -50.72 dB의 S11 특성을 얻었다. 제작된 back-to-back 도파관 천이기의 측정 결과 77 GHz에서 1.859 dB의 삽입손실을 얻었다. 그림 4에 제작된 도파관 천이기와 측정결과를 나타내었다.

### III. 도파관 전압 조정 발진기의 제작 및 측정 결과

그림 5에 제작된 도파관 전압 조정 발진기를 나타내었다. 윗면 조립 지그 (assembling zig)에는 건 다이오드와 벡터 다이오드에 DC 바이어스를 인가하기 위한 바이어스 포스트가 마운트 (mount) 되어 있으며 아래 지그에는 건 다이오드와 벡터 다이오드가 마운트 되어 있다. 바이어스 포스트는 30 μm 두께의 테프론 (teflon) 절연 테이프를 사용하여 조립 지그와 전기적으로 분리된다. 건 다이오드는 열 방출 문제를 고려하여 나사탭으로 조립 지그에 완전하게 고정하였고 벡터 다이오드는 주파수 세부조정 (tuning)을 위하여 받침대를 설계하고 움직임이 가능하도록 조립하였다.

제작된 도파관 전압 조정 발진기의 출력 전력은 Agilent사의 E4419B EPM series power meter를 이용하여 측정하였으며 대역폭과 위상 잡음은 Agilent사의 extend harmonic mixer와 함께 E4407B spectrum analyzer를 사용하여 측정하였다.

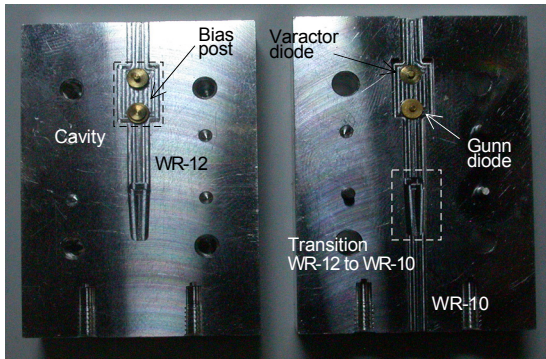


그림 5. 제작된 77 GHz 도파관 전압 조정 발진기  
Fig. 5 The fabricated 77 GHz waveguide VCO

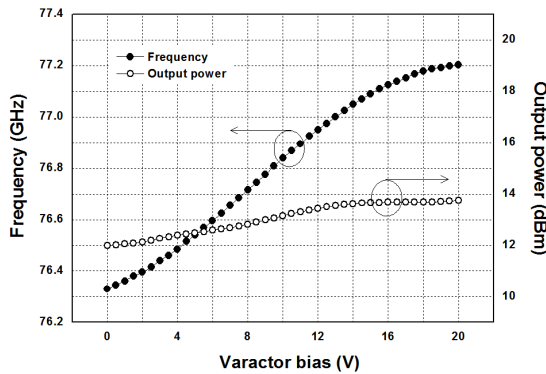


그림 6. 제작된 77 GHz 도파관 전압 조정 발진기의 측정결과  
Fig. 6 The measured results of the fabricated 77 GHz waveguide VCO

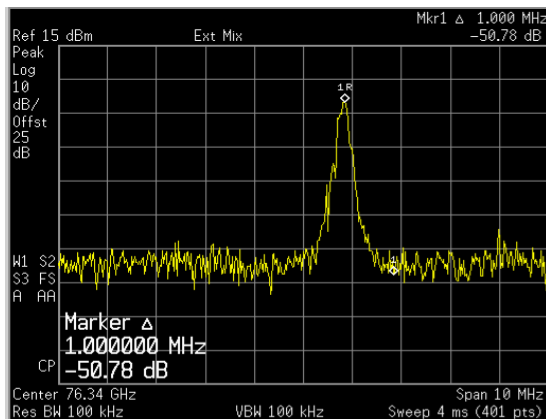


그림 7. 제작된 77 GHz 도파관 전압 조정 발진기의 위상잡음 특성  
Fig. 7 The phase noise characteristics of the fabricated 77 GHz waveguide VCO

그림 6에 제작된 도파관 전압 조정 발진기의 대역폭과 출력전력 특성을 나타내었다. 측정결과 전압 조정 발진기는 870 MHz (76.33 GHz ~ 77.20 GHz)의 대역폭을 가지며, 이때 12.0 dBm~13.75 dBm의 출력전력을 얻었다.

그림 7은 제작된 도파관 전압 조정 발진기의 위상잡음 특성이다. RBW (resolution band width)를 100 kHz로 설정하고 피크 (peak)값에서 1 MHz offset으로 측정하였다. 측정결과 -50.78 dBc/Hz를 얻었으며 해상도 (resolution)의 보상을 위해 RBW 값을 환산하여 산출된 최종 위상잡음 특성은 -100.78 dBc/Hz(at 1 MHz)로서 우수한 특성을 나타내었다.

표 1에 77GHz에서 동작하는 전압 조정 발진기의 특성을 비교하였다. 본 논문에서 개발된 도파관 전압 조정 발진기의 위상잡음 특성이 매우 우수함을 확인할 수 있다.

표 1. 77GHz 전압 조정 발진기의 특성 비교

Table. 1 Comparison of characteristics for 77GHz VCOs

파라미터	Ref[6]	Ref[7]	Ref[8]	본논문
구현방식	MMIC	MMIC	도파관	도파관
주파수 (GHz)	75.3-77.8	75.3-77.7	76-77	76.3-77.2
출력전력 (dBm)	7.8	7.7	14.7	13.75
위상잡음 (dBc/Hz@ 1MHz offset)	-75	-92	-83	-100.78

#### IV. 결 론

본 논문에서는 차량 충돌 방지 레이더 시스템 응용을 위하여 중심 주파수가 77 GHz인 도파관 전압 조정 발진기를 구현하였다. 77 GHz 신호는 동공을 38.50 GHz에서 발진하도록 설계하여 2채배된 신호를 사용하였으며 WR-12에서 WR-10으로 천이되어 출력된다. 제작된 도파관 전압 조정 발진기의 측정결과, 870 MHz의 대역폭과 12.0 dBm ~ 13.75 dBm의 출력전력 특성을 나타내었다. 위상잡음 특성은 1 MHz 오프셋에서 -100.78 dBc/Hz의 우수한 특성을 얻었다. 본 논문에서 연구된 도파관 전압 조정 발진기는 2채배된 77 GHz 신호를 중

심주파수로 사용하며 넓은 대역폭과 출력전력 특성 및 우수한 위상잡음특성을 나타내어 차량 충돌 방지 레이더 시스템에 충분히 적용 가능할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] K. Kamozaiki, K. Kurita, N. Hioe, W. Tanimoto, T. Ohta, H. Nakamura and T. Kondoh, H., "A 77GHz T/R MMIC chip Set for Automotive Radar syatems," in *Proceeding of IEEE Gallium Arsenide Integrated Circuit (GaAs IC) Symposium*, pp. 275-278, 1997.
- [2] J. Udomoto, T. Matsuzuka, S. Chaki, K. Kanaya, T. Katoh, Y. Notani, T. Hisaka, T. Oku, T. Ishikawa, M. Komaru and Y. Matsuda, "A 38/77 GHz MMIC Transmitter Chip Set for Automotive Applications," in *Proceeding of IEEE MTT-S Dig.*, vol. 3, pp. 2229-2232, 2003.
- [3] H. Li, H.-M. Rein, T. Suttorp, "Design of W-band VCOs with high output power for potential application in 77 GHz automotive radar systems," in *Proceeding of IEEE Gallium Arsenide Integrated Circuit (GaAs IC) Symposium*, pp. 263-266, Nov. 2003.
- [4] V. von Tils, "Trends and Challenges in Automotive Electronics," in *Proceeding of IEEE International Symposium Power Semiconductor Devices and IC's*, pp.1-3, Jun. 2006.
- [5] E. L. Holzman, R. S. Robbertson, *Solide-State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, INC., 1992.
- [6] H. J. Siweris, H. Tischer, T. Grave, W. Kellner, "A monolithic W-band HEMT VCO with feedback topology," in *Proceeding of IEEE MTT-s Microwave Symposium Digest*, vol. 1, pp. 17-20, 1999.
- [7] F. Lenk, M. Schott, J. Hilsenbeck, J. Wurfl, W. Heinrich, "Low phase-noise monolithic GaInP/GaAs-HBT VCO for 77 GHz," in *Proceeding of IEEE MTT-s Microwave Symposium Digest*, vol. 2, pp. 903-906, 2003.
- [8] N. Priestley, K. Newsome, I. Dale, P. Norton, "A Gunn diode based surface mount 77 GHz oscillator for automotive applications," in *Proceeding of IEEE MTT-s Microwave Symposium Digest*, vol. 3, pp. 1863-1866, 2002.



류근관(Keun-Kwan Ryu)

1992년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학사  
 1994년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학석사  
 2000년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학박사  
 2000년 3월 ~ 2003년 1월 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원  
 2003년 3월 ~ 현재 국립한밭대학교 전자·제어공학과 교수  
 ※관심분야: 초고주파용 능동/수동 회로 설계



김성찬(Sung-Chan Kim)

1999년 2월 동국대학교 전자공학과 공학사  
 2001년 2월 동국대학교 전자공학과 공학석사  
 2006년 2월 동국대학교 전자공학과 공학박사  
 2006년 3월 ~ 2007년 2월 밀리미터파 신기술 연구센터 박사후연구원  
 2009년 한국전자통신연구원 초빙연구원  
 2013년 조지아텍 연구교수  
 2007년 3월 ~ 현재 국립한밭대학교 전자·제어공학과 교수  
 ※관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계