

# 입출력 공동 주파수 동조를 통한 VCO의 성능 개선에 관한 연구

## A Study on the Improvement of Performance in VCO Using In/Out Common Frequency Tuning

서 경 환 · 장 정 석\*

Kyoungh-Whoan Suh · Jeong-Seok Jang\*

### 요 약

본 논문에서는 K-band(18.6 GHz) 대역에서 동작하는 VCHO(Voltage Controlled Harmonic Oscillator)를 설계 및 제작하였다. 제안된 구조의 발진기는 두 개의 hair-pin 공진기들이 각각 능동소자의 입력단과 출력단에 위치한다. 또한 두 개의 공진기를 동시에 동조하는 구조를 통하여 기본 주파수 억압 특성과 2차 고조파(2f<sub>0</sub>)의 출력을 개선하였다. VCHO의 제작 및 측정 결과에 의하면 출력 전력은 -2.41 dBm, 기본 주파수 억압 특성은 -21.84 dBc 그리고 위상 잡음은 -101.44 dBc/Hz @ 100 kHz의 특성을 얻을 수 있었다. 또한 바랙터 다이오드의 전압 변화에 따른 주파수 동조 범위는 약 10.58 MHz를 얻었으며, 이 때 ±0.19 dB의 전력 평탄도를 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this paper, a VCHO(Voltage Controlled Harmonic Oscillator) for K-band application has been designed and implemented. The proposed oscillator has a structure of two hair-pin resonators placed on input and output of active device. Using in/out common frequency tuning structure, the VCHO yields some advantages of the enhanced fundamental frequency suppression characteristic as well as the improved output power of second harmonic. According to implementation and measurement results, it was shown that a VCHO provides an output power of -2.41 dBm, a fundamental frequency suppression of -21.84 dBc, and phase noise of -101.44 dBc/Hz at 100 kHz offset. In addition, as for the bias voltage from 0 V to -10 V for the varactor diode, output frequency range of 10.58 MHz is obtained with a power variation of ±0.19 dB over its frequency range.

Key words : Oscillator, VCHO, Hair-Pin Resonator, Phase Noise

### I. 서 론

무선 통신 시스템을 이용하기 위해서는 주파수 신호원이 매우 중요하다. 음성뿐만 아니라 화상 및 대용량의 데이터 전송의 필요성에 의해 신호의 복조 시 BER(Bit Error Rate), 데이터 전송률, 대역 특성과 같은 통신 시스템 성능에 영향을 미치기 때문에 국부 발진기는 시스템에서 매우 중요한 요소 중에 하

나이다<sup>[1]~[4]</sup>.

최근 이동 통신이나 위성 통신 등과 같은 무선 통신 시스템들이 다양화와 한정된 주파수 자원으로 인하여 사용 주파수 대역이 마이크로파 대역과 밀리미터파 대역까지 확대되고 있다. 하지만 반도체 물성의 한계와 기술의 한계로 높은 주파수 대역에 대한 주파수 신호원 등의 부품 및 시스템 개발이 아직까지는 충분치 못한 상황에 있다. 따라서 밀리미터파

「본 연구는 강남대학교 2009학년도 교내 연구비 지원에 의한 것임」

강남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kangnam University)

\*광운대학교 전자공학과(Department of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University)

· 논 문 번 호 : 20091229-152

· 교 신 저 자 : 장정석(e-mail : chang1022@hotmail.com)

· 수정완료일자 : 2010년 4월 8일

대역의 주파수 신호원을 얻기 위한 기술이 다방면으로 연구되어왔다.

지금까지 높은 주파수 대역의 신호를 얻는 방법으로는 push-push 구조를 이용하는 방법과 저주파 발진기를 이용하여 주파수 다체배를 이용하는 방법이 대다수를 차지하였다<sup>[1],[2]</sup>. 하지만 이러한 방법은 회로의 전체적인 사이즈의 증가와 다체배를 이용한 위상 잡음 증가 및 출력의 감소 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 최근에는 MMIC(Monolithic Microwave Intergrated Circuit)과 같은 기술을 이용하여 높은 주파수의 신호를 얻는 방법들이 많이 소개가 되고 있으나, 이는 공정상의 어려움 및 고비용의 단점을 가지고 있다. 이 때문에 고조파를 이용한 국부발진기는 고주파 신호원을 얻는데 많은 관심을 받아 왔다.

지금까지의 고조파를 이용한 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 경우 트랩(trap) 등을 이용한 기술이 대다수를 차지하였다<sup>[5],[6]</sup>. 이러한 기술들은 특정 고정주파수에 대해서는 우수한 주파수 억압 특성이 나타났으나, 주파수 가변에 대하여 출력 특성이 선형적으로 변화되지 않는 경우가 많았다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다방면으로 접근하고 있으나, 그 해결책이 아직까지는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 K-band(18.6 GHz) 대역의 고주파에서 동작하는 변형된 구조의 VCHO를 제안하였다. 제안된 구조의 발진기는 기존의 트랩 등의 신호 억압 회로 대신에 공진기를 사용하였다. 두 개의 hair-pin 공진기를 GaAs MESFET 입력단과 출력단에 각각 위치하도록 하였으며, 입·출력단의 hair-pin 공진기를 동시에 동조하는 구조를 취하였다. 그 결과, 기본 주파수 억압 특성 및 2차 고조파(2 $f_0$ )의 출력과 위상 잡음 특성을 개선시킬 수 있었다. 또한 hair-pin 공진기를 이용하였기 때문에 전체 회로 크기를 간소화할 수 있었다.

## II. 주파수 동조 대역 저지 여파기를 적용한 헤어핀 전압 제어 고조파 발진기(VCHO: Voltage Controlled Harmonic Oscillator)

본 논문에서는 기본적인 헤어핀 공진 및 부성 저항 이론을 이용하여 전압 제어 고조파 발진기를 설계하였다. 발진기 설계를 위하여 Agilent사의 ADS

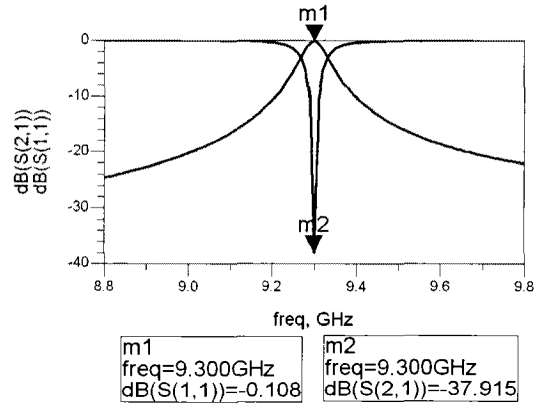


그림 1. 설계된 헤어핀 공진기의 입출력 반사계수  
Fig. 1. In-Out reflection coefficient of designed hairpin resonator.

2008을 이용하였다. 공진부는 헤어핀 공진기를 적용하여 기본 주파수 9.3 GHz에 맞도록 설계하였다. 발진 소자는 저잡음 지수를 가지며, 부성저항을 쉽게 얻을 수 있는 GaAs MESFET ATF-13786을 이용하였다. 발진기의 형태는 회로 구성이 간단하고 부하 변동에 따른 주파수 변화와 출력 변화가 작은 소스 직렬 궤환형으로 구성하였다.

그림 1은 마이크로스트립 라인에 결합한 헤어핀 공진기의 특성이다. 이 때 헤어핀 공진기는 대역 저지 여파기 특성을 가지게 된다.

또한 VCO 설계를 위하여 기계적 또는 전기적으로 회로의 한 부분의 임피던스 특성을 변화시켜 발진 주파수를 바꾼다. 보통 임피던스부에 가변 리액턴스 성분을 갖는 소자를 이용하는 일반적으로 바랙터 다이오드를 많이 사용한다. 본 논문에서는 낮은 위상 잡음과 빠른 튜닝속도, 낮은 튜닝 전력 소모를 위하여 Toshiba사의 1SV306을 이용하였다. 그림 2는 1SV306을 이용하여 hair-pin 공진부의 주파수 가변을 모의실험한 결과이다. 0 V에서 -10 V까지 전압을 변화시켰을 때, 약 90 MHz의 가변이 일어남을 확인할 수 있었다. 하지만 공동 주파수 동조시에는 약 40 MHz의 주파수 가변을 보여 주파수 가변이 현저하게 감소함을 확인할 수 있었다.

그림 3은 본 논문의 성능 개선 여부를 확인하기 위하여 설계한 직렬 궤환형 VCHO의 일반적인 구조이다(이하 VCHO 1)<sup>[3]</sup>. 헤어핀 공진기에서 결합이 잘 일어나도록 게이트 단의 라인 길이를 조절하였으며,

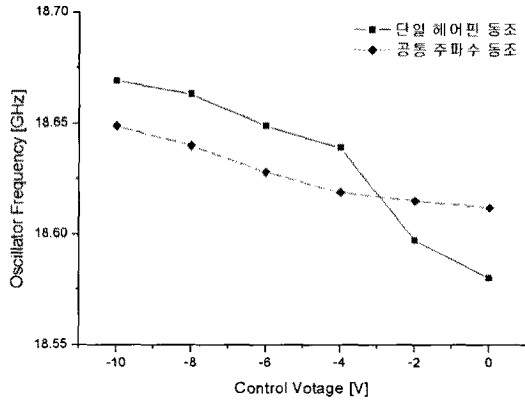


그림 2. 바랙터 다이오드 동조 모의실험 결과  
Fig. 2. Simulation tuning range of varactor diode.

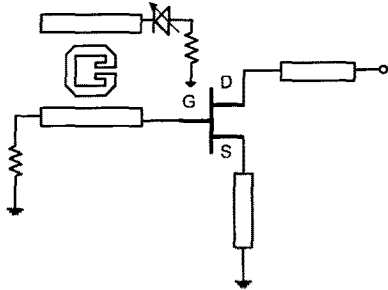


그림 3. 직렬 케환형 VCHO의 구조  
Fig. 3. Structure of series feedback VCHO.

FET의 게이트 단 반사계수가 최대가 되도록 소스 단의 라인 길이를 최적화하고 공진부의 결합 선로의 라인 길이를 조절하여 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 설계하였다.

그림 4는 초기 설계한 VCHO 1의 출력단에 병렬 헤어핀 공진기를 추가한 VCHO의 구조이다(이하 VCHO 2). 이 때 병렬 헤어핀 공진기는 대역 저지 여

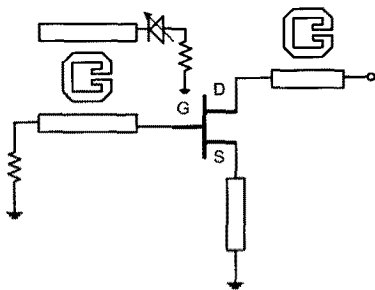


그림 4. 대역 저지 여파기를 적용한 VCHO의 구조  
Fig. 4. Structure of VCHO with band-stop filter.

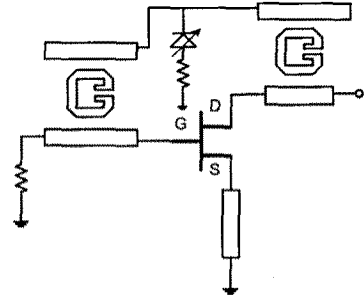


그림 5. 제안된 VCHO의 구조  
Fig. 5. Structure of proposed VCHO.

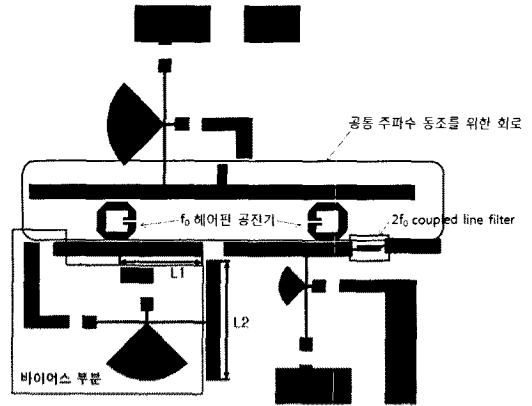


그림 6. 제안된 VCHO의 레이아웃  
Fig. 6. Layout of proposed VCHO.

파기 역할을 하여 기본 주파수 신호를 전기적으로 단락시키며, 기본 주파수에 대한 억압 특성을 개선하게 된다.

본 논문에서는 최종적으로 VCHO의 출력단에 대역 저지 여파기 특성을 갖는 병렬 헤어핀 공진기와 입력단의 발진 주파수 선택 특성을 갖는 헤어핀 공진기를 동시에 동조하여 VCHO의 출력 전력과 위상 잡음 특성 및 주파수 대역의 평탄도를 개선하고자 하였다<sup>[4]</sup>. 그림 5는 제안된 구조를 가지는 VCHO의 구조이며, 그림 6은 제안된 VCHO의 실제 레이아웃이다.

그림 6의 직렬 케환형 구조에서 게이트와 공진기 사이의 거리 L1과 케환 요소인 개방 스텐브 L2를 이용하여 발진기의 발진 조건을 만족시켰다. 이러한 선형 설계를 바탕으로 HB 기법을 이용하여 발진기의 출력 및 고조파 특성 등을 확인할 수 있었다.

그림 7은 발진 조건을 만족하는 개방 루프 이득과

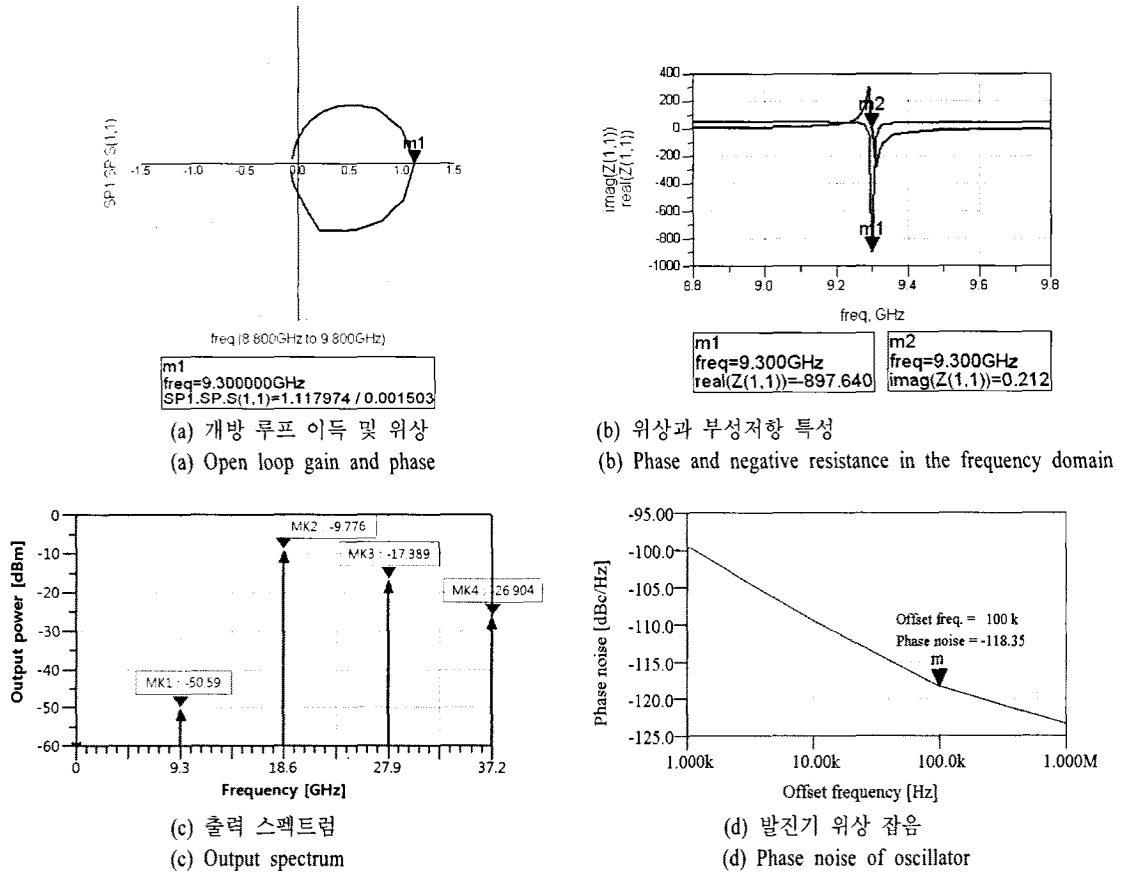


그림 7. 제안된 VCHO 설계 결과

Fig. 7. Simulation results of proposed VCHO.

위상을 나타낸 것이며, (b)는 부성 저항 값과 위상 특성을 보여준다. 그리고 (c)는 출력 스펙트럼을, (d)는 위상 잡음 특성을 보여준다.

표 1은 모의실험 결과를 정리한 것이다. 모의실험 결과, VCHO 1에 비하여 VCHO 2와 제안된 VCHO는

표 1. 발진기의 모의실험 결과

Table 1. Simulated results of oscillator.

|               | VCHO 1        | VCHO 2         | 제안된 VCHO      |
|---------------|---------------|----------------|---------------|
| 발진 주파수 (GHz)  | 18.6          | 18.6           | 18.6          |
| 개방 루프 이득 및 위상 | 1.091 / 0.007 | 1.116 / -0.002 | 1.118 / 0.002 |
| 출력 (dBm)      | -9.902        | -9.63          | -9.776        |
| 기본파 억압 (dBc)  | -10           | -40.5          | -40.8         |

루프 이득과 기본 주파수 억압 특성이 크게 개선됨을 확인할 수 있었다. 하지만 VCHO 2와 본 논문에서 제안된 VCHO의 시뮬레이션 결과가 거의 차이가 나타나지 않았다. 입력단과 출력단의 공동 주파수 동조를 위한 라인을 회로 설계 시뮬레이션 툴인 ADS에서 정상적인 해석을 하지 못한 것으로 분석된다.

### III. 설계 및 측정 제작

이상과 같이 설계된 VCHO는 유전율 2.6, 두께 0.504 mm인 Chukoh사의 테플론 기판을 이용하여 제작하였다. 그림 8은 실제 제작된 VCHO이다.

제작된 VCHO의 측정을 위하여 Agilent사의 E44-40A PSA Series Spectrum Analyzer를 이용하였다. 또한 안정된 DC 전압공급기는 저잡음 특성과 우수한 조절 능력을 갖춘 Agilent사의 E3640A를 사용하

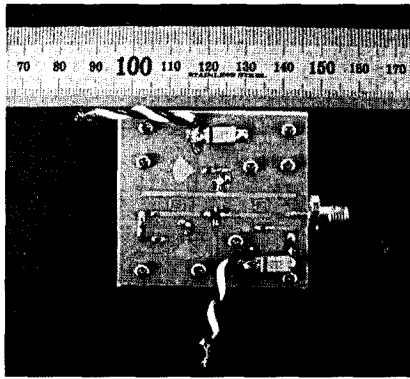
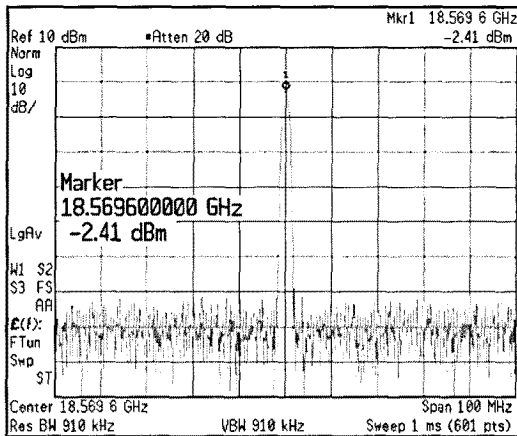


그림 8. 제안된 VCHO의 실물도  
Fig. 8. Photograph of the proposed VCHO.

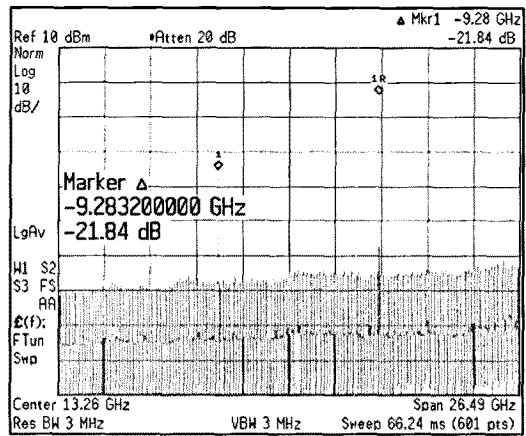
였다.

본 논문에서 사용한 ATF-13786의 바이어스는 A 급 바이어스인  $V_{ds}=3\text{ V}$ ,  $I_{ds}=40\text{ mA}$ 이고, 게이트 바이어스는 자기바이어스(self-bias) 형태를 취하였다. 또한 바랙터 다이오드를 이용하여 0에서  $-10\text{ V}$ 까지 가변시키면서 주파수와 출력의 변화를 측정하였다. 그림 9는 제안된 VCHO를 측정한 결과이다.

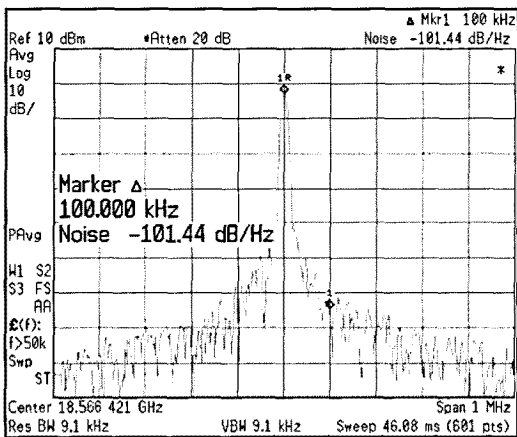
제안된 구조의 VCHO는 18.6 GHz에서 약  $-2.41\text{ dBm}$ 의 출력을 나타냈으며,  $-21.84\text{ dBc}$ 의 기본 주파수 억압 특성을 보였다. 또한 100 kHz offset 주파수에서  $-101.44\text{ dBc/Hz}$ 의 우수한 위상 잡음 특성과



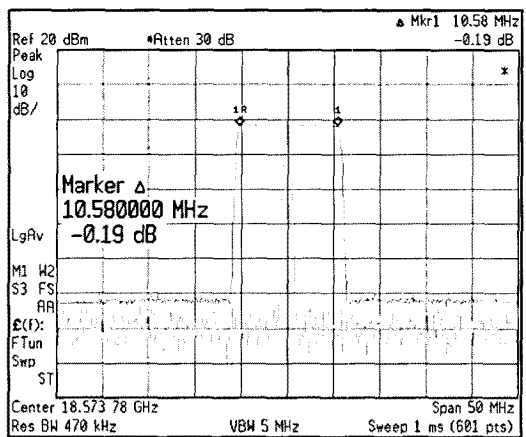
(a) 출력 스펙트럼  
(a) Output spectrum



(b) 기본 주파수 억압 특성  
(b) Fundamental suppression characteristic



(c) 위상 잡음 특성(100 kHz offset)  
(c) Phase noise characteristic at 100 kHz offset



(d) 주파수 동조 대역  
(d) Frequency tuning range

그림 9. 측정 결과  
Fig. 9. Measurement results.

표 2. 발진기의 측정 결과

Table 2. Measured results of oscillator.

|                                 | VCHO 1 | VCHO 2 | 제안된 VCHO |
|---------------------------------|--------|--------|----------|
| 발진 주파수 [GHz]                    | 18.6   | 18.6   | 18.6     |
| 출력 파워 [dBm]                     | -4.49  | -2.45  | -2.41    |
| 기본파 억압 [d]                      | -12.23 | -20.34 | -21.84   |
| 위상 잡음 (offset 100 kHz) [dBc/Hz] | -87.41 | -92.39 | -101.44  |
| 평탄도 [dB]                        | ±2.81  | ±1.48  | ±0.19    |

표 3. 타 논문 발진기의 특성 비교

Table 3. Comparison of oscillator characteristics.

|                        | Hyun-Wook [5] | K. Kawasak [6] | 본 논문의 결과 |
|------------------------|---------------|----------------|----------|
| 발진 주파수 (GHz)           | 17.81         | 19.16          | 18.6     |
| 출력 파워 (dBm)            | -2.96         | 3.16           | -2.41    |
| 기본파 억압 (dBc)           | -25.83        | -26.99         | -21.84   |
| 위상 잡음 (offset 100 kHz) | -97.39        | -79.34         | -101.44  |
| 평탄도 (dB)               | ±0.26         | -              | ±0.19    |

10.58 MHz의 주파수 동조 대역폭을 가짐을 확인할 수 있었다. 동조 대역 내에서의 전력 평탄도는 ±0.19 dB였다.

제안된 VCHO의 측정 결과는 모의실험 결과와 다소 차이를 보였다. 이와 같은 원인으로는 공진부 제작 오차로 인한 Q값과 공진 주파수의 오차로 인해 발진 주파수 천이가 발생하였으며, 동시에 출력 및 기본 주파수 억압 특성의 차이가 발생한 것으로 확인된다. 모의실험에서 사용한 ADS 2008에서 입력단과 출력단의 피드백 루프의 미해석 또한 오차에 큰 영향을 미친 것으로 파악된다.

표 2는 본 논문에서 제안한 구조의 VCHO 특성을 정리한 것이다. 제안된 구조의 VCHO 특성 개선 여

부를 확인하기 위하여 자체적으로 VCHO 1과 VCHO 2를 제작 및 측정하였다. VCHO 2와 제안된 VCHO는 VCHO 1보다 출력과 주파수 억압 특성이 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 구조의 VCHO는 발진기 출력단에 주파수 동조가 가능한 대역 저지 여파기를 적용한 구조를 취함으로써, VCHO 2보다 출력 전력의 감쇠를 개선하여 주파수 동조 우수한 평탄도를 얻을 수 있었다. 표 3은 타 논문과 발진기 특성을 비교한 것이다. 본 논문과 비교를 위하여 고조파 성분을 사용한 고주파 발진기들과 그 성능을 비교하였다. 출력 부분에서는 떨어지나, 위상 잡음과 평탄도 측면에서는 상당한 개선 효과를 볼 수가 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 K-band에서 동작하는 발진기를 변형된 구조의 VCHO를 제안하여 설계 및 제작하였다. K-band의 높은 주파수 신호원을 얻기 위하여 고조파 발진기를 이용하였다. 또한 대역 저지 여파기를 가지는 hair-pin 공진기를 출력단에 적용하였고, 입력단과 출력단 hair-pin 공진기에 동시에 동조하는 구조를 이용하여 고조파 발진기 사용시 생기는 기본 주파수 억압 특성 및 위상 잡음 특성의 저하와 주파수 동조 대역의 평탄도를 개선하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ulrich L. Rohde, David P. Newhirk, *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- [2] Eric Holzman, *Solid-State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, Boston, London, 1992.
- [3] K. L. Kotzebue, "A technique for the design of microwave transistor oscillator", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 32, no. 7, pp. 719-721, Jul. 1984.
- [4] H. J. Kim, "피드백 네트워크와 멀티출력을 이용한 전압제어 발진기에 관한 연구", 광운대학교 박사학위 청구논문, 2006년 12월.
- [5] H. W. Lee, S. W. Seo, K. C. Yoon, K. M. Oh, S. Y. Oh, H. Nam, and J. C. Lee, "Design of a new

k-band push-push oscillator improving output power", *IEEE Int. Symp. AP-S 2008*, pp. 1-4, Apr. 2008.

[6] K. Kawasak, T. Tanaka, and M. Aikawa, "Novel K-

band push-push oscillator using slot ring resonator embedding Gunn diodes", *IEEE EUMC 2007*, pp. 755-758, Dec. 2007.

### 서 경 환



1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
1991년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
1983년 1월~1998년 10월: 삼성전자

정보통신본부 수석연구원

1999년 3월~현재: 강남대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파 회로, RF 모듈 및 무선전송시스템, 전파자원 및 간섭 분석 등

### 장 정 석



2005년 2월: 강남대학교 전자공학과 (공학사)

2006년 3월~2008년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)

2008년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파 회로, RF 모듈 및 무선전송시스템 등