

2차 고조파의 병렬 궤환을 이용한 새로운 구조의 전압 제어 Hair-pin 공진 발진기에 관한 연구

정희원 민준기*, 하성재*, 이근태*, 안창돈*, 홍의석*

A Study on the new structure Voltage Controlled Hair-pin Resonator Oscillator using parallel feedback of second-harmonic

Jun-Ki Mim*, Sung-jae Ha*, Keun-Tae Lee*, Chang-Don An*, Ui-Seok Hong* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 발진기의 안정도를 높이기 위해 2차 고조파를 병렬 궤환하는 새로운 구조로 자체 위상고정의 효과를 나타낼 수 있도록 제안하였다. 이 구조는 Hair-Pin 공진 발진기를 사용한 대역통과 여파기, 방향성 결합기, 기본주파수 발진기, 체배기, 그리고 출력전력의 궤환 및 격리를 위한 Wilkinson 전력분배기로 구성되었다. 제안된 발진기는 19.5 GHz에서 2.5 dBm의 출력을 나타내었으며 기본 주파수 억압 -25 dBc, 위상잡음은 중심주파수 19.5 GHz의 10 kHz offset 지점에서 -76.52 dBc/Hz의 안정된 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In the thesis, For improving the Stability of VCHRO(Voltage Controlled Hair-pin Resonator Oscillator) the new structure using the parallel feedback of the second harmonic is proposed for self-phase locking effect. This module is composed of wilkinson divider, frequency doubler, directional coupler, and bandpass filter using a hair-pin resonator, which are integrated into miniaturized hybrid circuit. The module exhibits output power of 2.5 dBm at 19.5 GHz, -29.83 dBc fundamental frequency suppression and -76.52 dBc/Hz phase noise at 10 kHz offset frequency from carrier of center frequency 19.5 GHz.

I. 서론

고도화된 정보기술의 등장으로 급속히 변화하는 시대에 따른 정보의 고속화, 대용량화, 고밀도화 되어가는 정보 통신의 인프라 구축이 미래 산업에 중요한 경쟁력의 척도로 인식되어지고 있다. LAN은 종래부터 유선으로 구축되고 있었는데, 그 규모가 커짐에 따라 사무실, 구내에서의 LAN용 기기의 증설, 이동의 기회가 많아지고 있다. 여러 장소의 이동처에서 자신의 단말에서 네트워크에 액세스하는 등의 요구가 높아지고 있다. 이와 같이 LAN 환경을 쉽게 변경할 수 있는 것이 요구되고, 게다가 단

말의 이동성이 중요시되고 있으며, 점점 무선 LAN에 거는 기대가 고조되고 있다. 무선 LAN은 2.4 GHz대와 19 GHz대가 표준화되어 있으며, 이들 무선 LAN은 무선 구간에서의 통신속도는 1M~10 Mbit/s로 이더넷(Ethernet) 인터페이스를 가지고 있다. 이러한 시스템에 사용하기 위한 국부 발진기는 주파수의 고안정성과 낮은 위상잡음이 요구되며, 또한 전체 시스템의 데이터 오류 특성에 중요한 영향을 미치므로 발진기의 발진 주파수를 안정화시키려는 노력이 이루어지고 있다. 일반적인 능동소자들은 온도와 부하의 변동 등으로 인해 발진주파수가 변동하게 되는데 이러한 주파수 변화를 억제하는 안정화 기술 중 기본파 모드의 주입동기화가 1927년

* 광운대학교 전파공학과 초고주파 연구실(ushong@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 010315-1031, 접수일자 : 2001년 10월 31일

※ 이 논문은 2001년도 광운대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

Van der Pol 에 의해 처음 이론적인 근거가 마련되었고 다양한 방법으로 발전되어 왔다^[1]. 이는 자유 발진 모드일 때 외부 RF신호를 인가하므로써 발생되는 발진주파수의 변동 또는 인가된 신호의 주파수에 고정되는 현상을 나타내며, 동기화 또는 위상 고정이라고도 한다^[2]. 이에 본 논문은 기본파 모드의 외부 주입동기가 아닌 2차 고조파를 케환하여 주입하는 형태의 구조를 제시하였다. 또한 최근 RF 부품들의 고집적화, 소형화, 경량화 등의 요구에 따라 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)화가 가능한 평면 공진기인 Hair-pin공진기를 이용하여 Wireless LAN용 LO회로인 19.5 GHz VCHRO(Voltage Controlled Hair-pin Resonator Oscillator)를 새로운 구조로 적용하여 테프론 기판에 설계 및 제작하였다.

II. 발진기 이론

초고주파 발진기는 능동소자의 불안정한 특성을 이용하여 DC 전력을 RF 전력으로 변환하는 것이다. 초기 발진은 능동소자에 공급되는 DC전력이 변하여 노이즈 레벨에서 발진이 시작되며 발진 출력은 점점 성장하여 정상상태에 이르러 안정된 정현파를 만들어낸다^[2]. 이때 소자는 RF전력을 생성함으로써 부성저항을 가져야하며 입력 정합회로는 발진이 시작되기 위해 $| \Gamma_{out} | > 1$ 이 되도록 해주며 공진기에 의한 발진 주파수를 결정한다. 출력 정합회로는 부하에 전달되는 전력의 크기를 결정하며 소신호에 의한 발진 조건은 다음과 같다^{[2][3]}.

- 발진조건1 : $K < 1$
(K =능동소자의 stability factor) (1)
- 발진조건2 : $\Gamma_{in} \Gamma_G = 1$ (2)
- 발진조건3 : $\Gamma_{out} \Gamma_L = 1$ (3)

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 |S_{12} S_{21}|}$$

$$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

Γ_{in} = 능동소자의 입력 반사계수
 Γ_G = 공진회로의 반사계수
 Γ_{out} = 능동소자의 출력 반사계수
 Γ_L = 부하 정합회로의 부하 반사계수

소신호에 의한 식(1), (2), 그리고 (3)과 같은 발진조건 3가지를 모두 만족하여 발진이 시작되면 발

진기의 출력전력이 증가하게 된다. 이렇게 되기 위해서는 다음 식(4)의 두 조건이 필요하다.

$$|R_{out}(V, \omega_0)| > R_L(\omega_0) \quad (4)$$

$$X_{out}(V, \omega_0) + X_L(\omega_0) = 0$$

본 논문은 기본발진기와 주파수 체배기, Wilkinson 분배기, 그리고 방향성 결합기는 각각 설계되어지고 이들을 다시 조합하여 전체회로의 특성을 예측하였다. 기본 발진기에 의해 발생한 기본신호가 체배기를 통해 체배되어 wilkinson 분배기를 거쳐 Hair-pin 공진기가 대역통과 필터의 역할을 하게되므로 케환을 하게 된다. 자유발진 모드 상태에서 2차 고조파가 주입 되므로써 발진주파수의 변동을 억제하는 특성을 얻을 수 있었다. 여기서 공진기는 유전체 공진기와 같이 단일모드를 갖지 않는 Hair-pin 공진기를 이용하여 기본 주파수에는 대역저지 특성을 가지며 2차 고조파에 대해서는 대역통과 특성을 갖도록 해서 2차 고조파를 케환시킬 수 있었다^[4]. 그림 1은 본 논문에서 제시한 2-단자망 발진기 모델이다.

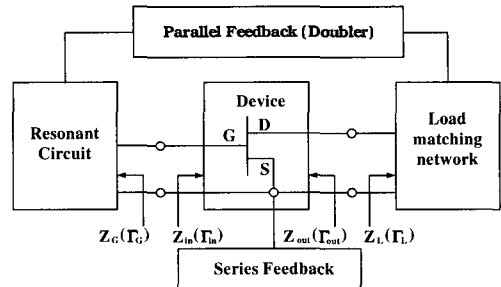


그림 1. 2차 고조파의 병렬 케환 발진기 모델

전압제어 발진기의 발진 주파수 동조에는 기계적 동조와 전기적 동조 방법이 있다. 위상고정 루프 시스템과 같은 응용분야에서는 전기적 동조 방법이 필수적이다. Hair-pin 공진기 결합구조에 두 개의 마이크로 스트립을 두어 상호 인덕턴스와 상호 캐패시턴스에 의한 결합을 유도한다^{[5][6]}. 상호 인덕턴스와 상호 캐패시턴스를 변화시키기 위해서는 낮은 위상잡음과 동조전력, 빠른 튜닝속도 특성을 갖는 바랙터 다이오드를 주로 이용한다^[7].

III. VCHRO의 설계

본 논문에서 설계 및 제작한 전압 제어 발진기는

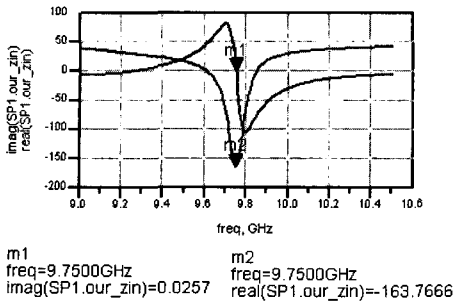


그림 2. VCHRO의 발진 조건

Hair-Pin 공진기를 사용한 기본주파수 발진기, 체배기, 방향성 결합기, 그리고 Wilkinson 전력분배기로 구성되었으며 각각을 설계 한 뒤 이를 연결한 후 전체회로의 특성을 예측하였다. 기본 주파수는 -12 dB 방향성 결합기를 거쳐 출력 되어지며, 또한 체배기에 의해 체배된 주파수는 Wilkinson 분배기를 거쳐 2차 고조파에 대해 대역통과 특성을 갖는 Hair-pin공진기를 통해 케환 되어진다. 전압 제어 발진기는 비유전율 $\epsilon_r = 2.52$, 높이 $H = 0.54$, 등박 두께 $T = 0.018$ mm인 테프론 기판을 사용하였고 Agilent사의 ADS 1.3으로 설계하였다. 기본 주파수 발진기는 GaAs MESFET인 Agilent사의 ATF13786을 이용하였고 체배기에 사용된 능동소자로는 낮은 잡음지수와 높은 소신호 이득을 갖는 Alpha사의 AFP 02N3를 사용하였다. 주파수 동조를 위한 바랙터 다이오드는 넓은 동조범위와 낮은 직렬저항을 갖는 M/A-COM사의 MA46410을 이용하였다.

바랙터 다이오드의 기생성분 때문에 생기는 위상 잡음을 최소화하기 위하여 전압에 따른 캐패시턴스 외에 직렬 저항성분과 직렬 인덕턴스 고려하여 설계하였다. 그림 2는 중심 주파수에서 부정저항을 가

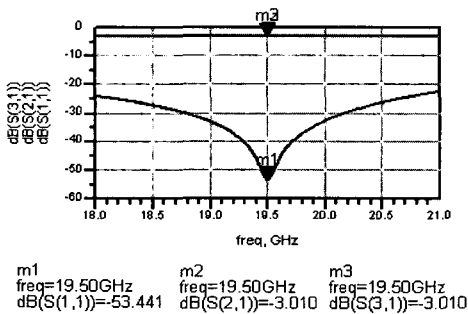


그림 3. Wilkinson 전력 분배기 설계

지며 허수 부분이 0이 되도록 하여 발진 가능성을 보였다. 그림 3은 페루프 형성과 발진기 출력 회로의 격리를 위해서 설계된 Wilkinson 전력 분배기로 -3 dB 특성을 갖도록 설계하였다. 그림 4는 19.5 GHz hair-pin 공진기 대역통과 필터의 설계 결과를 나타낸 것으로써 -3.2 dB의 삽입손실과 반사손실 -27.5 dB의 특성을 예측하였다. 그림 5는 9.75 GHz hair-pin 공진 발진기가 -12 dB 방향성 결합기를 통한 발진출력으로 기본주파수의 출력은 4.3 dBm을 보이고 있고 약 39 dBc이상의 2차 고조파 억압특성을 갖도록 설계하였다. 또한 그림 6은 주파수 체배기 설계 결과로 입력단은 입력 주파수 9.75 GHz에서 반사계수 -29 dB를 얻었고, 출력 단은 입력신호가 체배되어 손실 없이 전송되도록 19.5 GHz에 정합 시켰으며 이득은 5.4 dB를 얻었다.

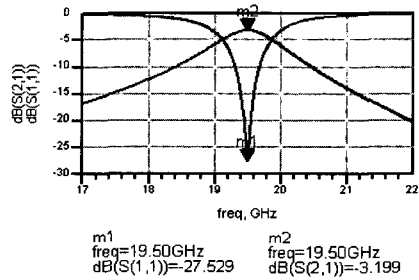


그림 4. Hair-pin 공진기 대역통과 필터 설계

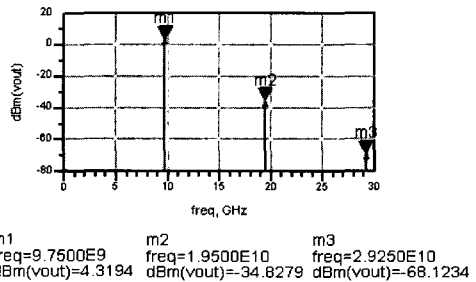


그림 5. 9.75 GHz 발진기의 출력 스펙트럼

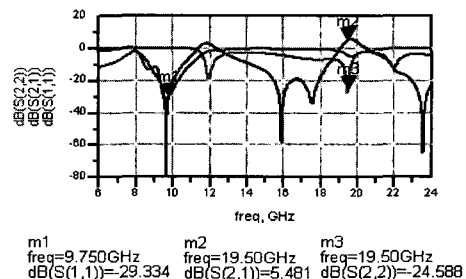


그림 6. 주파수 체배기의 설계

IV. 제작 및 측정

측정장비는 Agilent사의 8563E 스펙트럼 analyzer를 이용하여 측정하였다. 그림 7은 전압제어 hair-pin 공진 발진기의 기본 주파수출력 스펙트럼으로 2.83 dBm의 출력특성을 나타내고 2차 고조파와 25.83 dBc의 억압특성을 나타내었다. 그림 8은 2차 고조파의 출력 스펙트럼으로 2.5 dBm의 출력특성과 기본 주파수의 억압특성이 -29.83 dBc의 특성을 나타내었다.

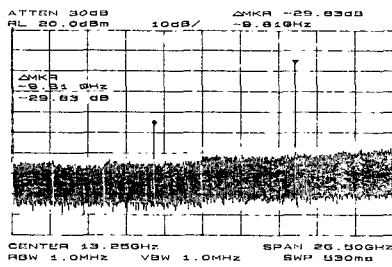


그림 7. VCHRO의 기본 주파수 억압특성

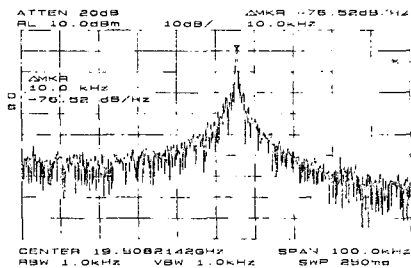


그림 8. 위상 잡음 특성(SPAN 100 KHz)

그림 9는 위상잡음 특성으로 10 kHz offset 주파수에서 -76.52 dBc/Hz의 특성을 얻었다. 그림 10은 동조스펙트럼으로 4.7 V에서 중심 주파수 19.5 GHz에 동조되었으며 그림 11는 설계 및 제작된

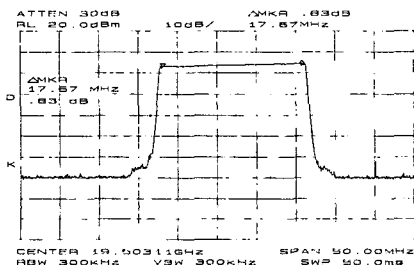


그림 9. 19.5 GHz 동조 스펙트럼

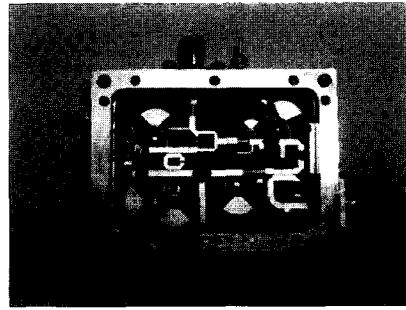


그림 10. VCHRO의 실물사진

VCHRO의 실물사진이다.

V. 결론

본 논문에서는 GaAs MESFET과 PHEMT를 이용하여 기본 주파수 발진기 및 체배기에 바랙터 다이오드를 이용하여 전기적으로 발진 주파수를 동조할 수 있도록 한 새로운 구조의 전압제어 발진기를 설계 및 제작하였다. 2차 고조파의 출력은 2.5 dBm을 얻었으며 위상잡음특성은 Carrier에서 10 kHz offset된 지점에서 -76.52 dBc/Hz이며, Free running 상태에서도 우수한 안정도 특성을 나타내었다. 제작시 공정을 좀더 고려하여 제작된다면 Wireless LAN용 국부발진기의 신호원 및 MMIC화에도 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 비선형 모델에 대한 위상잡음과 출력전력, 발진주파수를 좀더 정확히 예측할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

※ 본 연구에 도움을 준 광운대학교 RFIC Center에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] K. Kurokawa, "Injection locking of microwave solid-state oscillators", *Proceedings of The IEEE*, Vol 61, pp. 1368-1410, Oct. 1973.
- [2] E. Holtzman, *Solid-state microwave power oscillator design*, Artech House, Boston. London, chap. 3, 1992.
- [3] J. Y. Lee and U. S. Hong, "Voltage Controlled Dielectric Resonator Oscillator using 3-terminal MESFET varactor", *Electronics Lett.*, vol. 30, no. 16, Aug. 1994.
- [4] M. Sagawa, K. Takahashi and M. Makimoto, "Miniaturized Hair-pin Resonator Filters and

- their application to receiver front-end MIC's", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 37, no. 12, pp. 1991-1996, Dec. 1989.
- [5] T. A. Bos, F. Bayer, and U. Lott, "A low cost 16.2 GHz phase locked oscillator for wireless LAN", *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 1395-1398, 1997.
- [6] K. Kamogawa, K. Nishikawa and C. Yamaguchi, "A very wide-tuning range 5-GHZ band si bipolar VCO using three-dimensional MMIC technology", *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 1221-1224, 1997
- [7] Y. D. Lee, M.H. Lee, W.P. Hong and U.S Hong, "Voltage-controlled hair-pin resonator oscillator with new tuning mechanism", *Electronics Lett.*, 17th August 2000 vol. 36 no.17

민 준 기(Jun-Ki Min)

정회원



2000년 2월 : 광운대학교 전자
공학과(공학사)
2002년 2월 : 광운대학교 전파
공학과(공학석사)
2002년 3월~현재 : 광운대학교
전파공학과 박사과정

<주관심 분야> 초고주파 회로설계, RF 시스템 설계

하 성 재(Sung-Jae Ha)

한국통신학회논문지 제26권 제7B호 참조

이 근 태(Keun-Tae Lee)

한국통신학회논문지 제26권 제12C호 참조

안 창 돈(Chang-Don An)

한국통신학회논문지 제26권 제12C호 참조

홍 의 석(Ui-Seok Hong)

한국통신학회논문지 제25권 제11B호 참조