

논문 2009-46TC-11-8

# Dual Coupled Spiral 공진기를 이용한 X-대역 저위상 잡음 전압 제어 발진기

( X-band Low Phase Noise VCO Using Dual Coupled Spiral Resonator )

김 양 현\*, 서 철 헌\*\*, 하 성 재\*\*\*, 이 복 형\*\*\*

( Yang-Hyun Kim, Chulhun Seo, Sung-Jae Ha, and Bokhyung Lee )

## 요 약

본 논문에서는 낮은 위상잡음을 개선하기 위하여 마이크로스트립 사각 병렬 나선형 공진기를 이용한 향상된 전압 제어 발진기를 제시하였다. 마이크로스트립 사각 개방 루프 공진기는 큰 결합 계수 값을 갖는데, 이는 Q값을 크게 만들고, 전압 제어 발진기의 위상 잡음을 줄일 수 있다. 1.8 V의 공급 전압을 사용한 전압 제어 발진기는 8.935 ~ 9.4 GHz의 주파수 조절 범위에서 -115.0 ~ -117.34 dBc/Hz @ 100 kHz의 위상 잡음 특성을 갖는다. 마이크로스트립 사각 병렬 나선형 공진기와 일반적인 나선형 공진기를 비교 했을 때, 개선된 Q값 특성은 -32.7 dB와 -57.6 dB이다. 제작된 저위상 잡음 전압 제어 발진기는 X-대역에서 전압 발진기로 이용될 수 있음을 확인 하였다.

## Abstract

In this paper, a novel voltage controlled oscillator (VCO) has been presented by using the microstrip square multiple spiral resonator for reducing the phase noise of VCO. The microstrip multiple square resonator has the large coupling coefficient value, which makes a high Q value, and has reduced phase noise of VCO. The VCO with 1.8 V power supply has phase noise of -115.0~-117.34 dBc/Hz @100 kHz in the tuning range, 8.935 ~ 9.4 GHz. When it has been compared with microstrip square multiple spiral resonator and conventional spiral resonator, the reduced Q value has been -32.7 dB and -57.6 dB respectively. This low phase noise VCO could be available to a VCO in X-band.

**Keywords :** Spiral VCO, metamaterials, microstrip square multiple spiral resonator, coupling coefficient.

## I. 서 론

최근 군용 레이더 및 위성 통신의 통신용량이 증가함에 따라 높은 주파수에서 발진기의 중요성이 날로 증가하고 있고, 이동 통신 응용분야에서 이용할 수 있는 더 많은 채널들에 대한 요구를 증가하게 만들었다. 이에 따라, 이러한 요구는 전압 제어 발진기의 위상 잡음 특성에 대해 더욱 더 엄격한 요구 조건을 부여하게 만들었다<sup>[1]</sup>. 위상 잡음은 발진 성능을 나타내는 중요한 지표

중의 하나로 사용되는 값이다<sup>[2]</sup>. 전압제어 발진기는 특정 주파수를 정확하게 출력해야 하는데 소자의 불안정한 영역에 동작시키다보니 시간 축 상에서 파형이 찌그러지거나 위상이 틀어지는 현상이 나타나게 된다. 이러한 위상 잡음은 공진기의 Q값에 영향을 받는다고 알려져 있다<sup>[4]</sup>. 보통 일반적인 마이크로스트립 라인을 이용한 발진기는 낮은 Q값으로 위상 잡음을 줄이는데 제한이 있어 Q값을 높이기 위하여 metamaterial 공진기 구조를 적용하였다. 제안된 사각 병렬 spiral 공진기는 나선형 공진기를 사각형태의 병렬로 나열하여 커플링의 영향을 발생하게 설계하였다. Spiral 공진기는 그 축에 수직인 방향으로 전계가 걸렸을 때 특정 공진 주파수에서 self-resonance 현상이 일어나며, 이것이 대역 저지 특성으로 나타난다. Spiral 공진기는 날카로운 스킵트

\* 학생회원, \*\* 정회원, 송실대학교 정보통신전자공학부  
(Department of Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

\*\*\* 정회원, 삼성탈레스  
(Samsungthales)

접수일자: 2009년8월17일, 수정완료일: 2009년11월10일

특성에 따른 높은 Q값과 통과 대역에서는 리플이 없고 삽입손실이 매우 낮은 특성을 볼 수 있다. 또한 설계 방법이 간단하고 명확한 특징을 가지고 있다[5~6]. 본 논문은 spiral 구조를 이용하여 좀 더 좋은 특성의 공진기를 구현하여 위상 잡음 특성을 개선하는 연구를 수행하였다. 제안된 사각 병렬 spiral 구조를 통해 일반 spiral 구조 보다 높은 Q값을 얻어 위상 잡음을 줄이는 연구를 하였다. 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기는 큰 결합 계수 값을 갖고, 이로 인해 큰 Q값을 갖기 때문에, 이 공진기를 이용한 공진기의 주요 장점들은 좁은 대역 여파특성, 설계 시 주파수 조절 및 크기조절의 장점을 가지고 있다. 이 공진기는 위성 통신 시스템에서 사용 되어지는 전압 제어 발진기의 위상 잡음을 줄이는 매우 유용한 방법이다.

본 논문에서는 안정된 발진을 하며, 매우 낮은 위상 잡음 특성을 얻기 위하여 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 전압 제어 발진기를 제시 하였다. 또한 구현된 회로는 ADS를 이용하여 최적화 하였으며 최적화된 회로는 유전율  $\epsilon=3.2$ ,  $H=0.787$  mm인 TACONIC사의 기판을 사용하여 구현하여 X-대역에서 사용할 수 있는 전압제어 발진기를 설계·제작하였다.

## II. 사각 병렬 spiral 공진기 설계

제안한 Spiral 공진기는 마이크로파 분야에서 LH 전파 현상에 실제적으로 응용되는 LHM구조에 기반을 두고 있다. 그림 1은 마이크로스트립 전송 선로에 의해 구현된 spiral 공진기의 형태를 나타내었으며, Spiral 공진기를 LC 공진 등가 회로 모델을 통해 해석을 할 수가 있다. 그림 1(a)는 spiral 공진기의 모양으로 기판 위에 spiral 모양을 에칭한 형태를 나타내었다. 이것은 spiral 선로에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 가해지면, spiral 선로에 전류가 유기된다. 유기된 전류가 흐르는 선로의 길이만큼 분산 인덕턴스가 발생하며 선로들 사이의 상호 인덕턴스가 발생한다. 선로에 유기된 전류에 의해 전압이 그림 1(a)와 같이 형성되며 안쪽과 바깥쪽 선로 사이에 분산 커패시턴스와 양 끝단에서 가장자리 커패시턴스가 발생한다. 이 두 커패시터는 직렬로 연결되었다고 할 수 있으며, 그림 1(b)는 등가 모델을 나타내었다.

$$w_0 = \sqrt{\frac{1}{L_T C_T}} \quad (1)$$

$$Q = w \frac{\text{average energy stored}}{\text{energy loss/second}} \quad (2)$$

식(1)에서  $C_T$ 는 분산 커패시턴스와 가장자리 커패시턴스의 합이며,  $L_T$ 는 상호 인덕턴스와 분산 인덕턴스의 합이다. 식(2)는 공진기의 Q값을 나타내는 식으로써 저장되는 에너지와 손실되는 에너지의 비에 주파수 개념을 적용한 식이라 할 수 있다.

Spiral 공진기에서 각 라인이 서로 가까이 있으면서 상호 커패시턴스와 상호 인덕턴스가 증가하면서 결합계수가 커질 수 있으며 커패시턴스와 인덕턴스는 에너지를 저장할 수 있기 때문에 식(2)에서의 분자가 커지면서 Q값이

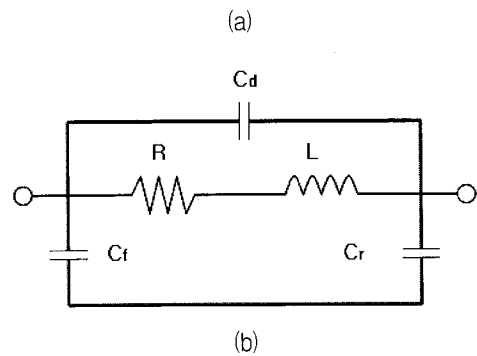
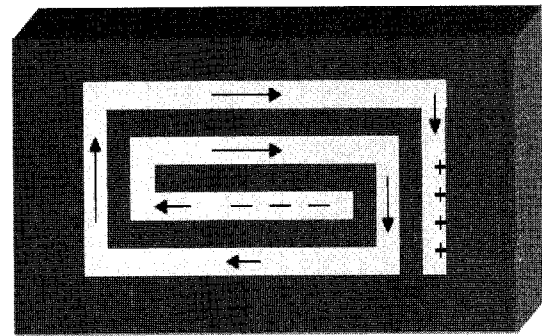


그림 1. (a) Spiral 공진기 (b) Spiral 공진기의 등가회로  
Fig. 1. (a) Spiral resonator (b) Equivalent circuit.

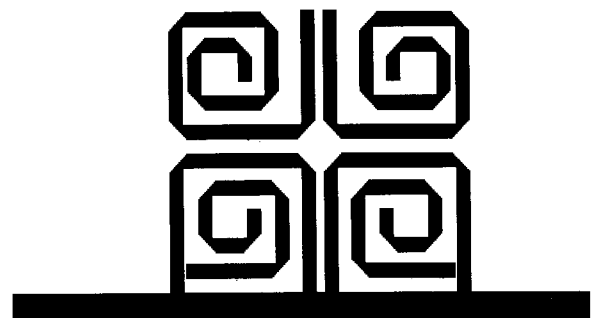
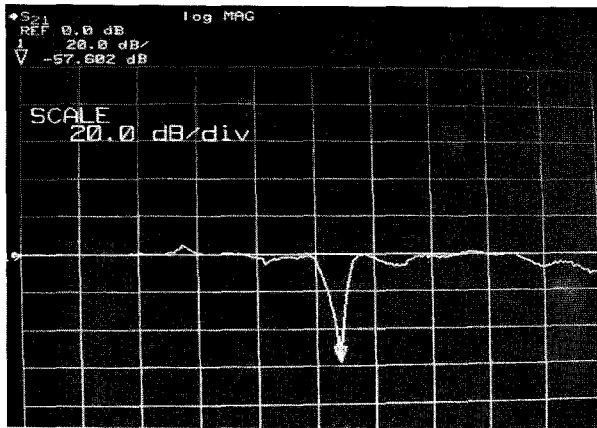
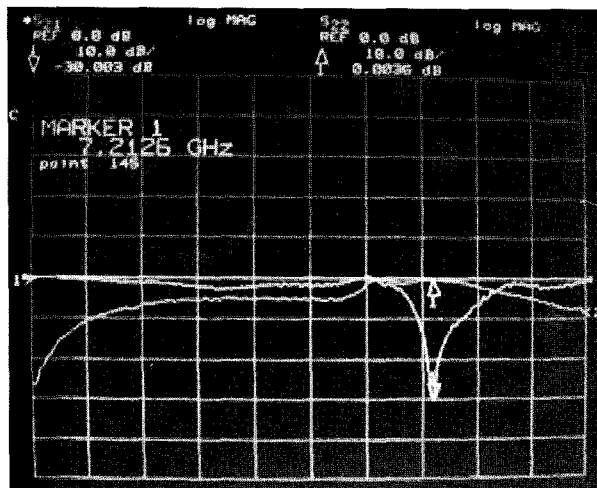


그림 2. 사각 병렬 spiral 공진기 구조  
Fig. 2. Structure of square multiple spiral resonator.



(a)



(b)

그림 3. X-대역 공진기 결과 비교 (a) 사각 병렬 spiral 공진기 (b) Hair-pin 공진기  
 Fig. 3. Compare measured (a) Square multiple spiral resonator, (b) Hair-pin resonator.

증가하는 것을 볼 수 있다. Q값이 커질수록 파형이 좁고 날카롭게 나타나기 때문에 전압 제어 발진기의 위상잡음을 줄일 수 있다.

그림 2는 제안한 사각 병렬 spiral 공진기를 나타내었다. 사각 병렬 spiral 공진기 구조는 라인의 길이, 라인과 라인의 간격과 각 단위 셀의 간격을 조정하여 주파수를 조절하게 설계되었다. 제안된 사각 병렬 spiral 공진기와 일반적인 Spiral 공진기를 비교 하였을 때 공진기의 특성은 각각 -57.6 dB, -32.7 dB 이다.

그림 3은 제안된 사각 병렬 spiral 공진기의 측정결과이다. 공진기의 설계는 HP사의 Advanced Design System (ADS) simulation tool 과 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 설계 및 모의실험을 하였으며 그 결과를 바탕으로 10 GHz대역에서 발진하게 설계하였다. 그림 3에서는 X-대역에서의 다른 구조의 공진기의 측정결과를

비교하였다. 제안된 사각 병렬 spiral 공진기와 헤어핀 공진기의 특성은 각각 -57.6 dB, -30 dB 이다. 측정주파수에서 차이가 있지만 그림 3에서 볼 수 있듯이 제안된 구조의 공진기가 좁은 주파수 대역의 여파특성이 더 나은 것을 확인 할 수 있었다. 그 결과 제안된 사각 병렬 spiral 공진기에서 높은 Q값의 특성을 가지는 것을 알 수 있었다.

### III. 측정 및 결과

마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기의 설계를 바탕으로 전압 제어 발진기를 설계 및 제작하여 측정·분석 하였다. 유전율 3.2인 테프론 기판을 사용하여 제작되었다. 전압 제어 발진기에 사용한 트랜지스터는 NEC사의 NE661M04, 버랙터 다이오드는 M/A-COM의 MA46H202를 사용하였다.

전압 제어 발진기는 설계한 공진기를 연결하고 인덕터, 마이크로스트립라인과 주파수를 변화 시킬 수 있는 인덕터를 연결하여 부성저항을 설계하고 마이크로 스트립라인을 통해 출력 정합 회로를 설계하였다. 그림 4는 제안한 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 전압 제어 발진기이다. Q값이 높은 공진기로 인하여 버랙터 다이오드의 가변 주파수가 좁아지는 현상을 방지하기 위하여 버랙터 다이오드를 연결하여 가변 주파수 범위를 일반적인 구조와 비슷하게 하였다. 전압 제어 발진기의 주파수 조절 범위는 9.983~10.572 GHz이고 위상 잡음 특성은 이 주파수 조절 범위에서 -115.0 ~ -117.34 dBc/Hz @ 100 kHz 이다. 출력 파워는 8.33 dBm, 고조파 특성은 -24.84 dBc에 55.4 %의 효율을 나타내었다. 제안한 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 전압 제어 발진기를 설계한 목적이 공진기의 Q값이 상승

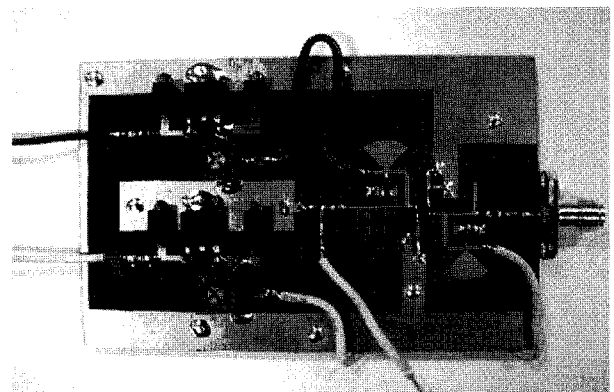
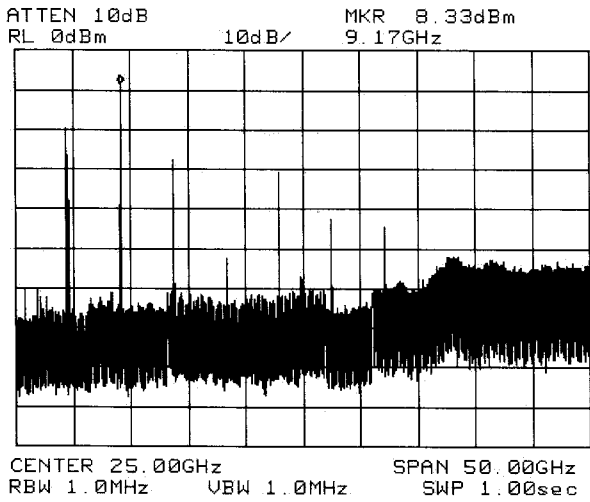
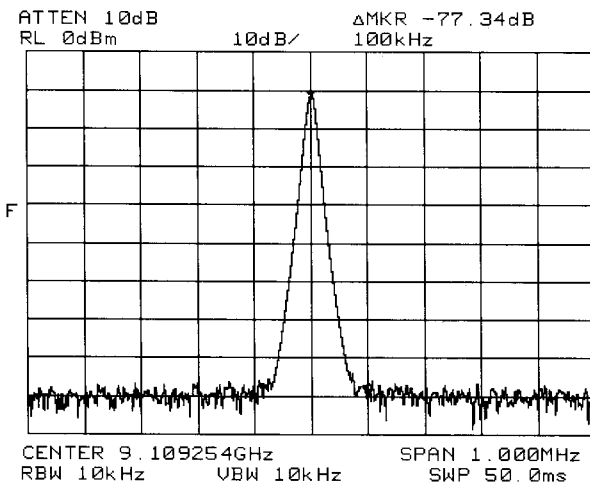


그림 4. 제안된 전압 제어 발진기의 제작  
 Fig. 4. Fabrication of the proposed VCO.



(a)



(b)

그림 4. 제안된 전압 제어 발진기의 동작 특성.  
(a) 위상잡음, (b) 출력 전력

Fig. 4. (a) Output power, (b) phase noise of the proposed VCO.

표 1. 전압 제어 발진기 특성  
Table 1. VCO performance.

	Units	Simulation	VCO using Dual Coupled Spiral Resonator
Oscillation Frequency	GHz	X-대역	X-대역
Output Power	dBm	10	8.33
Harmonics	dBc	-28.83	-24.84
Phase Noise	dBc/Hz @100kHz	-120.16	-117.3

함에 따라 위상잡음이 감소하는 것을 증명하기 위한 것이었으므로 일반적인 마이크로스트립라인을 이용한 전압 제어 발진기의 위상 잡음 특성과 비교해 보았을 때 제안한 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 전압 제어 발진기가 일반 마이크로스트립라인을 이용한 구조 보다 위상 잡음이 -8 dB 정도 개선 효과를 볼 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문은 전압 제어 발진기의 위상 잡음 특성을 개선하기 위하여 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 향상된 전압 제어 발진기를 설계 제작 하였다. 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기를 이용한 X-대역 전압 제어 발진기의 발진 주파수를 조절하기 위하여 버랙터 다이오드를 이용하여 조절 하였다. 발진 주파수, 고조파 특성, 출력 전력은 각각 9.109 GHz, -24.84 dBc, 8.33 dBm이다. 제안된 전압 제어 발진기는 가변 부성 저항에 의하여 9.033~9.121 GHz의 주파수 조절 범위를 갖는다. 이 주파수 조절 범위에서 spiral 사이의 커플링에 의해 커패시턴스의 특성을 가지며, 마이크로스트립 사각 병렬 spiral 공진기의 구조에 의하여 -115.0~-117.34 dBc/Hz @ 100 kHz의 위상 잡음 특성을 갖는다.

#### 참 고 문 헌

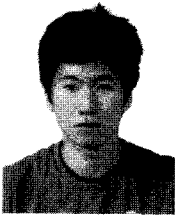
- [1] F. J. Schmuckle, "The method of lines for the analysis of rectangular spiral inductors", IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech, Volume 41, Issue 6, June/July 1993.
- [2] C. D. Broomfield J. K. A. Everard, "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers", 2000 IEEE International Frequency Control Symposium, City, Jun, 2000.
- [3] Kai Chang Encyclopedia of RF and Microwave Engineering, Wiley-Interscience, 2005.
- [4] D. B. Lesson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", in pro. IEEE, vol. 54, no. 2, pp. 426-434, Feb. 1966..
- [5] Zunfu Jiang, P. S. Excell, and Z. M. Hejazi, "Calculation of distributed capacitance of spiral resonators", IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech, vol. 45, no 1, Jan. 1997.
- [6] Ali Hajimiri, "The design of Low Noise Oscillators" Kluwer Academics Publishers. 1996
- [7] Robert G. Rogers, "Low Phase Noise Microwave

Oscillator Design” Artech House. 1991.

- [8] J. Choi and C. S.대. “Low phase noise VCO using microstrip square open loop multiple split ring resonator, in IEEE MTT-S Int. Microw, Symp. Dig. Jun. 2008, pp. 1469-1472.
- [9] G. Sauvage, “Phase noise in oscillators: A mathematical analysis of leeson’s model” IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, pp. 408-410, December 1977.

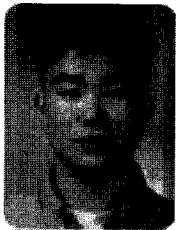
---

저 자 소 개



김 양 현(정회원)  
2008년 백석대학교 정보통신  
공학과 학사 졸업.  
2008년 3월~현재 숭실대학교  
전자공학과 석사과정  
<주관심분야 :Radar System, 안  
테나, 전자전, MMIC>

서 철 헌(정회원)  
대한전자공학회논문지 vol. 31, no. 6 참조



하 성 재(정회원)  
2006년 광운대학교 박사 졸업.  
2006년 3월~현재 삼성탈레스  
종합연구소 전문 연구원  
<주관심분야 :Radar System,  
High power SSPA, TRM>



이 복 형(정회원)  
2006년 동국대학교 전자공학과  
박사 졸업.  
2006년 3월~현재 삼성탈레스  
종합연구소 전문 연구원  
<주관심분야 :Radar System, RF  
송수신기, MMIC회로>