

## 평면형 구조의 분리형 링 공진기를 이용한 전압제어 발진기 구현

김기래\*

### Implementation of Voltage Controlled Oscillator Using Planar Structure Split Ring Resonator (SRR)

Gi-Rae Kim\*

Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

#### 요 약

평면형 마이크로스트립 공진기를 이용한 고주파 발진기의 단점인 위상잡음 특성을 개선하기 위해 본 논문에서는 분리형 링 공진기를 제안하였다. 제안된 공진기를 이용하여 위상잡음 특성 개선 효과를 나타내기 위해 발진기를 설계하여, 5.8GHz 기본 주파수에서 7.22dBm의 출력과 -83.5 dBc@100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 이것은  $\lambda/4$  마이크로스트립 공진기를 이용한 발진기와 비교하여 위상잡음 특성이 9.7dB 정도 개선되었다. 다음은 제안된 공진기에 버랙터다이오드를 추가하여 전압제어발진기를 구현하였다. 발진기의 특성은 최소 5.833 GHz에서 최대 5.845 GHz 까지 125 MHz 정도의 튜닝범위를 가지고, -118~-115.5 dBc/Hz@100 KHz의 위상잡음 특성을 갖는다. 본 논문의 발진기는 평면형 구조로 쉬운 작업공정과 소형화 특성 때문에 MIC 또는 MMIC 분야의 설계에 응용될 수 있을 것이다.

#### ABSTRACT

In this paper, a novel split ring resonator is proposed for improvement of phase noise characteristics that is weak point of oscillator using planar type microstrip line resonator. Oscillator using proposed split ring resonator is designed, it has improved phase noise characteristics. At the fundamental frequency of 5.8GHz, 7.22dBm output power and -83.5 dBc@100kHz phase noise have been measured for oscillator with split ring resonator. The phase noise characteristics of oscillator is improved about 9.7dB compared to one using the general  $\lambda/4$  microstrip resonator. Next, we designed voltage controlled oscillator using proposed split ring resonator with varactor diode. The VCO has 125MHz tuning range from 5.833GHz to 5.845GHz, and phase noise characteristic is -118~-115.5 dBc/Hz@100 KHz. Due to its simple fabrication process and planar type, it is expected that the technique in this paper can be widely used for low phase noise oscillators for both MIC and MMIC applications.

**키워드** : 분리형 링 공진기, RF 발진기, 위상잡음, 전압제어발진기, MMIC

**Key word** : Split Ring Resonator(SRR), RF Oscillator, Phase Noise, VCO, MMIC

접수일자 : 2013. 03. 11 심사완료일자 : 2013. 04. 05 게재확정일자 : 2013. 04. 17

\* Corresponding Author Gi-Rae Kim (E-mail: grkim@silla.ac.kr, Tel: +82-051-999-5697)

Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1538>

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

마이크로파 통신의 핵심 부품 중의 하나인 발진기는 시스템에서 가장 기본적이고 필수적인 부품으로써 시스템의 국부발진기로 사용되어 시스템의 효율과 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 소자이다. 발진기의 위상 잡음 특성은 시스템의 감도와 선택도를 결정하는 중요한 요소로서 이를 개선하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다[1,2]. 발진기에서 주파수를 선택하는 공진기의 주파수 집중도를 의미하는 Q값이 발진기의 위상 잡음에 중요한 영향을 미치는 요소가 되었다[3]. 초고주파 발진기의 발진 주파수를 결정하는 소자에 대한 연구가 높은 Q값과 공진기의 크기를 줄이는 관점에서 캐비티 공진기, 마이크로스트립 공진기, 유전체 공진기 분야로 나누어져 이루어졌다. 캐비티 공진기는 Q값이 크고 제작이 용이한 장점이 있지만 부피가 크고 무겁기 때문에 집적화가 곤란한 단점을 가지고 있고 마이크로스트립 공진기는 평면구조로 소형이고 회로 구현이 용이하지만 낮은 Q값으로 인해 발진기의 위상잡음 특성이 나쁜 단점을 가지고 있다. 유전체 공진기는 회로 구현이 용이하고 높은 Q값, 소형화, 온도 안정화 특성이 우수한 장점을 가지고 있지만 구조가 3차원으로 되어 있기 때문에 MMIC에 부적합한 단점이 있다[4]. 본 논문에서는 특정 주파수에서 대역저지 특성을 갖는 분리형 링 공진기(SRR, Split Ring Resonator)를 이용해 MMIC에 부적합한 유전체 공진기의 단점과 낮은 Q값으로 인해 발진기의 위상잡음이 떨어지는 평면형 마이크로스트립 공진기의 단점을 보완하여 발진기의 위상잡음 특성을 개선하는 연구를 하였다. 본 논문에서는 평면 구조로 대역저지 특성을 갖는 새로운 형태의 SRR을 제안하고, 제안된 공진기의 성능 평가를 위해 발진기의 공진부에 삽입하여 발진기를 설계하였다. 또한 공진기의 분리갭에 버랙터다이오드를 추가하여 전압제어 발진기를 설계 구현하였다.

## II. 분리형 링 공진기 (SRR)

SRR은 그림 1과 같이 사각형과 원형 구조를 생각할 수 있으며, 이것은 마이크로스트립 사각 개방 루프 구조와 자계적으로 결합하여 높은 주파수 선택도를 얻을

수 있고[5], 이러한 높은 주파수 선택도를 통하여 저위상 잡음 특성을 갖는 발진기 설계를 할 수 있다. 이는 두 구조의 결합을 통해 다른 구조의 공진기들 보다 더 높은 결합 계수 때문에 더 큰 Q값을 얻을 수 있다는 사실을 이용한 것이다[6].

그림 2는 SRR의 등가회로를 나타낸다. 이와 같은 공진기는 다른 마이크로 스트립 공진기에 비해 Q 특성이 양호하고, 사이즈가 적기 때문에 회로의 소형화 설계가 가능한 장점이 있다. 식(1)에서 식(5)까지는 SRR 공진기의 삽입 손실을 나타내는 식이다[7].

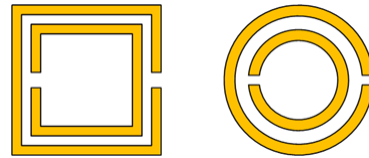


그림 1. 분리형 링 공진기 셀 (SRR 셀)  
Fig. 1 Split Ring Resonator Cell

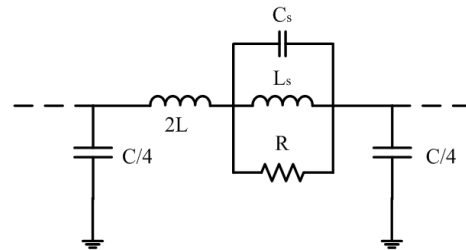


그림 2. SRR의 등가회로  
Fig. 2 Equivalent Circuit of SRR

$$IL = 10 \log \left[ 1 + \frac{1 + 4R}{4R^2 + 4Q_u^2 R^2 \left[ \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right]^2} \right] dB \quad (1)$$

$$Band\ Width|_{3dB} = \omega_0 \sqrt{\frac{1 + 4R - 4R^2}{4Q_u^2 R^2}} \quad (2)$$

$$\frac{\omega_0}{\Delta_{3dB}} = \frac{Q_u}{2} \quad (3)$$

$$\frac{2}{Q_u} = \sqrt{\frac{1 + 4R - 4R^2}{4Q_u^2 R^2}} \quad (4)$$

$$IL = 10 \log \left[ 1 + \frac{1+4R}{4R^2} \right] \quad (5)$$

그림 3은 제안된 SRR의 구조를 보여준다. 제안된 SRR의 크기는 표1에 각각 나타내었다. 이러한 크기는 1셀의 SRR구조부터 2셀의 SRR 구조까지 동일한 크기를 가진다. 제안된 SRR의 구조는 비유전율 2.2, 유전체 두께 0.7874mm, 금속 두께 0.018mm인 기판을 기준으로 Ansoft사의 HFSS 도구를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

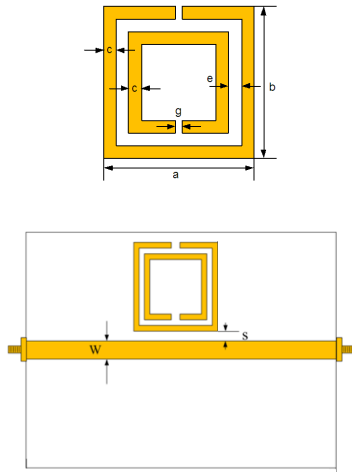
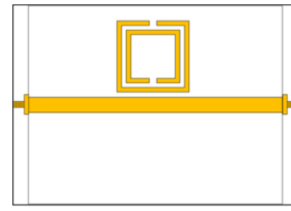


그림 3. 제안된 SRR의 구조  
Fig. 3 Structure of Proposed SRR

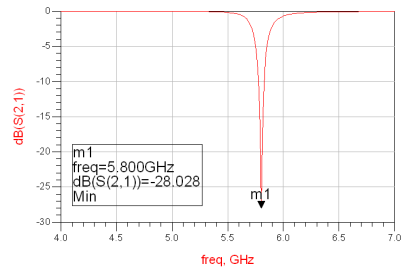
표 1. 제안된 SRR 공진기의 크기  
Table. 1 Dimension of Proposed SRR

a	11 (mm)
b	11 (mm)
c	1 (mm)
e	1 (mm)
g	1 (mm)
s	0.3 (mm)
w	2.3 (mm)

그림 4는 하나의 셀을 가지는 SRR 구조를 나타내고 있으며 크기는 표1에서 제시한 것과 동일하다. 그림 5은 2셀 구조의 SRR 구조의 SRR을 구조와 특성을 보여준다.



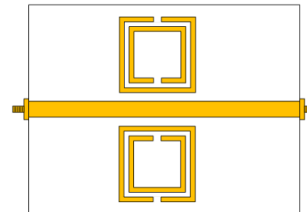
(a)



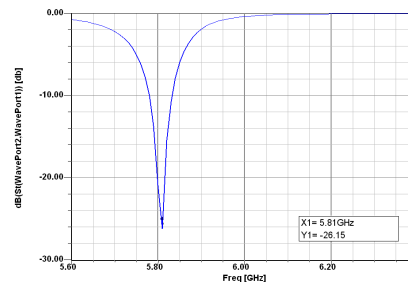
(b)

그림 4. 1셀 SRR의 전송특성 (a) 1셀 SRR 구조 (b) 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Characteristic of one cell SRR (a) one cell SRR (b) Simulation Result



(a)



(b)

그림 5. 2셀 SRR의 전송특성 (a) 2셀 SRR 구조 (b) 시뮬레이션 결과

Fig. 5 Characteristic of two cell SRR (a) two cell SRR (b) Simulation Result

그림 6(a)는 1셀 SRR 구조에 커패시터를 추가한 구조를 보여주고 있다. HFSS를 사용하여 시뮬레이션 하였으며 특성 결과는 그림 6(b)에 나타내었다. 그림 6(b)에서 나타낸 바와 같이 커패시터의 값이 커질수록 공진 주파수는 낮아지는 방향으로 변함을 확인할 수 있다.

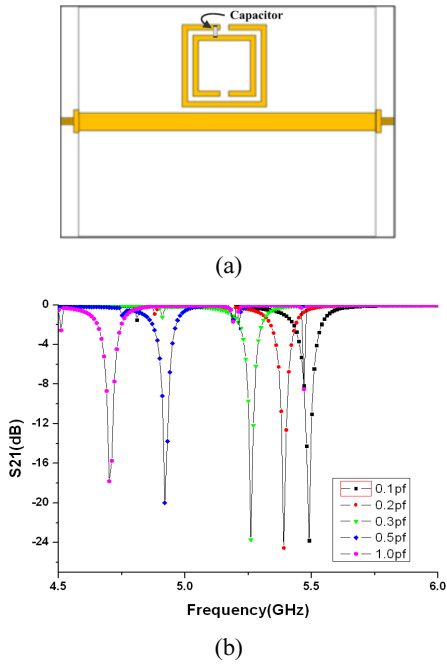


그림 6. (a) 1셀 SRR 구조에 커패시터를 결합 (b) 1셀 SRR에서 커패시터의 영향  
 Fig. 6 (a) One cell SRR with Capacitor (b) Effect of Capacitor for SRR

### III. 발진기의 설계

본 논문에서는 제안된 평면형 SRR 공진기를 이용하여 발진기를 설계 하였으며, 발진기 설계를 위해 목적에 맞는 트랜지스터를 선정하고 제공된 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 통하여 사용하고자 하는 목적에 맞는 지 확인한다. 직류 해석 시뮬레이션을 통해 바이어스 조건에 따라 동작점을 선정하고, 목표로 하는 발진 주파수에 맞도록 바이어스 회로를 설계한다. 다음은 조건에 맞는 공진기를 설계하고 발진기의 구조를 선택하고 설계한다. 발진기 구조와 트랜지스터 특성으로부터 정

합회로를 설계한다. 출력 정합회로는 발진 주파수와 출력 전력, 고조파 특성 등을 고려하여 설계한다.

#### 3.1. 발진기의 구조

그림 7은  $\lambda/4$  마이크로스트립 선로 공진기를 이용한 발진기의 기본 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 그림 7의 기본 구조에서 발진기의 위상잡음 특성을 개선하고 길이를 단축하기 위해 그림 8과 같이 SRR 공진기를 이용하여 발진기를 설계하였다. 이 회로구조에서 FET의 게이트 단을 바라본 반사계수가 최소가 되도록  $L_1$ 을 최적화하고, 공진기의 결합선로 길이  $L_2$ 를 조절함으로써 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 부성저항 대역폭을 충분히 넓게 설계하였다. 발진기를 설계하기 위해서는 잠재적 불안정 영역을 가질 수 있는 트랜지스터를 선택해야 한다. 본 논문에서는 Agilent사의 ATF 13786을 선정하였다.

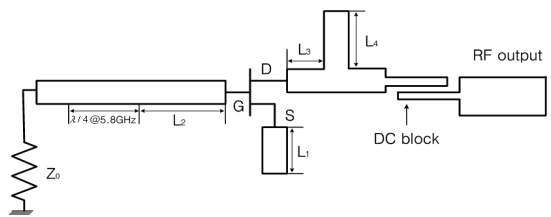


그림 7.  $\lambda/4$  마이크로스트립 발진기의 기본 구조  
 Fig. 7 Structure of  $\lambda/4$  Microstrip Resonator

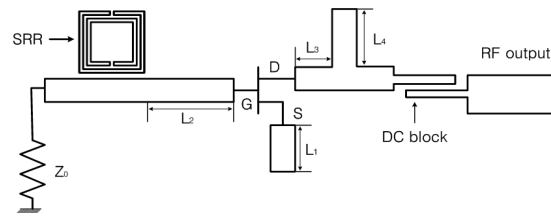


그림 8. SRR 발진기의 구조  
 Fig. 8 Structure of SRR

#### 3.2. 발진기 제작 및 결과

그림 9는 설계된 링형 DSG 공진기를 이용한 발진기의 구조를 나타내며, 그림 10은 제작한 발진기의 샘플 사진을 나타내고 있다. 제작한 링형 DGS 구조의 측정 결과는 그림 11에 나타내었으며, 제작한 링형 DGS 발진기의 출력은 5.8 GHz에서 +7.22dBm의 결과를 가진다.

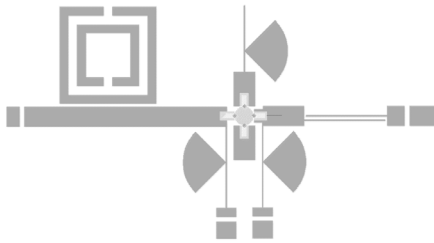


그림 9. 설계된 발진기 구조  
Fig. 9 Designed Oscillator Structure

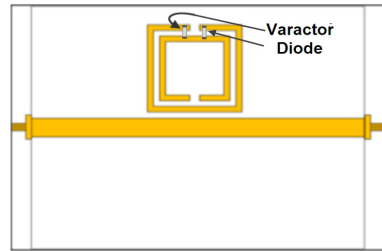


그림 12. 공진기에 버랙터 다이오드를 삽입한 구조  
Fig. 12 Resonator with Varactor Diode

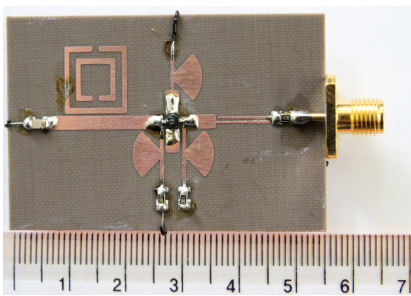


그림 10. 제작된 발진기 사진 (Top Side)  
Fig. 10 Photograph of Fabricated Oscillator

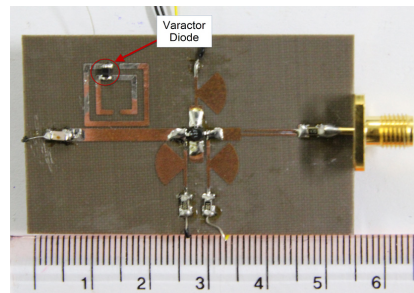


그림 13. 제작한 전압제어 발진기 사진  
Fig. 13 Fabricated Voltage Controlled Oscillator

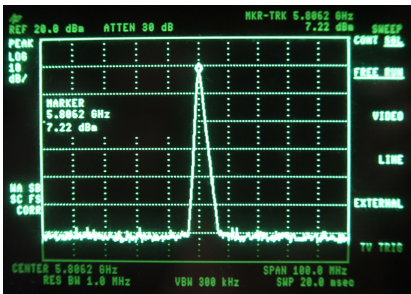
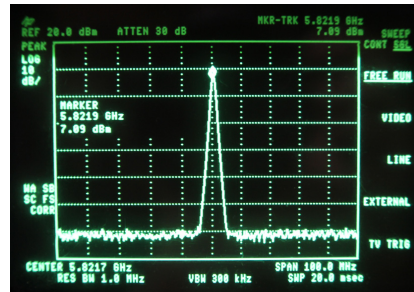
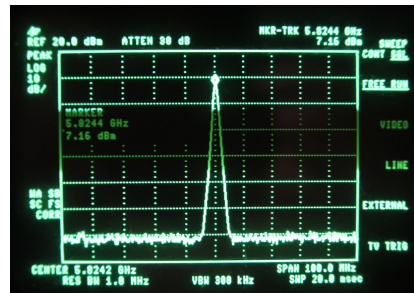


그림 11. 발진기 출력 측정 결과  
Fig. 11 Test Result of Designed Oscillator



(a)



(b)

그림 14. SRR 구조를 이용한 VCO 결과 (a) 0V (b) 5V  
Fig. 14 Measured Results of VCO (a) 0V (b) 5V

#### IV. 전압제어 발진기의 제작

제작된 SRR 구조를 이용한 발진기에 버랙터 다이오드를 추가하여 전압제어 발진기(VCO)를 제작하고 측정하였다. 앞에서 제작한 발진기에 SKY- WORKS사의 버랙터 다이오드 SMV1233 모델을 추가하여 전압제어 발진기(VCO)를 제작하고 측정하였다.

그림 12는 SRR 공진기에 버랙터 다이오드를 삽입한 구조를 나타내었다. 그림 12의 구조에 버랙터 다이오드를 삽입하여 버랙터 다이오드에 전압을 인가하여 인가한 전압에 따라 발진기의 발진 주파수가 변하게 된다. 그림 13은 실제 제작한 SRR 발진기에 버랙터 다이오드를 삽입한 사진이다. 그림 14는 바이어스 전압에 따른 발진 결과 중에서 0V, 5V에 대해 사진을 나타내었다. 버랙터 다이오드의 바이어스 전압에 따른 발진 주파수의 결과는 삽입한 버랙터 다이오드가 1개일 때와 2개일 때에 대해 각각 그림 15에 그래프로 나타내었다.

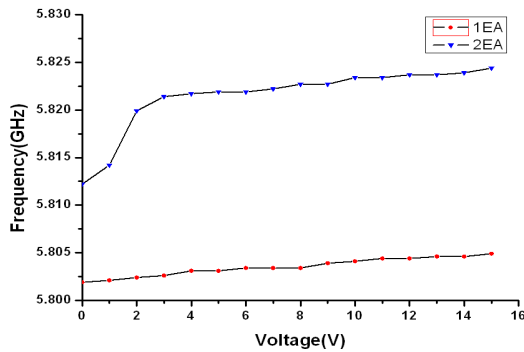


그림 15. 전압에 따른 VCO 결과 그래프  
Fig. 15 Graph of VCO characteristics for Bias Voltage

## V. 결 론

논문에서는 공진부에 링형 DGS 구조를 사용하여 전압제어발진기를 설계하였다. 5.86 GHz에서 +6 dBm의 출력을 갖는 링형 DGS 발진기에 버랙터 다이오드를 삽입하여 전압제어발진기를 설계하였다. 제어전압을 0~5V 까지 바이어스 했을 때 출력주파수는 최소 5.833 GHz에서 최대 5.845 GHz 까지 125 MHz 정도의 튜닝

범위를 가진다. 제작된 발진기는 -118~-115.5 dBc/Hz @100 KHz의 위상잡음 특성을 갖는다. 본 연구에서 제안한 두 종류의 전압제어 발진기는 MMIC 기술을 적용하여 소형화하게 되면, VCO의 주파수 가변대역폭이 넓기 때문에 5.8 GHz대역 ISM 통신시스템에서 PLL 회로에 응용될 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Moon-Que Lee, Keun-Kwan Ryu, and In-Bok Yom, "Phase Noise Reduction of Microwave HEMT Oscillators Using a Dielectric Resonator Coupled by a High Impedance Inverter", *ETRI J.*, vol.23, no. 4, pp.199- 201, Dec. 2001.
- [2] K. Hosoya, S. Tanaka, Y. Amamiya, and K. Jonjo, "A low phase noise 38 GHz HBT MMIC oscillator utilizing a novel transmission line resonator", in *2000 IEEE MTT-S Dig.* pp.47 -50, 2000.
- [3] A. A. Oliner, "A periodic-structure negative-refractive index medium without resonant elements," in *Proc. USNC/URSI Nat. Radio Sci. Meeting*, pp. 41, San Antonio, TX, 2002.
- [4] E. Holtzman, *Solid State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, 1992
- [5] D. Ahn, C. S. Kim, and J. S. Park, "Effect of a Lumped Element on Defected Ground Structure," *EUMC*, Vol. 2, pp.75-78, 2000.
- [6] Tangyao Xie, Girae Kim, Youngkyu Choi, "A Study on the Novel Rectangular Split Ring Notch Resonators", *International Journal of Information and Communication Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 365-369, 2010.
- [7] Gi-Rae Kim, "Design of Coupled Resonators Bandpass Filter With Defected Ground Structure", *International Journal of Information and Communication Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 150-154, 2011.



김기래(Gi-Rae Kim)

종신회원  
신라대학교 전자공학과 교수  
한국정보통신학회 논문지 제17권 제2호 참조