
마이크로스트립 분리형 링 공진기를 이용한 RF 발진기 구현

김기래*

Implementation of RF Oscillator Using Microstrip Split Ring Resonator (SRR)

Girae Kim*

요 약

평면형 마이크로스트립 공진기를 이용한 고주파 발진기의 단점인 위상잡음 특성을 개선하기 위해 본 논문에서는 분리형 링 공진기를 제안하고, 이것을 이용하여 위상잡음 특성이 개선된 5.8GHz 대역의 발진기를 설계, 구현하였다. 발진기의 특성은 5.8GHz 기본 주파수에서 7.22dBm의 출력과 -83.5 dBc@100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 이것은 $\lambda/4$ 마이크로스트립 공진기를 이용한 것보다 위상잡음 특성이 9.7dB 정도 개선되었다. 제안된 공진기의 구조적 장점은 공진기의 갭 사이에 버랙터 다이오드 실장이 용이하여 전압으로 공진기의 발진주파수를 가변할 수 있기 때문에 VCO의 설계가 가능하다. 본 논문의 발진기는 평면형 구조로 쉬운 작업공정과 소형화 특성 때문에 MIC 또는 MMIC 분야의 발진기 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, and oscillator for 5.8GHz band is designed using proposed split ring resonator. 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. Because it is possible that varactor diode or lumped capacitor is placed on the gaps of split ring resonator, resonant frequency can be controlled by bias voltage. We can design voltage controlled oscillator using proposed split ring resonator. Thus, 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, MMIC

Key word

Split Ring Resonator(SRR), RF Oscillator, Phase Noise, MMIC

* 종신회원 : 신라대학교 (grkim@silla.ac.kr)

접수일자 : 2012. 09. 11

심사완료일자 : 2012. 10. 09

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 부파가 크고 무겁기 때문에 집적화가 곤란한 단점을 가지고 있고 마이크로스트립 공진기는 평면구조로 소형이고 회로 구현이 용이하지만 낮은 Q값으로 인해 발진기의 위상잡음 특성이 나쁘다는 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 설계, 제작하였다.

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 구조

의 결합을 통해 다른 구조의 공진기들 보다 더 높은 결합 계수 때문에 더 큰 Q값을 얻을 수 있다는 사실을 이용한 것이다[6].

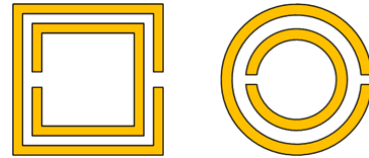


그림 1. 분리형 링 공진기 셀(SRR 셀)
Fig. 1 Split Ring Resonator Cell

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].

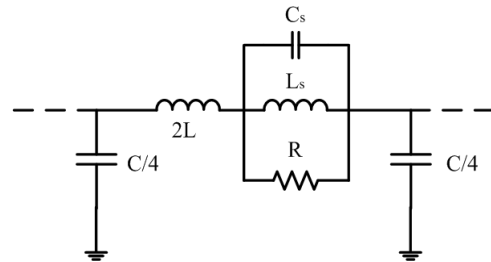


그림 2. SRR의 등가회로
Fig. 2 Equivalent Circuit of SRR

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

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

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

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

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

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.

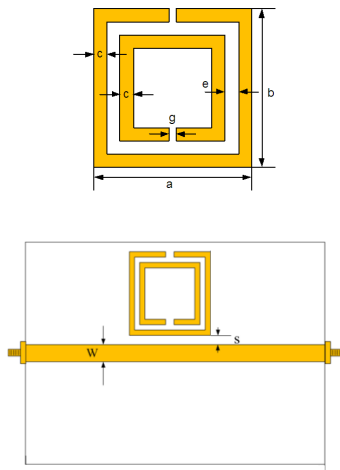


그림 3. 제안된 SRR의 구조
Fig. 3 Structure of Proposed SRR

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

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)

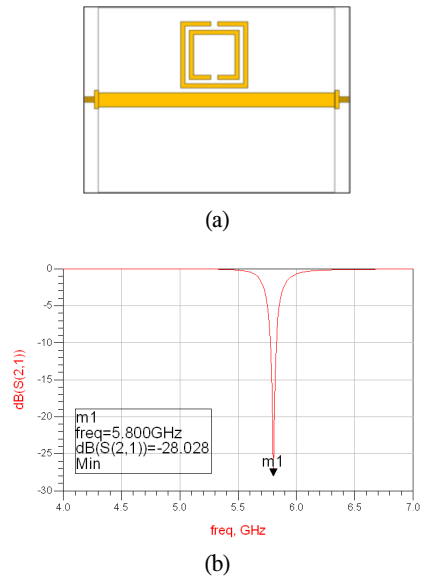


그림 4. 1셀 SRR의 전송특성
(a) 1셀 SRR 구조 (b) 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Characteristic of one cell SRR
(a) one cell SRR (b) Simulation Result

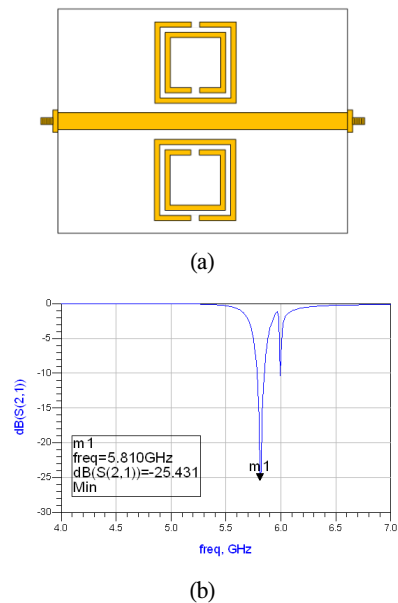


그림 5. 2셀 SRR의 전송특성
(a) 2셀 SRR 구조 (b) 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Characteristic of two cell SRR
(a) two cell SRR (b) Simulation Result

III. 발진기의 설계

본 논문에서는 제안된 평면형 SRR 공진기를 이용하여 발진기를 설계 하였으며, 설계과정은 그림 6과 같은 순서로 진행되었다.

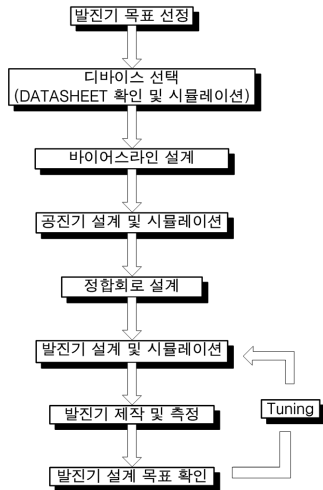


그림 6. 발진기 설계 과정
Fig. 6 Design Procedure of Oscillator

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 정합회로를 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 최

적화하고, 공진기의 결합선로 길이 L_2 를 조절함으로써 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 부정저항 대역폭을 충분히 넓게 설계하였다.

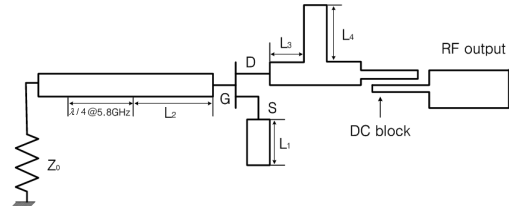


그림 7. $\lambda/4$ 마이크로스트립 발진기의 기본 구조
Fig. 7 Structure of $\lambda/4$ Microstrip Resonator

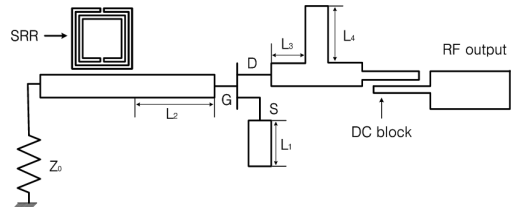


그림 8. SRR 발진기의 구조
Fig. 8 Structure of SRR

3.2. 소자 및 바이어스 회로 설계

발진기를 설계 하기위해서는 잠재적 불안정 영역을 가질 수 있는 트랜지스터를 선택해야 한다. 본 논문에서는 Agilent사의 ATF 13786을 선정하였다. 선정된 트랜지스터의 정상적인 동작을 위해 트랜지스터에 적절한 바이어스를 주는 과정은 매우 중요하다.

바이어스 회로의 구현에는 그림 9에서와 같은 여러 가지 방법들이 있는데, 대표적인 그림 9(b)의 구조를 선택하여 설계한 구조에 대해 시뮬레이션한 특성을 그림 10에 나타내었다.

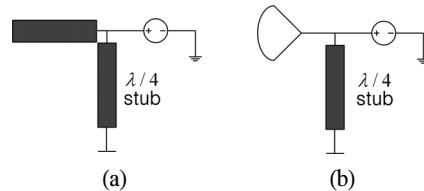


그림 9. 발진기의 바이어스 회로
(a) termination-stub (b) termination-radial stub
Fig. 9 Bias Circuits of Oscillator
(a) termination-stub (b) termination-radial stub

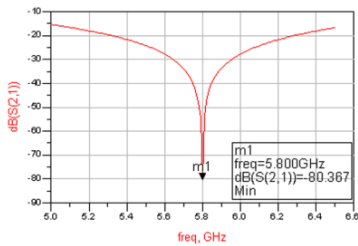


그림 10. 설계된 바이어스 회로의 특성
Fig. 10 Characteristic of Bias Circuit

3.3. 발진가능성 조사

RF에서 설계된 발진기를 동작시키기 위해서는 능동 소자에 적절한 DC 전압을 공급해야 하는데, 이러한 DC 공급회로는 설계된 RF 정합회로에 최소의 영향을 주어야 할 것이다. 또한 영향이 있을 경우 이를 포함 새로이 정합회로를 재구성하게 될 것이다.

DC 공급을 위해 삽입된 소자를 포함하는 정합회로를 설계하기 위해서는 DC 블록과 RFC가 필요하게 되는데, 보통의 칩 커패시터의 경우 칩 커패시터에 기생하는 인덕터로 인해, 현재 설계주파수 영역에서는 DC 블록으로 사용하기 어렵다. 따라서 보통 그림 11과 같이 결합전송선을 이용한 DC 블록을 사용하게 된다. 그러나 일반적으로 이와 같은 결합 전송선을 DC 블록의 경우 결합도가 1에 가까워야하기 때문에 이들의 간격은 매우 좁아야 한다. 따라서 이러한 DC 블록은 가끔 까다로운 제작 공정을 요구하게 된다.

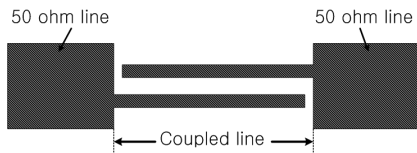


그림 11. 결합전송선을 이용한 DC 블록
Fig. 11 DC Block using Coupled Lines

이것을 설정하는 방법은 그림 11과 같은 결합전송선 선로의 S-파라미터를 계산하여 중심주파수에서 $|S_{21}|$ 의 크기가 1에 가깝도록 하고, 이것의 대역폭이 설계 대역폭 보다 충분히 크도록 폭 길이, 간격 등을 설정해야 할 것이다. 또한 이로 인해 앞에서 설계된 정합회로의 결과치도 다소 변하게 되며, 이의 주파수특성으로 인해 계산된 정합회로의 결과치도 다소 변하게 되며, 이의 주파수

특성으로 인해 계산된 대역폭보다도 좁게 나오게 된다. 그림 12는 DC 블록의 시뮬레이션 결과이다.

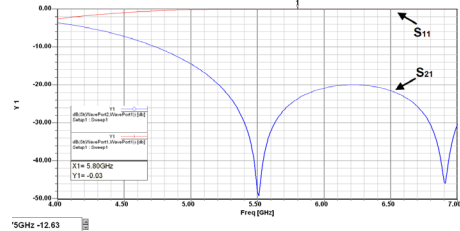


그림 12. DC 블록의 시뮬레이션 결과
Fig. 12 Simulation Result of DC Block

3.4. 발진가능성 조사

그림 13은 소신호에서의 발진가능성을 조사하기 위한 발진기 회로도이며, 그림 14는 이것의 결과를 보여주고 있다. 목표 주파수인 5.8GHz에서 발진이 가능하도록 리액턴스 값을 조정하였고 그림 14의 결과를 보면 5.8GHz에서 발진가능성이 있음을 알 수 있다. 그림 15는 발진기의 대신호 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

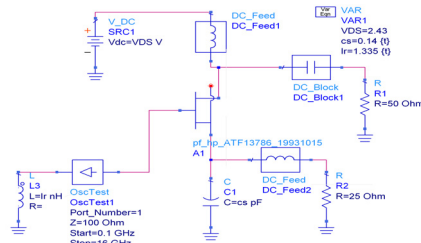


그림 13. 발진 가능성 조사 시뮬레이션
Fig. 13 Simulation for Oscillation

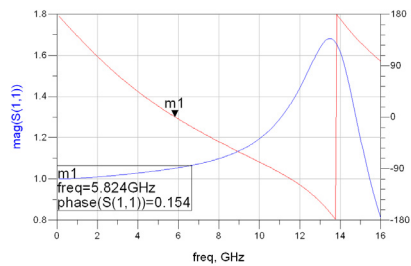
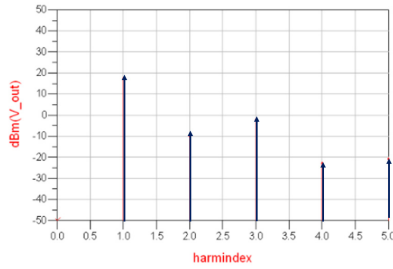


그림 14. 발진 가능성 조사 결과
Fig. 14 Simulation Result for Oscillation



harmindex	freq
0	0.0000 Hz
1	5.795 GHz
2	11.59 GHz
3	17.38 GHz
4	23.18 GHz
5	28.97 GHz

그림 15. 발진기 시뮬레이션 결과
Fig. 15 Simulation Result of Oscillator

IV. 발진기 제작 및 측정

그림 16은 설계된 링형 DSG 공진기를 이용한 발진기의 구조를 나타내며, 그림 17는 제작한 발진기의 샘플 사진을 나타내고 있다. 제작한 링형 DGS 구조의 측정 결과는 그림 18에 나타내었으며, 제작한 링형 DGS 발진기의 출력은 5.8 GHz에서 +7.22dBm의 결과를 가진다.

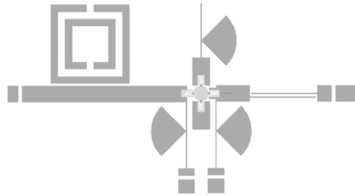


그림 16. 설계된 발진기 구조
Fig. 16 Designed Oscillator Structure

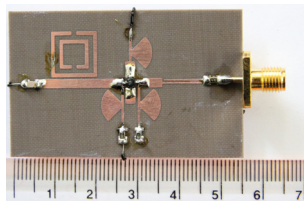


그림 17. 제작된 발진기 사진 (Top Side)
Fig. 17 Photograph of Fabricated Oscillator

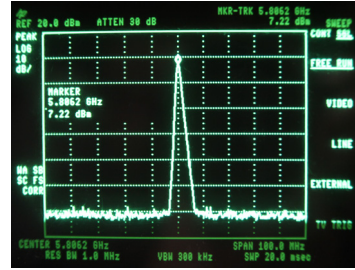


그림 18. 발진기 출력 측정 결과
Fig. 18 Test Result of Designed Oscillator

V. 결 론

본 논문에서는 평면구조에 적용되면서 대역저지 특성을 갖는 DGS를 이용하여 발진기의 위상잡음 감소를 위해 새로운 형태의 사각 분리형 공진기를 제안하였다. 제안된 공진기는 3차원 구조로 MMIC에 부적합한 유전체 공진기의 단점을 보완하면서 발진기의 위상잡음 특성을 개선하기 위해 협대역 공진이 일어나도록 설계하였다. 사각 분리형 공진기를 실제 제작하여 측정된 결과는 공진 주파수가 5.8GHz, 저지대역 특성이 -28.1dB로써 시뮬레이션 결과와 비교해 제작상의오차로 -6dB의 차이를 보였다. 제안된 공진기를 이용하여 그림 14와 같이 발진기를 설계, 제작하였다. 측정 결과, 5.8GHz 기본 주파수에서 7.22dBm의 출력과 -83.5 dBc@100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 이것은 위상잡음 특성에서 일반적인 $\lambda/4$ 마이크로스트립 공진기를 이용한 것보다 9.7dB 정도 개선되었다.

참고문헌

- [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] 박영배, 김기래, “위상특성을 이용한 공진기의 외적 양호도(Qe) 추출 방법”, 한국해양정보통신학회논문지, 제15권 10호, 10, 2011.
 - [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.

저자소개

김기래(Gi-Rae Kim)

한국정보통신학회 논문지
제16권 제12호 참조