

논문 2009-46TC-12-1

# Metamaterial 공진기를 이용한 레이더 송. 수신기용 X-대역 고출력. 저위상 잡음 Push-Push 발진기

( X-band Low Phase Noise Push-Push Oscillator Using Metamaterial Resonator )

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

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

## 요 약

본 논문은 X-대역에서 높은 Q값을 이용하여 위상 잡음을 줄이기 위하여 metamaterial 공진기를 이용한 Push-Push 발진기를 제안하였다. Metamaterial 공진기는 큰 결합 계수 값을 갖는데, 이는 Q값을 크게 만들고, 발진기의 위상 잡음을 줄일 수 있었다. 1.8 V의 공급 전압을 사용한 Push-Push 발진기는 12 GHz의 주파수 범위에서 -117 dBc/Hz @ 100 kHz의 위상 잡음 특성을 가지며, metamaterial 공진기와 일반적인 나선형 공진기를 비교 했을 때, 개선된 Q값 특성은 -29.7 dB와 -47.5 dB이다. 제작된 metamaterial 공진기를 이용한 Push-Push 발진기는 X-대역에서 발진기로 이용될 수 있음을 확인 하였다.

## Abstract

In this paper, low phase noise push-push oscillator (OSC) using the metamaterial resonator for missile defense systems and satellite communication was design and implemented. The metamaterial resonator has the large coupling coefficient value, which makes a high Q value, and has reduced phase noise of OSC. The OSC with 1.8 V power supply has phase noise of -117 dBc/Hz @100 kHz in the 12 GHz. When it has been compared with metamaterial resonator and coventional spiral resonator, the reduced Q value has been -29.7 dB and -47.6 dB respectively. This low phase noise OSC using metamaterial resonator could be available to a OSC in X-band.

**Keywords :** Oscillator, metamaterials, microstrip square multiple spiral resonator, push-push.

## I. 서 론

최근 미사일 방어시스템 개발이 활발히 진행되면서 레이더 송수신기용 발진기의 연구가 증가하고 있다. 이에 따라 고주파 회로의 개발 및 RF시스템의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 RF핵심 부품 중의 하나로 중요성이 커지고 있다. 발진기 설계 시 위상 잡음과 안정도

가 가장 중요한 요소이다. 그 중 위상 잡음은 공진기의 Q값에 영향을 받는다고 알려져 있다<sup>[1]</sup>. 보통 일반적인 마이크로스트립 라인을 이용한 발진기는 낮은 Q값으로 위상 잡음을 줄이는데 제한이 있어 Q값을 높이기 위하여 Metamaterial(LHM) 구조의 나선형 공진기 구조를 적용하였다. 제안된 metamaterial 공진기는 공진기의 구조를 사각형태의 병렬로 나열하여 커플링의 영향을 발생하게 설계하였다. 나선형 공진기는 그 축에 수직한 방향으로 전계가 걸렸을 때 특정 공진 주파수에서 self-resonance 현상이 일어나며, 이것이 대역 저지 특성으로 나타난다. metamaterial 공진기는 날카로운 스킨트 특성에 따른 높은 Q값과 통과 대역에서는 리플이 없고 삽입손실이 매우 낮은 특성을 볼 수 있다.

\* 학생회원, \*\* 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부

(Department of Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

\*\*\* 정회원, 삼성탈레스

(Samsungthales)

접수일자: 2009년12월14일, 수정완료일: 2009년12월15일

또한 설계 방법이 간단하고 명확한 특징을 가지고 있다<sup>[5-6]</sup>. 본 논문은 나선형 구조를 이용하여 좀 더 좋은 특성의 공진기를 구현하여 위상 잡음 특성을 개선하는 연구를 수행하였다. 제안된 사각 병렬 나선형 구조를 통해 일반 나선형 구조 보다 높은 Q값을 얻어 위상 잡음을 줄이는 연구를 하였다. Metamaterial 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 사용되어지는 발진기의 위상 잡음을 줄이는 매우 유용한 방법이다.

본 논문에서는 안정된 발진을 하며, 매우 낮은 위상 잡음 특성을 얻기 위하여 metamaterial 공진기를 이용한 고출력, 저위상 잡음 Push-Push 발진기를 제시 하였다. 또한 구현된 회로는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 최적화 하였으며 최적화된 회로는 유전율  $\epsilon=3.2$ ,  $H=0.787$  mm인 TACONIC사의 기판을 사용하여 구현하여 X-대역에서 사용할 수 있는 발진기를 설계·제작 하였다.

## II. Metamaterial 공진기 설계

제안한 metamaterial 공진기는 마이크로파 분야에서 LH 전파 현상에 실제적으로 응용되는 LHM구조에 기반을 두고 있다. 그림 1은 마이크로스트립 전송 선로에 의해 구현된 나선형 공진기의 형태를 나타내었으며, 나선형 공진기를 LC 공진 등가 회로 모델을 통해 해석할 수가 있다. 그림 1(a)는 나선형 공진기의 모양으로 기판위에 나선형 모양을 에칭한 형태를 나타내었다. 이것은 나선형 선로에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 가해지면, 나선형 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.

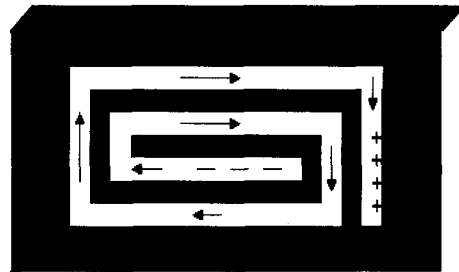
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_T C_T}} \quad (1)$$

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

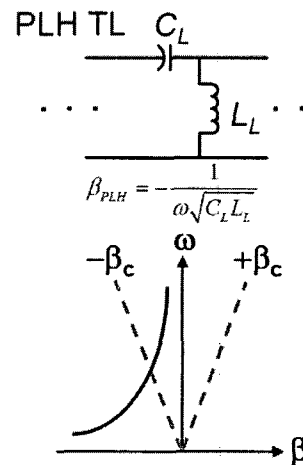
식 (1)에서  $C_T$ 는 분산 커패시턴스와 가장자리 커패시턴스의 합이며,  $L_T$ 는 상호 인덕턴스와 분산 인덕턴스의 합이다. 식 (2)는 공진기의 Q값을 나타내는 식으로써 저장되는 에너지와 손실되는 에너지의 비에 주파수 개념을 적용한 식이라 할 수 있다.

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

그림 2는 제안한 metamaterial 공진기를 나타내었다. 사각 병렬 나선형 구조는 라인의 길이, 라인과 라인의 간격과 각 단위 셀의 간격을 조정하여 주파수를 조절하



(a)



(b)

그림 1. (a) 나선형 구조 (b) LHM 구조의 등가회로  
Fig. 1. (a) Spiral structure (b) Equivalent circuit.

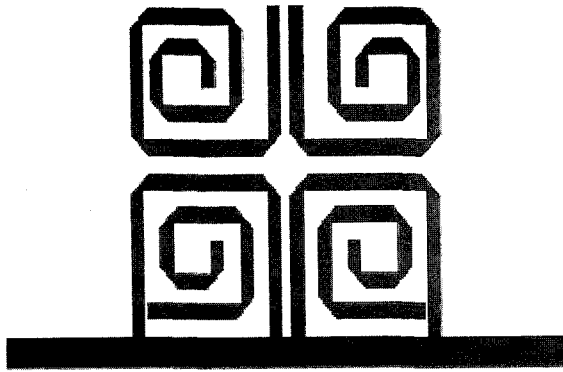


그림 2. metamaterial 공진기 구조  
Fig. 2. Structure of metamaterial resonator.

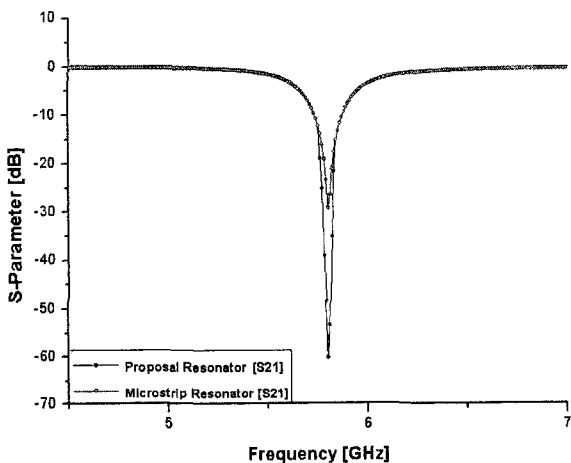


그림 3. 5.8GHz 공진기 결과 비교  
(a) 제안한 공진기 (b) 마이크로스트립 공진기  
Fig. 3. Compare measured  
(a) Proposed resonator, (b) Microstrip resonator.

게 설계되었다.

그림 3은 제안된 metamaterial 공진기의 측정결과이다. 공진기의 설계는 HP사의 Advanced Design System (ADS) simulation tool 과 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 설계 및 모의실험을 하였으며 그 결과를 바탕으로 5.8 GHz대역에서 발진하게 설계하였다. 그림 3에서는 5.8 GHz에서의 다른 구조의 공진기의 측정결과를 비교하였다. 제안된 metamaterial 공진기와 일반적인 마이크로스트립 공진기를 비교 하였을 때 공진기의 특성은 각각 -47.5 dB, -29.7 dB 이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 제안된 구조의 공진기가 좁은 주파수 대역의 여파특성이 더 나은 것을 확인 할 수 있었다. 그 결과 제안된 metamaterial 공진기에서 높은 Q값의 특성을 가지는 것을 알 수 있었다.

### III. 측정 및 결과

Metamaterial 공진기의 설계를 바탕으로 Push-Push 발진기를 설계 및 제작하여 측정·분석 하였다. 유전을 3.2인 테프론 기판을 사용하여 제작되었다. Push-Push 발진기에 사용한 트랜지스터는 NEC사의 NE661M04 를 사용하였다.

제한한 고출력, 저위상 잡음 Push-Push 발진기는 설계한 공진기를 연결하고 인덕터, 마이크로스트립라인을 연결하여 부성저항을 설계하고 마이크로 스트립라인을 통해 출력 정합 회로를 설계하였다. 그림 4는 제안한 metamaterial 공진기를 이용한 Push-Push 발진기이다. Q값이 높은 공진기로 인하여 저 위상 잡음의 특성을 얻었으며, 두 개의 발진기를 이용하여 출력 간에 오직 2 차 고조파성분만 결합하여 동작주파수의 절반의 주파수로 이루어져 이로 인해 높은 Q값을 얻을 수 있었다. Push-Push 발진기의 주파수 범위는 12 GHz이고 위상 잡음 특성은 이 주파수 범위에서 117.34 dBc/Hz @ 100 kHz 이다. 출력 파워는 12.17 dBm, 고조파 특성은 -29.13 dBc에 58.7 %의 효율을 나타내었다. 제안한 metamaterial 공진기를 이용한 고출력, 저위상 잡음 Push-Push 발진기를 설계한 목적이 공진기의 Q값이 상승함에 따라 위상잡음이 감소하는 것을 증명하기 위한 것으로 일반적인 마이크로스트립라인을 이용한 발진기의 위상 잡음 특성과 비교해 보았을 때 제안한 나선형 구조의 metamaterial 공진기를 이용한 Push-Push 발진기가 일반 마이크로스트립라인을 이용한 구조 보다 위상 잡음이 -8 dB 정도 개선 효과를 볼 수 있었다.

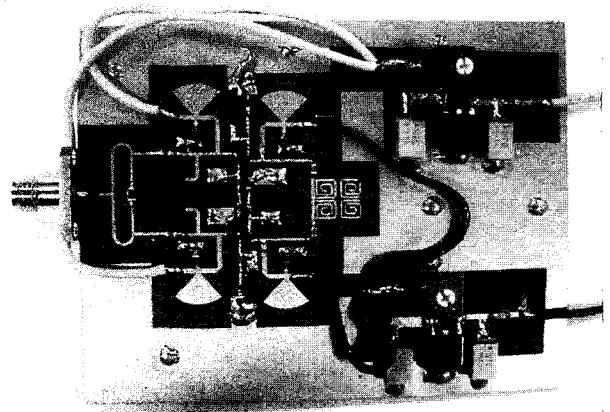
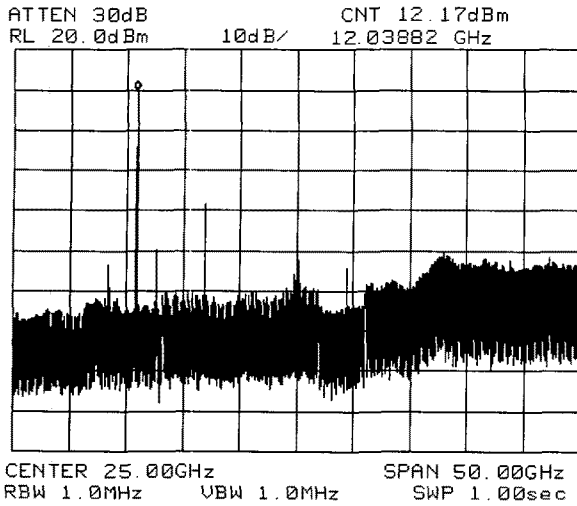
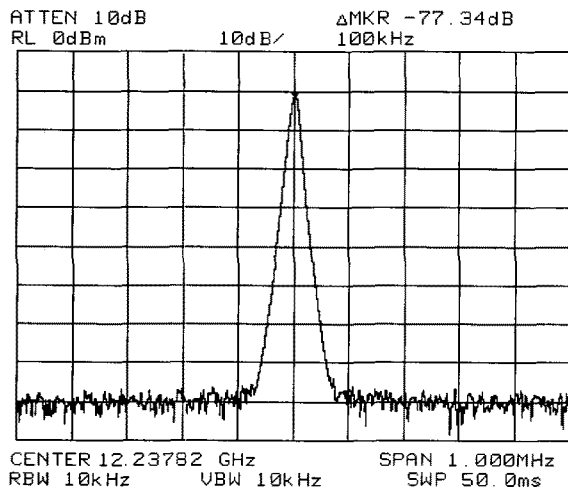


그림 4. 제안된 Push-Push 발진기의 제작  
Fig. 4. Fabrication of the proposed OSC.



(a)



(b)

그림 4. 제안된 Push-Push 발진기의 동작 특성  
(a) 위상잡음, (b) 출력 전력

Fig. 4. (a) Output power, (b) phase noise of the proposed push-push OSC.

표 1. Push-Push 발진기 특성  
Table 1. OSC performance.

	Units	Simulation	Push-Push OSC using Metamaterial Resonator
Oscillation Frequency	GHz	12	12
Output Power	dBm	12.5	12.17
Harmonics	dBc	-28.83	-29.13
Phase Noise	dBc/Hz @100kHz	-121	-117

#### IV. 결 론

본 논문은 Push-Push 발진기의 위상 잡음 특성을 개선하기 위하여 metamaterial 공진기를 이용한 향상된 발진기를 설계 제작 하였다. 나선형 구조 metamaterial 공진기를 이용한 X-대역 push-push 발진기를 제작 하였다. 발진주파수, 고조파 특성, 출력 전력은 각각 12 GHz, -29.13 dBc, 12.17 dBm이다. 이 주파수 조절 범위에서 나선형 구조 사이의 커플링에 의해 커패시턴스의 특성을 가지며, metamaterial 공진기와 push-push 구조에 의하여 -117 dBc/Hz @ 100 kHz의 위상 잡음 특성을 갖는다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. M. Smith, J. C. Canyon, and D. L. Tait, "25 - 42 GHz GaAs heterojunction bipolar transistor low phase noise push-push VCOs," in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., June 1989, pp. 725 --728.
- [2] J. B. Pendry, "Magnetism from Conductors and Enhanced Nonlinear Phenomena", IEEE Trans. MTT, vol. 47, no. 11, Nov. 1999.
- [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] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison Wesley, 1990
- [9] F. Falcone, T. Lopetegi, J. D. Baena, R. Margues, F. Martin, and M. Sorolla, "Effective Negative-ε Stopband Microstrip Lines Based on Complementary Split Ring Resonators," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 14, no. 6, June 2004.

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 현(정회원)  
대한전자공학회 논문지  
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>