

논문 2014-51-2-4

메타구조 기반의 DSRR 구조 공진기를 이용한 Ku 대역 저 위상잡음 발진기

(Design of Ku-band Low Phase Noise Oscillator Using DSRR
Structure Resonator based on Metamaterial)

윤 나 내*, 서 철 현**

(Nanae Yoon and Chulhun Seo[©])

요 약

본 논문에서는 메타구조기반의 double split ring resonator (DSRR) 구조의 공진기를 이용한 Ku대역에서 낮은 위상 잡음 특성을 갖는 발진기를 제안하였다. 제안한 공진기는 대역저지 특성을 가지며 14.67 GHz에서 S_{11} 은 -0.25 dB, S_{21} 은 -44.59 dB를 나타내었다. 제안한 메타구조 기반의 공진기를 이용하여 설계한 발진기의 낮은 위상잡음 특성을 확인하였다. 제안한 메타구조 기반의 공진기를 적용한 발진기는 14.67 GHz에서 1차 발진이 일어나고, 100 kHz offset에서 -130.63 dBc의 낮은 위상잡음 특성과 출력전력 2.03 dBm, -36.04 dBc의 고조파 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, Ku-band low phase noise oscillator using DSRR structure resonator based on metamaterial was proposed. To improve the phase noise of the oscillator, the proposed resonator consist of a DSRR structure based on metamaterial. The proposed resonator have a characteristic of S_{11} is -0.25 dB, and S_{21} in -44.59 dB at 14.67 GHz, respectively. At 14.67 GHz, the proposed Ku-band low phased oscillator achieves a output power of 2.03 dBm, 2nd harmonic of -36.04 dBc, and phase noise of -130.63 dBc at the 100 kHz offset, respectively.

Keywords : Ku-band, low noise phase, Metamaterial, Oscillator, Double Split Ring Resonator.

I. 서 론

최근 위성 및 이동통신, 레이더 송수신기시스템이 발전하면서 고주파 부품에 연구가 증가하고 있다. 이에 따라 발진기는 고주파 회로의 개발 및 RF시스템의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 RF핵심 부품 중의 하나

로 중요성이 커지고 있다. 발진기 설계 시 중요한 요소는 위상 잡음이다. 이러한 위상잡음은 공진기의 Quality factor (Q)값에 따라 영향을 받는다^[1~2]. Q 값이 높아지면 낮은 위상잡음 특성을 갖기 때문에 공진기를 설계할 경우 High Q 값을 갖도록 설계 하여야 한다. 일반 Microstrip 선로를 이용한 공진기를 적용한 발진기의 경우 낮은 Q값을 가지며, 낮은 Q 값으로 위상 잡음을 줄이는데 한계가 있다. 반면에, 메타구조 기반의 공진기는 큰 결합 계수를 갖고, 이로 인해 High Q 값을 가지게 된다. 따라서 이 공진기를 이용하면 좁은 대역 여파 특성, 공진기의 소형화 등의 장점을 가지게 된다. 발진기의 위상 잡음을 줄이는데 매우 유용하다^[3~4].

본 논문에서는 Ku대역에서 동작하는 레이더용 저 위상잡음 발진기를 제안하였다. 레이더용 발진기의 저 위

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

© Corresponding Author(E-mail: chulhun@ssu.ac.kr)

※ 이 연구는 삼성탈레스(주)의 연구비의 지원으로 연구되었음.

※ 본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (No.2013056381)

접수일자: 2013년12월16일, 수정완료일: 2014년1월28일

상잡음 특성을 얻기 위하여 기존의 Microstrip 선로와 커패시터로 이루어진 기존공진기보다 더 높은 Q 특성을 갖는 SRR과 Spiral 결합구조를 갖는 메타구조 기반의 공진기를 설계하였다. 이 공진기를 발진기에 적용하여 낮은 위상잡음 특성을 갖는 저 위상잡음 발진기를 설계하였다.

II. 본 론

1. 공진기 설계

가. Metamaterial 공진기 단위 셀 설계

높은 Q를 이용하여 저 위상 잡음 발진기를 설계하기 위해, 높은 Q의 메타구조 기반의 공진기를 제안하였다. 그림 1은 제안한 공진기의 단위 셀 구조이다. 제안한 공진기 구조는 기판의 윗면은 DSRR 구조이며, 아랫면은 접지되어있다. 기판에 가운데에 비아를 이용하여 윗면과 아랫면을 연결하였다. 제안한 공진기 단위 셀의 크기는 4 mm × 4 mm × 0.787 mm 이며, TLC-32 (유전율 : 3.2) 기판을 사용하여 설계하였다. 이 구조는 선로에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 가해지면, 선로에 전류가 유기된다. 유기된 전류가 흐르는 선로의

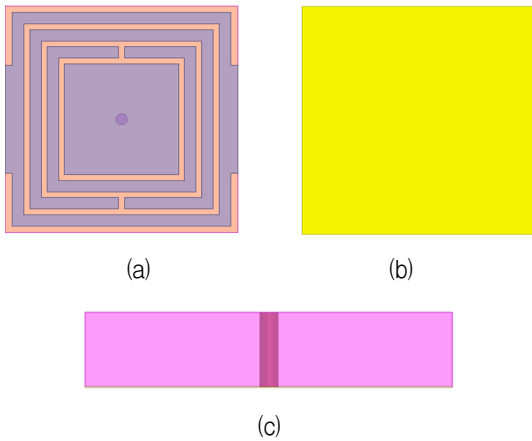


그림 1. 제안한 공진기 구조 단위 셀
(a) 윗면, (b) 아랫면, (c) 옆면

Fig. 1. Unitcell of proposed resonator.
(a) Top view, (b) Bottom view, (c) Side view

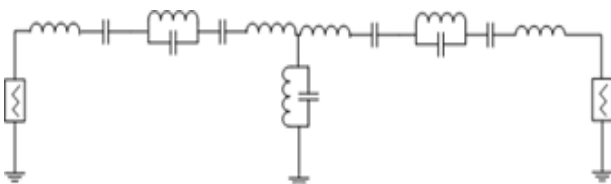


그림 2. 제안한 공진기 단위 셀 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of proposed resonator unit cell.

길이만큼 인덕턴스가 발생한다. 또한 선로와 선로사이의 간격과 유전체 사이의 간격에 의한 커패시턴스 성분이 발생한다. 따라서 선로에 의한 인덕턴스 성분과 간격에 의한 커패시턴스 성분을 조절하여 원하는 주파수에 대한 공진구조 단위 셀을 설계하였다.

제안한 공진기는 인덕턴스와 커패시턴스 성분에 따른 공진 등가 회로 모델을 통해 해석을 할 수 있고, 그림 2에 나타내었다. 비아에 의한 병렬 인덕턴스와, 선로와 선로사이의 직렬 커패시턴스에 의해 메타구조기반의 공진기의 등가회로를 나타내었다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{1}$$

그림 3은 제안한 공진기 단위 셀의 모의실험 결과 S-parameter를 나타내었다. 그림에서 실선은 S₁₁ 특성을 나타내고, 점선은 S₂₁ 특성을 나타낸다. 모의실험 결과 15.02 GHz에서 S₁₁은 -0.2690 dB, S₂₁은 -31.3818 dB로 대역저지 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

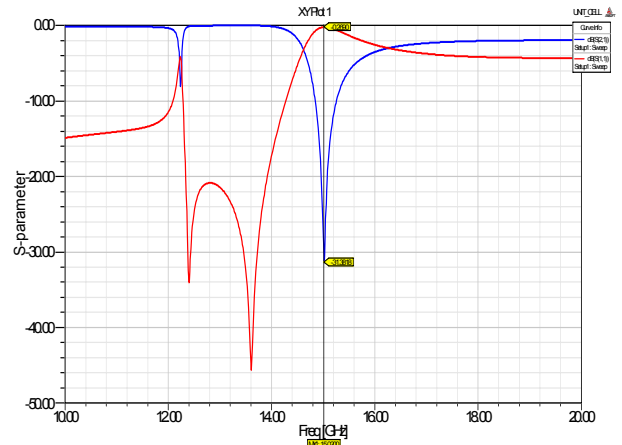


그림 3. 제안한 공진기 단위 셀 모의실험 결과
Fig. 3. Simulation of proposed resonator unit cell.

나. Metamaterial 공진기 설계

발진기 구조의 주파수 선택 특성은 공진부를 통하여 원하는 주파수에서 발진을 일으키게 된다. 공진부의 Q 값이 높아지면 대역폭이 좁은걸 의미하므로, 발진기의 위상잡음을 낮게 한다. 따라서 메타구조 기반의 공진기를 적용하여 높은 Q값을 갖도록 설계하여 위상잡음 특성을 개선하였다. 그림 4는 제안한 공진기 단위 셀을 배열한 공진기의 구조이다. 단위 셀을 3개 배열 하였으며, 1개부터 7개 까지 배열하여 모의실험 결과 공진기 단위 셀을 3개 배열하였을 때 가장 최적화 된 결과를

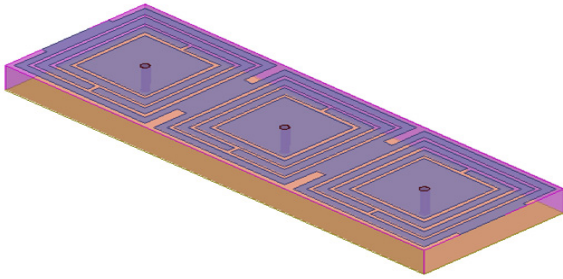


그림 4. 제안한 공진기 배열 구조
Fig. 4. The array structure of proposed resonator.

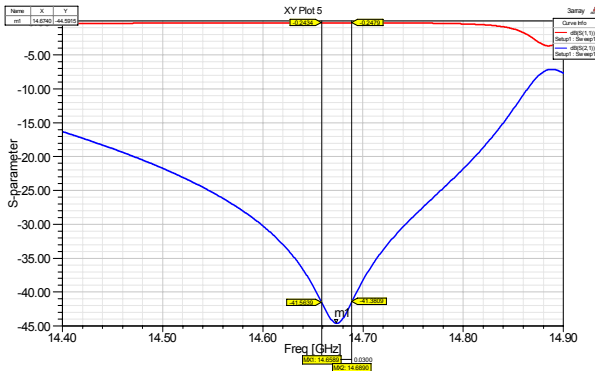


그림 5. 제안한 공진기의 S-parameter
Fig. 5. S-parameter of the proposed resonator.

표 1. 단위 셀 개수에 따른 모의실험 결과
Table 1. Result of simulation about number of unitcell.

# of unitcell	f_0 (GHz)	Q factor	S_{21} (dB)
1	15.02	469.43	-31.38
2	14.93	111.49	-27.91
3	14.67	489.13	-44.59
4	14.71	129.17	-45.94
5	14.64	86.75	-42.37
6	14.52	77.65	-44.04
7	14.54	76.05	-46.71

나타내었다.

그림 5는 그림 4의 제안한 3개 배열된 공진기를 모의 실험 하여 S-Parameter 추출 결과를 나타내었다. 공진기의 왼쪽에 포트 1, 오른쪽에 포트 2로 설정하여 모의 실험 결과 14.67 GHz에서 S_{11} 은 -0.24 dB, S_{21} 이 -44.59 dB의 값을 갖는 대역 저지 형태의 공진특성이 나타났다. 이러한 결과의 S-parameter를 이용하여 Q값을 이용할 수 있다. Q 값은 대역폭으로 계산할 수 있으며 계산식은 (2)과 같다.

$$Q = \frac{\text{Resonance frequency}}{3dB\text{Bandwidth}} \quad (2)$$

그림 5의 S-parameter의 3 dB 대역폭은 0.03 GHz이며, 식(1)에 대입하여 Q값을 구한 결과 약 489의 높은 Q값을 계산하였다.

표 1은 최적화 된 단위 셀을 선택하기 위해 배열 모의실험 결과를 나타내며, 3개를 배열하였을 때 가장 최적화된 결과를 확인하였다.

2. 발진기 설계

제안한 공진기를 발진기에 적용하여 저 위상 잡음 특성을 갖는 발진기를 제안하였다. 그림 6은 제안한 발진기의 구조이다. 발진기의 공진부에서 발진 주파수를 결정하며, 공진부에 기존 LC 공진기를 대신하여 제안한 공진기를 적용할 수 있다. 그러므로 제안한 발진기 구조는 제안한 DSRR 구조 공진기를 적용하여 설계하였다. 설계에 사용한 트랜지스터는 NEC사의 NE661M04를 사용하였다.

그림 7은 제안한 발진기의 모의실험 결과를 나타내

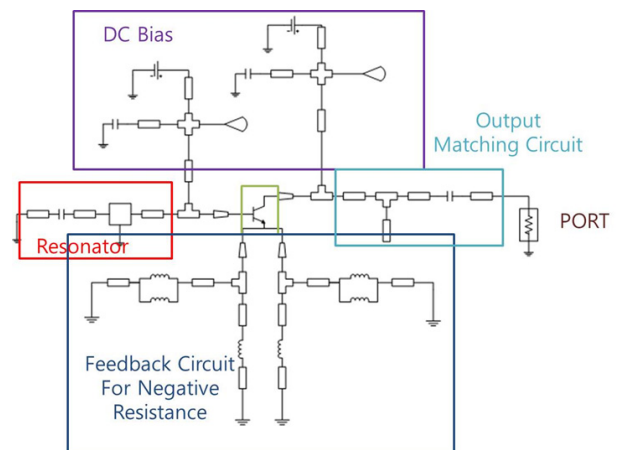


그림 6. 제안한 발진기 구조
Fig. 6. The proposed oscillator structure.

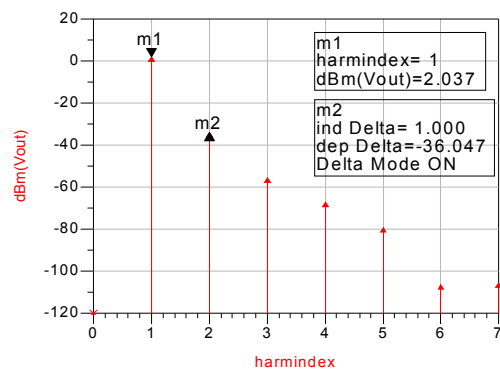


그림 7. 제안한 발진기 모의실험 결과
Fig. 7. Simulation result of the proposed oscillator structure.

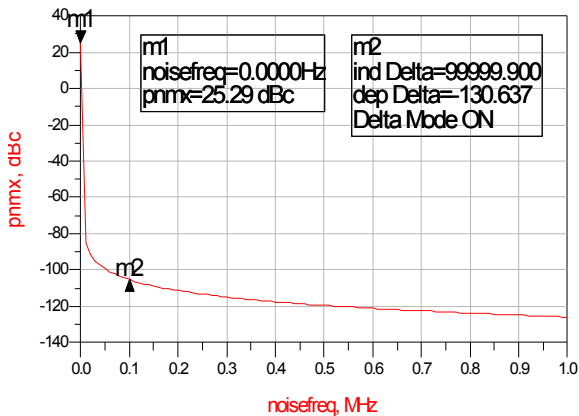


그림 8. 제안한 발진기의 위상잡음 특성
 Fig. 8. The proposed oscillator structure.

었다. 14.64 GHz에서 1차 발진이 일어나고, 출력 전력은 2.03 dBm, 2차 하모닉 특성은 -36.04 dBc를 나타내었다.

그림 8은 제안한 발진기의 위상 잡음 특성을 나타내었다. 100 KHz offset에서 -130.63 dBc로 낮은 위상 잡음 특성을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는, 메타구조 기반의 DSRR 공진기를 적용한 Ku 대역 저 위상 잡음 발진기가 제안되었다. 기존의 공진기보다 더 높은 Q 값을 가진 DSRR 공진기 제안하였고, 제안한 공진기의 S-parameter 특성은 14.67 GHz에서 S_{11} 은 -0.25 dB, S_{21} 은 -44.59 dB를 나타내었다. Q 값은 약 489의 값을 계산하였다. 제안한 발진기는 14.64 GHz에서 1차 발진이 일어나고, 출력전력은 2.03 dBm, 2차 하모닉은 -36.04 dBc의 특성을 가진다. 위상잡음 특성은 -130.63 dBc로 낮은 위상잡음 특성을 가지는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1] C. D. Broomfield J. K. A. Everaard, "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers", 2000 IEEE International Frequency Control Symposium, City, Jun, 2000.
 [2] D. B. Lesson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", in pro. IEEE, vol. 54, no. 2, pp. 426-434, Feb. 1966.
 [3] Y. Kim, C. Seo, S. Ha, and B. Lee, "X-band Low Phase Noise Push-Push Oscillator Using Metamaterial Resonator", Journal of The

Institute of Electronics Engineers of Korea - Telecommunications, Vol.46, no. 12, pp.1-5, Dec. 2009.

[4] J. Choi, and C. Seo, "Low Phase Noise VCO using Metamaterial Transmission Line Based on Complementary Spiral Resonator and Interdigital Structure," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea - Telecommunications, Vol. 48, no. 2, pp.95-104, Feb.2011.
 [5] Q. Xia, Z. X. Tang, and B. Zhang "A Ku-Band push-push dielectric resonator oscillator," J. of Electromagn. Waves and Appl., Vol.24, pp. 1859-1866, 2010.
 [6] E. Park and C. Seo, "Low Phase Noise Oscillator Using Microstrip square Open Loop Resonator," IEEE MTT-S International Microwave Symposium, June 2006.
 [7] K. C. Yoon, and J. C. Lee, "A low phase noise oscillator with a high-Q split ring resonator using MNG metamaterial," MOTL, vol. 53, no. 12, pp. 2967-2971, Dec.2011.

저 자 소 개



윤 나 내(학생회원)
 2011년 강남대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2013년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2013년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, Oscillator, RF Power Amplifier, 안테나, 무선 전력 전송>



서 철 현(정회원)
 1983년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

1993년~1995년 MIT 연구원
 1993년~1997년 숭실대학교 정보통신학과 조교수
 1999년~2001년 MIT 방문교수
 1997년~2004년 숭실대학교 정보통신 전자공학부 부교수
 2004년~현재 숭실대학교 정보통신 전자공학부 교수

<주관심분야 : 이동 및 위성통신 Microwave 부품 및 시스템, PBG를 이용한 RF부품, RF power Amplifier, RFIC 등>