

# 메타구조 다중 분할 링 공진기를 이용한 저위상 전압제어발진기

장현석, 문 용  
숭실대학교 전자공학과

## A Low Phase Noise Voltage Controlled Oscillator using metamaterial Multiple Split Ring Oscillator

Hyeon-Seok Jang and Yong Moon

Department of Electronics Engineering, Soongsil University

[seejhs21c@naver.com](mailto:seejhs21c@naver.com), [moony@ssu.ac.kr](mailto:moony@ssu.ac.kr)

### 요 약

In this paper, low phase noise VCO using SRR(split ring resonator) is proposed. The advantages of SRR are very small size, low insertion losses in passband and high rejection level in stopband with sharp cutoff frequency and large coupling coefficient value. So, the proposed VCO has high Q value and reduced phase noise. The oscillator frequency of VCO is 2.335 ~ 2.451 GHz and phase noise is  $-131.95 \sim -133.61$  dBc/Hz at 100KHz offset.

### 1. 서론

최근 이동통신 서비스가 발전하면서 소형화, 고성능화 되어진 고주파 부품의 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 RF 시스템에서 주파수원을 공급하는 발진기는 RF의 핵심 부품 중의 하나로 중요성이 커지고 있다. 발진기 설계 시, 위상잡음은 발진 성능을 나타내는 중요한 지표중의 하나로 사용되는 값이다. 이러한 위상 잡음은 공진기의 Q값에 영향을 받는다고 알려져 있다. 본 논문에서는 CMOS와 마이크로스트립으로 구현한 공진기보다 Q값을 높이기 위하여 메타물질 특성을 이용하였다. 메타물질은 특정 주파수에서 자연 상태의 물질로는 존재하지 않는 음의 유전율 또는 음의 투자율을 가지는 구조로 이루어져 있으며, LHM(left handed material)이라고 한다[1]. 이는 신개념의 차세대 기술로 전자 제품 등의 초소형화, 고성능화 등의 실현이 가능하여 미래의 전·후방 산업에 중요한 핵심기술로 주목하고 있다. 이에 본 연구에서는 이를 응용한 고성능 VCO를 설계하고 검증하였다.

### 2. 2.4GHz 공진기 설계

본 논문에서 2.4GHz 공진기를 설계하기 LHM 특성을 가진 SRR 구조를 이용하였다.[2]. SRR구조는 LHM 특성을 인공적으로 구현하는 방법 중 가장 많이 이용하는 방법이다. 그림 1에는 Pendry에 의해서 최초로 제안된 기본적인 SRR 구조와 새롭게 제안된 다중 SRR구조를 보여준다. 그림 1-(a)의 기본적인 SRR구조의 주파수 선택

동작은 공진이 발생될 때 원형의 마이크로스트립 부분에 유발된 전류 루프들에 의해서 설명되어질 수 있다. 기본적인 SRR에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 가해지면, 두 링에는 전류가 유기된다. 이 전류 루프에 의해 인덕턴스가 발생하며, 안쪽 링과 바깥쪽 링 사이의 간격(s)에 의해 커패시턴스 발생한다. 또한 각각의 링의 가장자리 틈에서 커패시턴스가 발생한다. 이를 등가모델화하면 LC공진부로 모델링 될 수 있으며, 인덕터와 커패시터의 값에 의해 주파수 선택이 가능하다.

그림1-(b)는 기본적인 SRR구조를 높은 결합계수를 가질 수 있도록 구조를 변형한 단위구조이다. 원형의 SRR 구조를 사각형의 형태[3]로 변형 함으로서 결합 커패시터를 높이면서 동일한 크기에서 더 낮은 공진 주파수를 얻을 수 있다. 그리고 프랙탈 구조를 적용하여 역시 커패시터 값을 높일 수 있는 방향으로 구조를 구현하였다. 또한 결합계수를 증가 시키기 위해 기존의 형태와는 다르게 감은횟수를 증가 시켰다. SRR 구조에서 감은 수가 증가 할수록 분산 커패시턴스는 증가하고 분산 인덕턴스는 감소한다. 이는 커패시턴스를 증가시키면서 공진 주파수를 낮출 수 있는 장점이 있다. 하지만 감은 횟수를 계속 증가시킨다고 해서 분산 커패시턴스의 증가와 분산 인덕턴스의 감소가 계속해서 일어 나는 것은 아니다. 특정 감은수 이상에서는 분산 커패시턴스와 분산 인덕턴스의 증감, 감소가 포화되므로 적절한 감은 횟수를 선택하여야 한다.

본 논문에서는 그림1-(b)와 같이 감은횟수를 4번으로 하였으며, 이러한 커패시턴스의 증가로 인하여 일반적인

SRR 보다 더 높은 결합 계수를 갖을 수 있으며, 결국 더 높은 Q값을 얻을 수 있다[4].

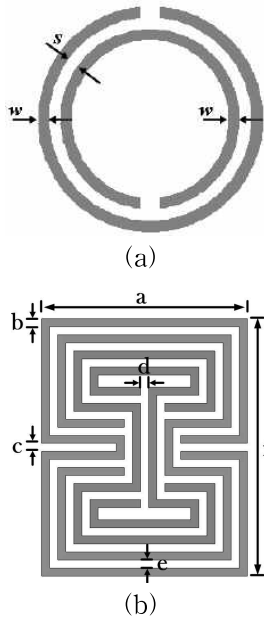


그림 1. (a) 기본적인 SRR 구조  
(b) 제안된 다중 SRR 단위구조

그림1-(b)의 형태를 접지평면에 식각을 하고 바로 위쪽 신호평면에는 전송선을 두면서 최종적인 공진기를 설계하였다. 이를 3차원으로 분석하기 위해 HFSS를 이용하였고, 각 변수의 값은  $a=5.1\text{mm}$ ,  $b=0.2\text{mm}$ ,  $c=0.2\text{mm}$ ,  $d=0.2\text{mm}$ ,  $e=0.2\text{mm}$ ,  $f=6.4\text{mm}$  이다. 공진기의 위를 지나게 되는 전송선의 너비는  $5.5\text{mm}$ 이다. 모의실험 결과  $2.48\text{GHz}$ 에서  $S_{21}$ 의 값이  $-35.2\text{dB}$ 를 보였다. 그림2에는 모의실험 결과를 보여주고 있고, 이를 통해 Q값은 300 이상의 높은 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

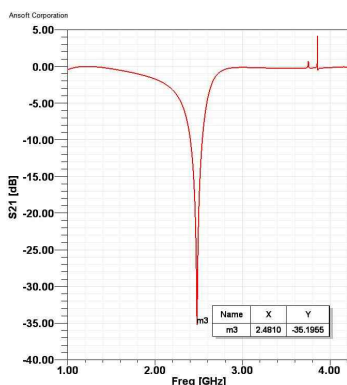


그림2. HFSS 통한 단위구조 시뮬레이션

그림1-(b)의 구조를 저지특성( $S_{21}$ )과 더 높은 Q값을 가지기 위하여 그림2와 같이 주기적인 구조로 배열하였다. 단위구조를 주기적인 구조로 반복 배열 횟수를 증가시킬수록  $S_{21}$ 과 Q값은 더 좋은 특성을 가지게 되나, 면적을 고려해야 하므로 적절한 배열 횟수가 필요하다.

본 논문에서는 2번의 주기적인 구조를 사용 하였고, 이

때 저지특성  $S_{21}$  값은  $2.45\text{GHz}$ 에서  $-64.52\text{dB}$ 를 보이며, 단위구조만 사용하였을 때보다 저지특성이  $-29.32\text{dB}$ 가 향상 됨을 볼 수 있었다. 그림 3에는 2번의 주기적인 모습을 보여주고 있고, 그림4에는 주기적인 구조를 통한 모의실험 결과를 나타내었다. 모의실험 결과 Q값도 400이상의 높은 값을 나타내어 주기적인 배열을 통해 높은 성능 향상을 보였다. 여기서는 각각의 단위구조 사이에서 생기는 분산 커패시터가 존재하므로 각 단위구조의 간격 또한 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 단위구조 사이의 간격( $g$ )을  $1\text{mm}$ 로 하였다.

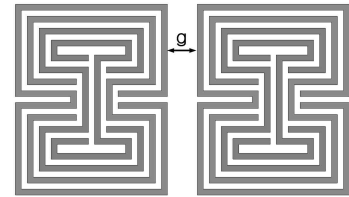


그림2. 주기적인 구조를 적용한 공진기

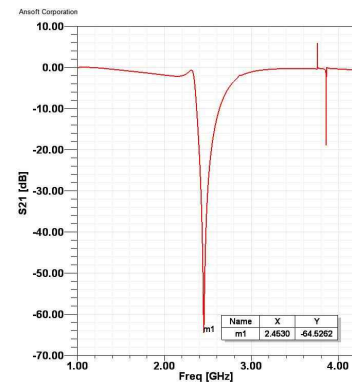


그림3. 2번의 주기적인 구조 공진기 모의실험 결과

### 3. 2.4GHz VCO 설계

HFSS로 구현한 공진기의 특성을 이용하여 VCO를 구현하였고 이를 ADS로 검증하였다. 제안된 전압 제어 발진기는 두께가  $31\text{mil}$ 이고, 유전율이 3.2인 Taconic사의 TLC 기관으로 제작되었고, NEC사의 NE661M04 BJT 트랜지스터와 M/A-COM 사의 MA46H202 버랙터 다이오드를 이용하여 설계되었다. 그림4 에서 보인 것처럼 BJT는 4단자를 사용하였으며 에미터쪽에 에너지 보상을 위하여 부성저항을 달았다. DC바이어스 부분은 BJT의 베이스와 컬렉터에 바이어스를 가하기 위함이고 레귤레이터를 통해 전압이 공급이 되며, 전송라인 상에서는  $2.4\text{GHz}$ 에서 개방으로 보이게 되어  $2.4\text{GHz}$  주파수의 손실을 방지 하게 된다. 공진기는 HFSS에서 구현하여 특성을 그대로 반영하였고, 공진기의 앞단에는 버랙터 다이오드를 구동하기 위해  $0\sim 26\text{V}$ 의 가변전압이 가해 지게 되며 이에 따라 주파수 가변을 가지게 된다. 그림 5에는 버랙터 다이오드에  $1\text{V}$ 전압이 가해졌을 때의 위상잡음을 보여주고 있다.  $2.4\text{GHz}$ 에서  $-132.3\text{ dBc/Hz}$  @ $100\text{KHz}$ 의 위상잡음 결과를 통해 낮은 위상잡음을 구현 하였음을 확인할 수 있다. 제안된 전압제어 발진기는 시뮬레이션 결과  $2.335 \sim 2.451\text{GHz}$ 의 주파수 범위와  $100\text{KHz}$

의 오프셋 주파수에서  $-131.95 \sim -133.61$  dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 갖는다.

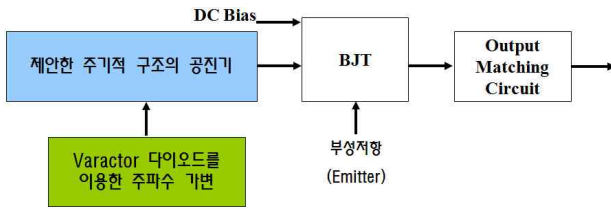


그림4. 전체적인 VCO 구조도

그림 6은 제안된 VCO의 출력 파워이다. 2.4GHz에서 출력파워는 13.118dBm으로 높은 출력 파워를 보여 주고 있으며, 하모닉스는 35.2dBc의 우수한 특성을 보였다. 그림 7에는 VCO의 출력 전압으로 안정적인 동작을 하고 있음을 보여 주고 있다.

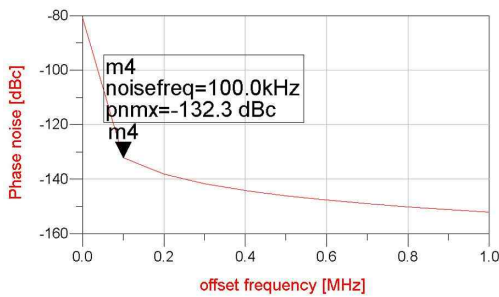


그림5. 제안된 VCO의 위상잡음 Power

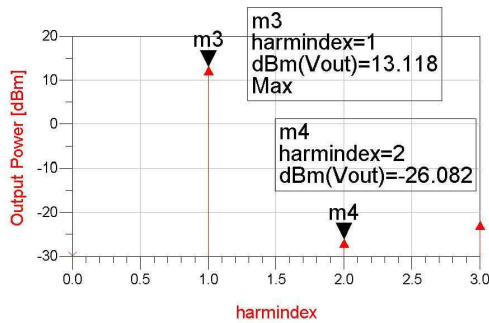


그림6. 제안된 VCO의 Output Power

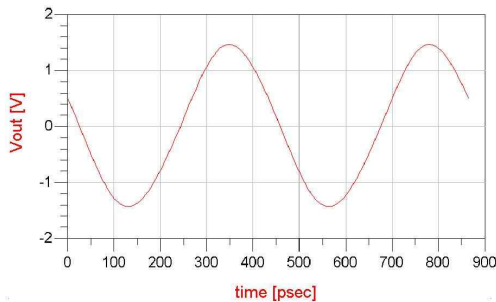


그림7. VCO의 출력전압

표1은 CMOS공정 및 기존 연구와 본 연구를 통한 전압 제어발진기의 특성을 비교한 것으로 CMOS VCO에 비해 위상 잡음에서  $-27.3$ dBc 성능향상을 보이면서 낮은 위상잡음을 구현 하였다.

표1. 제안된 전압제어발진기의 특성 비교

parameters	0.18um CMOS[5]	Microstrip Line[6]	This Work
Oscillation Frequency	2.4 GHz	9.8 GHz	2.4 GHz
Tuning range [GHz]	2.27 ~2.65	6.3 MHz	2.335 ~2.451
Phase noise @ 100KHz	-105dBc /Hz	-119dBc /hz	-132.3dBc /Hz

#### 4. 결론

본 논문에서는 VCO의 위상잡음 특성 개선 및 Q값을 향상시키기 위하여 메타물질 특성을 이용한 공진기를 이용하였다. 기존의 제기되었던 SRR 형태를 결합 커패시터를 높이기 위한 형태로 구현 되었으며, 이는 3차원 설계를 통한 결과를 보기 위해 HFSS를 이용하였다. 제안한 형태를 통하여 높은 Q값을 구현 하였으며, 마이크로 스트립 전송선로를 이용하여 VCO를 구현 하였다. VCO 주파수는 2.335 ~ 2.451 GHz 이며, 위상잡음은  $-131.95 \sim -133.61$  dBc/Hz @100kHz 의 값을 얻을 수 있었다. 상기 구조는 높은 Q값이 필요한 응용분야에 적용이 가능하다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] Lai. A, Itoh. T, Caloz. C, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", IEEE. Microwave Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, Sept. 2004.
- [2] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 47, no. 11, pp. 2075-2084, Nov. 1999.
- [3] S. S. Karthikeyan and M. Arulvani, "Double Negative Metamaterial Design Using Open Split Ring Resonator," IEEE students' Technology Symposium, pp. 142-145, April 2010.
- [4] F. Bilotti, A. Toscano, and L. Vegni, "Design of Spiral and Multiple Split-Ring Resonators for the Realization of Miniaturized Metamaterial Samples," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, no. 8, August 2007.
- [5] Jung-Yu Chang, Chia-Hsin Wu, Shen-Iuan Liu, "A 2.4GHz CMOS Quadrature VCO for WLAN/Bluetooth Applications", Asian Solid-State Circuits Conference, November 2005.
- [6] 류근관, 신동환, "결합 마이크로스트립 라인을 이용한 전압제어 발진기의 동조전압에 따른 위상잡음 특성 개선", 한국통신학회논문지, 35(5), pp. 513-518, 2010년 5월