

논문 2008-45TC-7-12

Spiral 공진기를 이용한 저위상 잡음 전압 제어 발진기

(Low Phase Noise VCO Using Spiral Resonator)

좌 동 우*, 서 철 현**

(Dongwoo Jwa and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 위상잡음 특성을 개선하기 위하여 spiral 공진기를 이용한 전압제어 발진기를 제안하였다. Spiral 공진기는 작은 면적, 저지대역에서 날카로운 스퀘트 특성과 낮은 삽입손실, 큰 결합 계수 값을 가지고 있고, 이로 인해 높은 Q 값을 가지며 전압 제어 발진기의 위상 잡음을 감소시킨다. 공진기의 Q값이 높아짐에 따라 좁아지는 주파수 조절 범위를 높이기 위하여 벡터 다이오드를 조절 가능한 부성저항에 연결하였다. 전압 제어발진기는 5.686 - 5.841 GHz에서 발진이 일어났고, 출력은 11.83 dBm, 하모닉 특성은 -29.83 dBc, 위상 잡음 특성은 100 KHz offset에서 -115.16 - 115.17 dBc/Hz이다.

Abstract

In this paper, low phase noise VCO using novel compact microstrip spiral resonator is proposed. A spiral resonator has super compact dimension, low insertion losses in the passband and high level of rejection in the stopband with sharp cutoff and a large coupling coefficient value, which makes a high Q value, and has reduced the phase noise. To increase the tuning range of VCO, varactor diode has been connected at the tunable negative resistance in VCO. This VCO has presented the oscillation frequency of 5.686 - 5.841 GHz, harmonics -29.83 dBc and phase noise of -115.16 - -115.17 dBc/Hz at the offset frequency of 100 KHz.

Keywords : Phase Noise, Spiral Resonator, VCO, Varactor diode

I. 서 론

최근 위성이동통신 개인휴대통신(PCS), 디지털 데이터 이동통신, WLL(Wireless Local Loop), 주파수 공용 통신(TRS)서비스가 발전하면서 고주파 부품의 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 RF시스템에서 주파수원을 공급하는 발진기는 RF의 핵심 부품 중의 하나로 중요성이 커지고 있다. 발진기 설계 시 위상 잡음과 안정도가 가장 중요한 요소이다. 위상 잡음은 발진 성능을 나타내는 중요한 지표중의 하나로 사용되는 값이다^[6]. 전압 제어 발진기는 특정 주파수를 정확하게 출력해야 하는데 소자의 불안정한 영역에 동작시키다보니 시간 축 상

에서 파형이 찌그러지거나 위상이 틀어지는 현상이 나타나게 된다. 이러한 위상 잡음은 공진기의 Q값에 영향을 받는다고 알려져 있다^[7]. 보통 일반적인 마이크로스트립 라인을 이용한 발진기는 낮은 Q값으로 위상 잡음을 줄이는데 제한이 있어 Q값을 높이기 위하여 Spiral 공진기 구조를 적용하였다. 제안된 spiral 공진기는 중앙 선로에 spiral 공진기를 세 개 나열하여 예칭하였다. Spiral 공진기는 그 축에 수직인 방향으로 전계가 걸렸을 때 특정 공진 주파수에서 self-resonance 현상이 일어나며, 이것이 대역 저지 특성으로 나타난다. Spiral 공진기는 날카로운 스퀘트 특성에 따른 높은 Q값과 통과 대역에서는 리플이 없고 삽입 손실이 매우 낮은 특성을 볼 수 있다. 또한 설계 방법이 간단하고 명확한 특징을 가지고 있다^[2-3].

본 논문은 spiral 구조를 이용하여 좀 더 좋은 특성의 공진기를 구현하여 위상 잡음 특성을 개선하는 연구를 수행하였다. 제안된 spiral 구조를 통해 일반 PBG구조

* 학생회원 ** 정희원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 이 연구는 2008학년도 숭실대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음

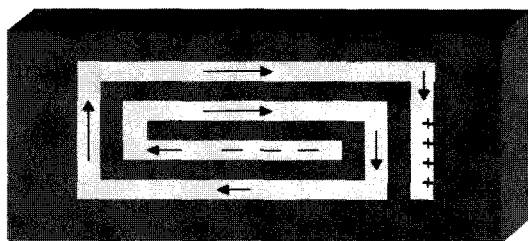
접수일자: 2008년7월8일, 수정완료일: 2008년7월21일

보다 작은 크기에서 높은 Q값을 얻어 위상 잡음을 줄이는 연구를 하였다^[2~4]. 하지만 공진기의 Q값이 높아지면서 주파수 조절범위가 줄어드는 문제가 발생하게 되는데 그 문제점을 해결하기 위하여 버랙터 다이오드^[10]를 부성 저항에 연결하여 주파수 조절범위를 개선할 수 있었다. 본 논문은 spiral 공진기를 이용한 발진기의 구조를 설계 및 제작하여 측정과 분석을 통해 위상 잡음의 개선하였다.

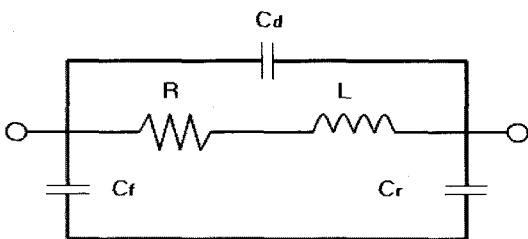
II. Spiral 공진기를 이용한 VCO 설계

Spiral 공진기를 LC 공진 등가 회로 모델을 통해 해석을 할 수가 있다. 마이크로스트립 전송 선로에 의해 구현된 Spiral 공진기의 형태를 그림 1에 나타내었다.

그림 1(a)는 Spiral 공진기의 모양으로 기판위에 Spiral 모양을 에칭한 형태를 가지고 있다. 이것은 Spiral 선로에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 가해지면, Spiral 선로에 전류가 유기된다. 유기된 전류가 흐르는 선로의 길이만큼 분산 인덕턴스가 발생하며 선로들 사이의 상호 인덕턴스가 발생한다. 선로에 유기된 전류에 의해 전압이 형성되는 모양이 그림 1(a)와 같고 안쪽과 바깥쪽 선로 사이에 분산 커패시턴스와 양 끝단에서 가장자리 커패시턴스가 발생한다. 이 두 커패시터는 직렬로 연결되었다 할 수 있고 등가 모델은 그림



(a)



(b)

그림 1. (a) 직사각형 모양의 Spiral 공진기
(b) Spiral 공진기의 등가회로

Fig. 1. (a) Spiral resonator with square shape,
(b) Equivalent circuit.

1(b)와 같이 나타낼 수 있다.

$$w_0 = \sqrt{\frac{1}{L_T C_T}} \tag{1}$$

식(1)에서 C_T 는 분산 커패시턴스와 가장자리 커패시턴스의 합이며 L_T 는 상호 인덕턴스와 분산 인덕턴스의 합이다.

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

식(2)는 공진기의 Q값을 나타내는 식으로써 저장되는 에너지와 손실되는 에너지의 비에 주파수 개념을 적용한 식이라 할 수 있다.

Spiral 공진기에서 각 라인이 서로 가까이 있으면서 상호 커패시턴스와 상호 인덕턴스가 증가하면서 결합계수가 커질 수 있다. 또한 커패시턴스와 인덕턴스는 에너지를 저장할 수 있기 때문에 식(2)에서의 분자가 커지면서 Q값이 증가하는 것을 볼 수 있다. Q값이 커질수록 파형이 예리해지기 때문에 전압제어 발진기의 위상잡음을 줄일 수 있다.

III. 측정 및 결과

Spiral 공진기의 설계를 바탕으로 전압제어 발진기를 설계 및 제작하여 측정하고 분석을 하였다. ϵ_r 이 3.2인 테프론 기판을 사용하였다. 전압제어 발진기에 사용한 트랜지스터는 NEC사의 NE661M04, 버랙터 다이오드는 M/A-COM의 MA46H202를 사용하였다.

공진기 설계는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 모의 실험 하고 설계하여 결과를 비교하였고 그 결과를 바탕으로 HP사의 Advanced Design System(ADS) simulation tool 을 이용하여 5.8 GHz에서 발진하게 설계하였다.

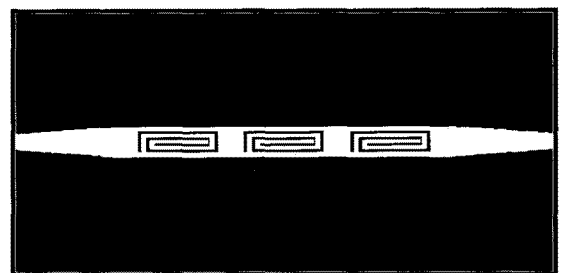


그림 2. Spiral 공진기 구조

Fig. 2. Structure of spiral resonator.

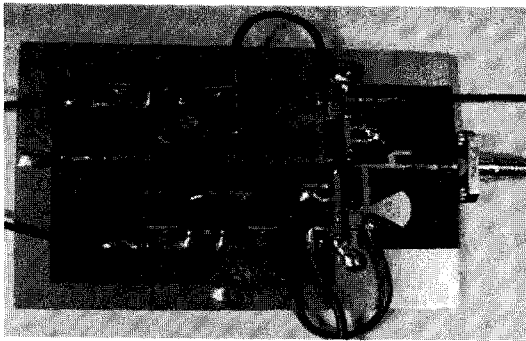
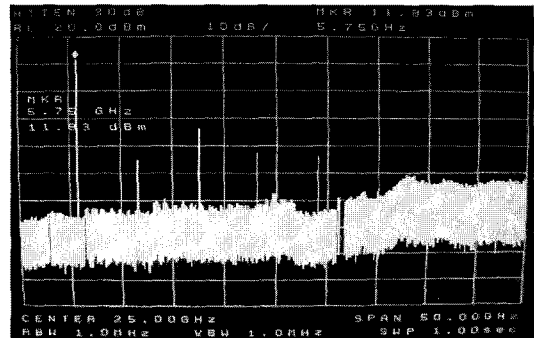
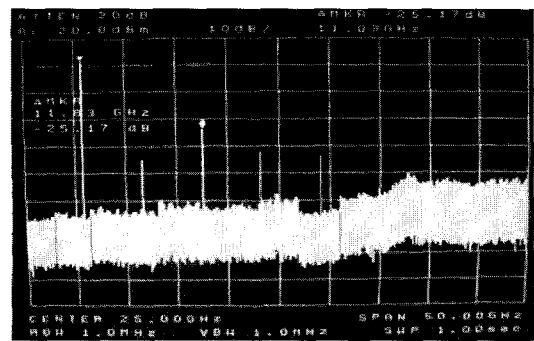


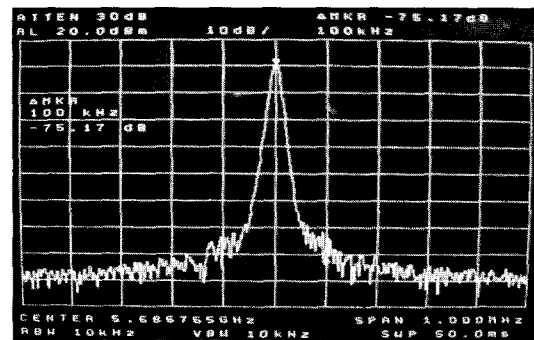
그림 3. 전압 제어 발진기의 제작된 기판
Fig. 3. The fabrication of the proposed VCO.



(a)



(b)



(c)

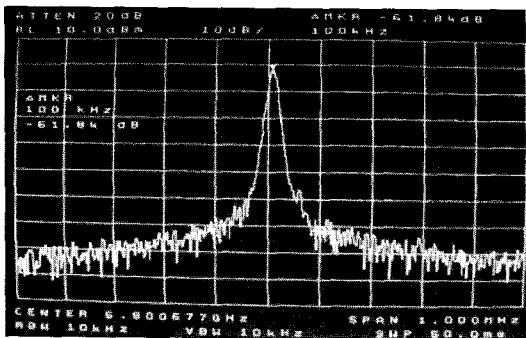


그림 4. 일반적인 발진기의 위상 잡음 특성
Fig. 4. Phase noise characteristic of conventional oscillator.

그림 2는 spiral 구조를 이용하여 만든 공진기의 그림으로 에칭하는 라인의 길이, 라인과 라인의 간격과 각 단위 셀의 간격을 조정하여 주파수를 조절하게 된다.

전압제어 발진기는 설계한 공진기를 연결하고 인덕터, 마이크로스트립라인과 주파수를 변화 시킬 수 있는 인덕터를 연결하여 부성저항을 설계하고 마이크로 스트립라인을 통해 출력 정합 회로를 설계하였다.

그림 3은 설계한 발진기를 기본으로 하여 실제 제작한 결과물이다. 그림 3의 왼쪽의 정류기는 신호가 흔들리는 것을 방지하기 위해 설계 제작한 모습이다. Q값이 높은 공진기로 인하여 버랙터 다이오드의 가변 주파수가 좁아지는 현상을 방지하기 위하여 부성 저항에 버랙터 다이오드를 연결하여 가변 주파수 범위를 일반적인 구조와 비슷하게 하였다.

Spiral 공진기를 가지고 전압 제어 발진기를 설계한 목적이 공진기의 Q값이 상승함에 따라 위상 잡음이 감소하는 것을 증명하기 위한 것이었으므로 일반적인 마이크로스트립라인을 이용한 전압제어 발진기의 위상 잡음과 비교하였다. 그림 4는 일반적인 마이크로스트립라인을 이용한 전압 제어 발진기의 위상 잡음 특성이다.

설계한 전압제어 발진기의 주파수 조절 범위는 버랙

그림 5. (a) VCO 출력 (b) VCO 하모닉 특성 (c) 버랙터 다이오드에 0V 인가 했을 때 위상잡음
Fig. 5. (a) Output power of VCO (b) Harmonic characteristics of VCO (c) Endorsed for 0V phase noise when varactor diodes.

표 1. 전압제어 발진기의 위상 잡음 특성 비교
Table 1. Voltage controlled oscillator phase noise characteristics comparison.

VCO Frequency 5.8 GHz	Phase noise (dBc/Hz @ 100kHz)
Microstrip line 구조	-101.84 ~ -101.35
Spiral 구조	-115.17 ~ -115.66

터 다이오드에 인가되는 전압이 0~26 V일 때 5.686~5.838GHz이고, 그 범위에서 위상잡음은 100 kHz offset에서 -115.16~-115.66 dBc/Hz로 측정되었다. 출력 파워는 11.83 dBm 하모닉 특성은 -25.17 dBc를 나타내었다. 그림 5는 5.8 GHz에서 제안된 전압제어 발진기의 출력파워, 하모닉 특성, 위상 잡음을 측정된 사진이다.

Spiral 구조를 적용한 전압 제어 발진기가 일반 마이크로스트립라인을 이용한 구조 보다 위상 잡음이 -14dB 정도의 개선 효과를 볼 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문은 전압 제어 발진기의 위상 잡음 특성을 개선하기 위하여 Q값이 상대적으로 높은 Spiral 공진기를 이용하여 설계하였다. 주파수 조절 범위는 부성 저항 부분에 있는 버랙터 다이오드를 통하여 5.686~5.838 GHz의 결과를 얻었다. 이 주파수 조절 범위에서 위상 잡음은 100 kHz offset에서 -115.16~-115.66 dBc/Hz의 결과를 얻었다. 이를 통해 제안된 전압 제어 발진기의 위상 잡음 -14 dB정도의 개선 효과를 볼 수 있다는 것을 알 수 있었고 이를 통해 공진기의 Q값이 높아짐에 따라 위상 잡음을 줄일 수 있다는 것을 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Schmuckle, "The method of lines for the analysis of rectangular spiral inductors", IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech, Volume 41, Issue 6, June-July 1993.
- [2] 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.
- [3] Z. M. Hejazi, P. S. Excell, and Z. Juang, "Accurate distributed inductance of spiral resonator", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 8, no. 4, Apr. 1998.
- [4] C. Caloz, t. Itoh, " Multilayer and anisotropic planar compact PBG structures for microstrip applications", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 50, no. 9, pp.2206-2208, Sep. 2002.
- [5] C. D. Broomfield J. K. A. Everard, "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers", Frequency Control Symposium and Exhibition, Proceedings of the 2000 IEEE/EIA International, pp. 525-530, 2000.
- [6] C. D. Broomfield J. K. A. Everard, "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers", 2000 IEEE International Frequency Control Symposium, City, Jun, 2000.
- [7] D. B. Lesson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", in pro. IEEE, vol. 54, no. 2, pp. 426-434, Feb. 1966.
- [8] D. Scherer, "Today's lesson-learn about low - noise design, part 1", Microwaves, pp.116-122, April 1979.
- [9] G. Sauvage, "Phase noise in oscillators: A mathematical analysis of leeson's model" IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, pp. 408-410, December 1977.
- [10] Kai Chang Encyclopedia of RF and Microwave Engineering, Wiley-Interscience, 2005.

저 자 소 개



좌 동 우(학생회원)
2007년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 (공학사)
2007년 3월~현재 숭실대학교
정보통신전자공학과 석사
과정

서 철 현(정회원)
대한전자공학회 논문지
vol. 31, no.6 참조

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, RF Power Amplifier, VCO, RFIC, RFID>