

Spiral Hair-pin 공진 발진기의 설계 및 제작

Design and Implementation of Spiral Hairpin Resonator Oscillator

오영주 장정석 강동진 홍의석
(광운대학교 석사과정) (광운대학교 박사과정) (한국정보통신기능대학 교수) (광운대학교 교수)

Key Words : Oscillator, Spiral resonator, Hairpin resonator

목 차

1. 서 론
2. Spiral 구조를 적용한 Hair-pin 공진 발진기 설계
3. 제작 및 측정
4. 결 론
5. 참고문헌

I. 서 론

마이크로파대 통신 시스템에서 국부 발진기의 주파수 안정도와 위상잡음 특성은 신호의 복조시 데이터 전송률, 대역 특성과 같은 통신 시스템 성능에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서 높은 안정도, 낮은 위상잡음, 그리고 소형·경량화를 이룰 수 있는 발진기가 요구되어진다. 그 중에서도 정보량이 많아짐에 따라 높은 발진 주파수를 필요로 하게 되었고, 주파수의 안정도와 위상잡음은 전체 시스템의 데이터 오류 특성에 중요한 영향을 미치므로 우수한 위상잡음 특성이 요구되는 실정이다. 발진기의 위상잡음은 능동소자의 잡음특성이나 전원잡음 등이 영향을 미치나 일반적으로 공진기의 Q값이 위상잡음에 가장 밀접한 영향을 주는 요인이 된다.

초기의 국부발진기는 유전체 공진기를 사용하여 위상 잡음 개선과 주파수 안정도를 향상시켰다. 유전체 공진기는 Q 값은 우수하나, 3차원적인 입체구조를 가지고 있어 MMIC로의 집적화를 하는데 제약이 따른다. 또한 유전체 공진기를 사용함으로써 전체 사이즈가 커지는 단점이 있다. 따라서 최근 평면 구조인 마이크로 스트립 공진기의 성능 개선을 통한 우수한 Q 값의 확보를 필요로 한다.

본 논문에서는 유전체 공진기의 단점을 개선하기 위해 Spiral 구조를 적용하여 커플링효과를 강화시킨 Hair-pin 공진 발진기를 설계, 제작하였다. 제안된 구조의 공진기를 통해 Q-factor를 증가하였고, 따라서 이를 적용한 발진기의 위상잡음이 개선되었다.

II. Spiral 구조를 적용한 Hair-pin 공진 발진기 설계

2-1 Hair-pin 공진기

그림 1은 기존의 Hair-pin 공진기의 구조이다. 그림 1의 (a)는 초기의 Hair-pin 공진기 구조로 비교적 큰 사이즈를 가지기 때문에 L-band 이하에서는 사용되지 않고 있으며 RF 접지점을 가지고 있지 않다. 그림 1의 (b)는 집중소자 커패시터를 사용함으로써 크기를 줄인 것이다. 그림1의 (c)는 본 논문에서 응용할 모델인 마이크로스트립 병렬결합선로를 이용한 헤어핀 공진기로서 크기는 (b)와 유사하나, 집중소자 대신 병렬선로의 길이를 조절함으로써 주파수를 조절하는데 용이하다.

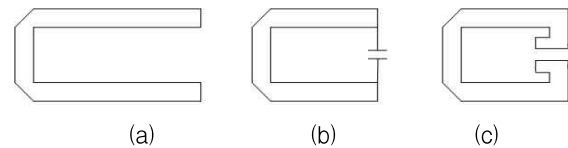
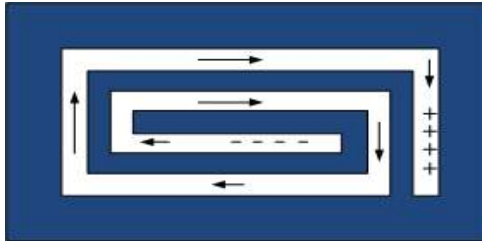


그림 1. Hair-pin 공진기의 구조
Fig. 1. The structure of hair-pin resonator

2-2 Spiral 공진기

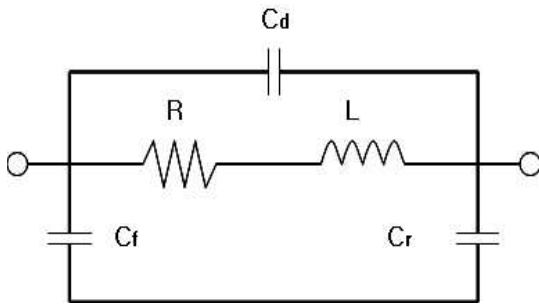
그림 2의 (a)는 Spiral 공진기의 구조로 이는 (b)의 LC등가회

로 쉽게 해석할 수 있다.



(a) Spiral 공진기의 구조

(a) Spiral resonator with square shape



(a) Spiral 공진기의 등가회로

(a) Equivalent circuit of Spiral resonator

그림 2. Spiral 공진기의 구조 및 등가회로도

Fig. 2. The structure and equivalent circuit of Spiral resonator

Spiral 선로에 시변자계가 가해지면 선로에 전류가 유기되는데, 유기된 전류가 흐르는 선로의 길이만큼 분산 인덕턴스가 발생한다. 따라서 선로에 유기된 전류에 의해 전압이 형성되는 모양을 그림 2의 화살표로 표시하였다. 안쪽과 바깥쪽 선로 사이에는 분산 커패시턴스가 형성되며, 양쪽 끝단에서도 마찬가지로 커패시턴스가 형성된다.

$$w_0 = \sqrt{\frac{1}{L_T C_T}} \quad (1)$$

식(1)은 안쪽과 바깥쪽 선로에서 생기는 분산 커패시턴스와 선로의 양 끝단에서 발생하는 가장자리 커패시턴스에 따른 공진 주파수에 관한 식이다. C_T 는 분산 커패시턴스와 가장자리 커패시턴스의 합이며, L_T 는 상호 인덕턴스와 분산 인덕턴스의 합이다.

Spiral 공진기는 각 라인이 서로 가까워짐에 따라 상호 인덕턴스와 커패시턴스가 증가하여 결합계수가 상승한다. 또한 인덕턴스와 커패시턴스가 증가하면 그에 따른 저장되는 에너지도 상승하여 Q값이 증가된다.

2-3 Spiral 구조를 적용한 Hair-pin 공진기 설계

그림 3은 본 논문에서 제안된 spiral 구조를 적용한 Hair-pin 공진기의 레이아웃이다. 제안된 공진기는 기존의 병렬결합선로 대신에 spiral 구조를 적용하여 상호 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시켰다. 마이크로 스트립라인의 양 끝단을 spiral 구조로 적용함에 따라 회로의 면적이 감소하였다. 또한 기존의 헤어핀 공진기에 비해 커플링 효과가 강화되어 Q값의 개선이 가능하다.

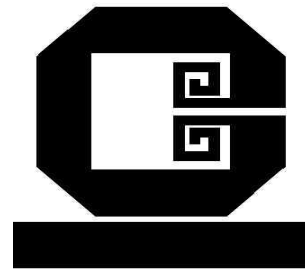
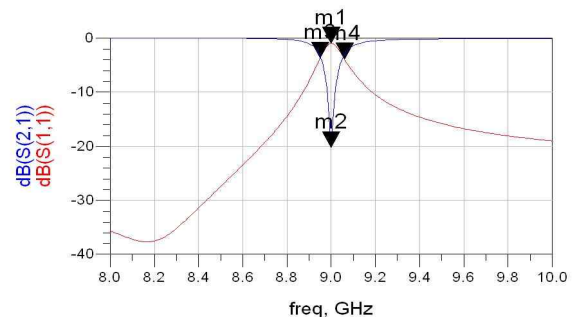


그림 3. 제안된 공진기의 레이아웃

Fig. 3. Layout of proposed resonator

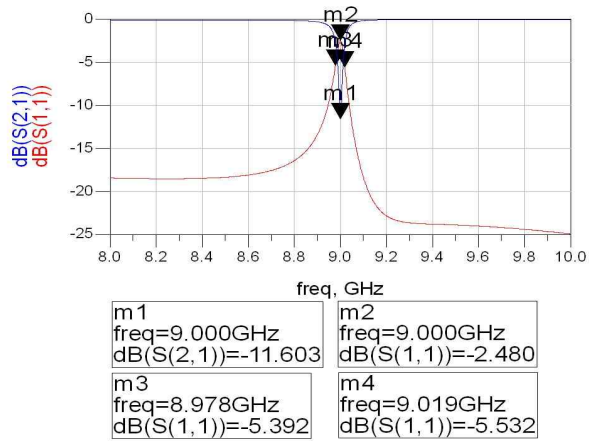
본 논문에서는 Agilent사의 ADS2008을 이용하여 모의실험을 하였다. 그림 4의 (a)와 (b)는 각각 Hair-pin 공진기와 제안된 공진기의 시뮬레이션결과이다. 그림 4의 (a)에서 기존의 Hair-pin 공진기는 중심 주파수 9.0 GHz에서 약 81.8의 Q값을 보였다. 그림 4의 (b)에서 제안된 공진기는 중심 주파수 9.0 GHz에서 219.5의 Q값을 보였다. 시뮬레이션 결과 제안된 공진기가 기존의 Hair-pin 공진기에 비해 약 137정도 Q값이 개선되었음을 확인하였다. 표 1은 그림 4의 시뮬레이션결과를 정리한 데이터이다.



m1 freq=9.000GHz dB(S(1,1))=-0.926	m2 freq=9.000GHz dB(S(2,1))=-20.220
m3 freq=8.950GHz dB(S(1,1))=-3.678	m4 freq=9.060GHz dB(S(1,1))=-3.858

(a) Hair-pin 공진기의 시뮬레이션

(a) Simulation of the hair-pin resonator



(b) 제안된 공진기의 시뮬레이션
(b) Simulation of the proposed resonator

그림 4. Hair-pin 공진기와 제안된 공진기의 시뮬레이션
Fig. 4. Simulation of the Hair-pin resonator and proposed resonator

표1. 공진기의 Q-factor 비교

Table 1. Comparison the Q-factor of resonators

	Hair-pin 공진기	제안된 공진기	개선된 Q-factor
Q-factor	81.8	219.5	137.7

2-4 SHRO 설계

그림 5는 본 논문에서 제안된 발진기이다. 각 소자 주변의 라인의 길이를 조정하여 위상조건과 부성저항 발생조건을 만족시켰다. 공진기에서 결합이 잘 일어나도록 게이트의 라인길이를 조절하였으며 FET의 게이트 단을 바라본 반사계수가 최대가 되도록 소스의 라인길이를 최적화하고 공진부의 결합선로 게이트의 라인길이를 조절함으로써 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 설계하였다.

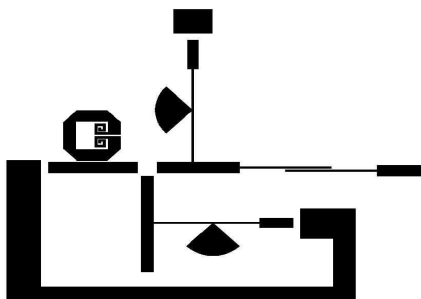
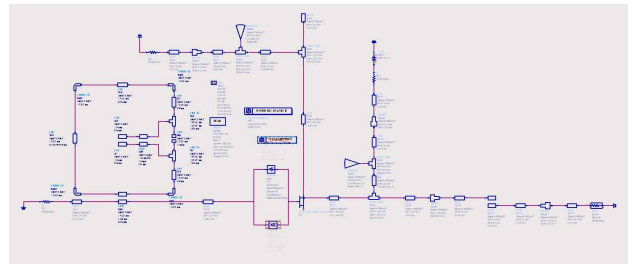
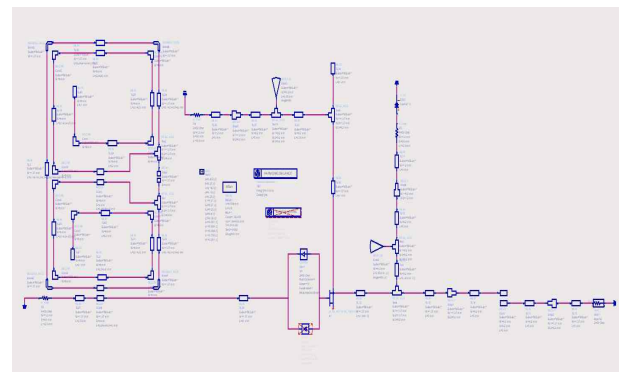


그림 5. 제안된 발진기 구조
Fig. 5. Proposed oscillator

그림 6의 (a), (b)는 각각 hair-pin 발진기와 제안된 발진기의 모의실험 회로도이다.



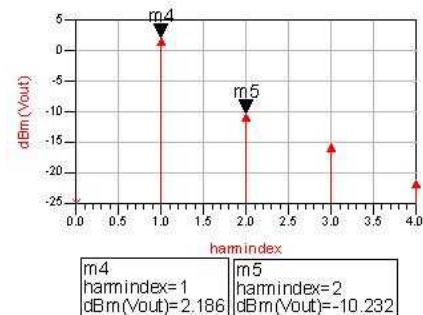
(a) Hair-pin 공진기 발진기 구성
(a) Schematic of the hair-pin oscillator



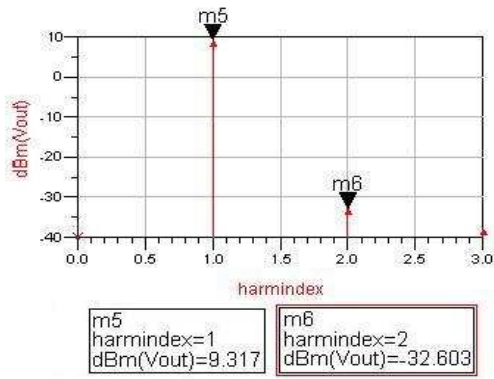
(b) 제안된 발진기 구성도
(b) Schematic of the proposed oscillator

그림 6. 발진기의 모의실험 구성도
Fig. 6. Simulation schematic of the oscillators

그림 7의 (a)와 (b)는 발진기의 전력 스펙트럼 모의실험 결과이다. 발진주파수 9.00 GHz 에서 기존 hair-pin 발진기가 약 2 dBm, 제안된 발진기가 약 9 dBm의 출력 특성을 보였다. 또한 2차 고조파 억압특성은 기존 hair-pin 발진기가 약 -12 dBc, 제안된 발진기가 약 -42 dBc로 제안된 발진기가 -30 dBc의 우수한 고조파 억압 특성을 보였다.



(a) hair-pin 공진기 발진기의 전력 스펙트럼
(a) Harmonic spectrum of hair-pin resonator Oscillator



(b) 제안된 공진기 발진기의 전력 스펙트럼
(b) Harmonic spectrum of proposed Oscillator

그림 7. 발진기의 전력 스펙트럼

Fig. 7. Harmonic spectrum of Oscillators

III. 제작 및 측정

설계된 발진기는 0.504 mm의 두께를 갖고 유전율 $\epsilon_r = 2.6$ 인 Chukoh사의 teflon 기판에 제작하였다. 능동소자(ATF-13786)는 $V_{ds} = 4.7 V$ 를 인가하였으며, 게이트 바이어스는 self 바이어스 형태를 취하여 $I_{ds} = 40 mA$ 의 바이어스 조절을 이루었다. 위상 잡음 및 출력 전력을 측정하기 위하여 Agilent사의 E4440A PSA Series Spectrum Analyzer를 이용하였다.

그림 8은 제작된 발진기의 실물 사진이다.

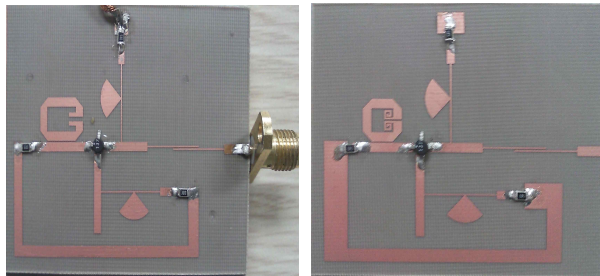


그림 8. 제작된 발진기의 사진

Fig. 8. Photograph of fabricated hair-pin resonator Oscillator and proposed resonator Oscillator.

그림 9는 제안된 발진기의 출력전력 및 2차 고조파 억압특성을 나타낸다. 중심주파수 9 GHz에서 +9.92 dBm의 출력 전력과 -42.27 dBc의 고조파 억압특성을 보인다.

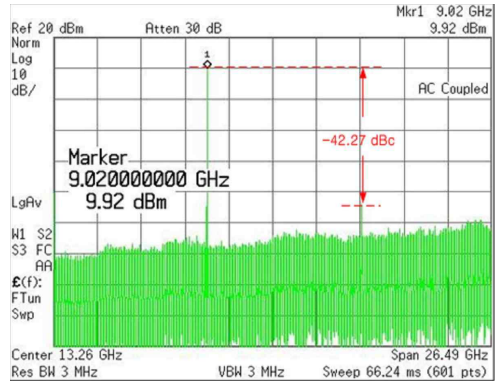


그림 9. Spiral hair-pin 공진기 발진기의 출력전력 및 2차고조파 억압특성

Fig. 9. Output power and harmonic of the spiral hair-pin resonator oscillator

그림 10은 제작된 발진기의 위상잡음 특성을 비교한 그래프이다. Hair-pin 공진기 발진기는 -73.46 dBc/Hz @ 10 kHz의 위상잡음 특성을 보이고, 제안된 발진기는 -81.00 dBc/Hz @ 10 kHz의 위상잡음 특성을 보였다. 이는 제안된 공진기를 이용함으로써 위상잡음이 개선되었다는 것을 나타낸다.

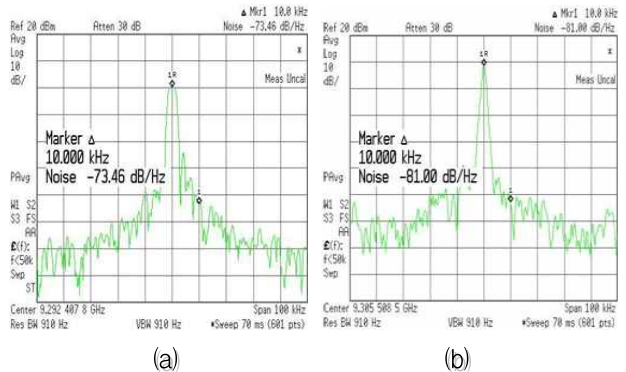


그림 10. 발진기의 위상잡음특성 비교(@ 10 kHz)

(a) Hair-pin 공진기 발진기

(b) 제안된 공진기 발진기

Fig. 10. Phase noise characteristics of Oscillator(@ 10 kHz)

(a) Hair-pin resonator oscillator

(b) spiral hair-pin resonator oscillator

표 2는 제작, 측정된 두 발진기의 특성을 비교, 정리한 것이다. 출력전력과 2차 고조파 억압특성, 위상잡음 특성이 기존의 hair-pin에 비해 제안된 구조를 취함으로써 개선됨을 확인할 수 있다.

표 2. 발진기 비교정리

Table 2. Comparison with the oscillators.

	hair-pin resonator oscillator	spiral hair-pin resonator oscillator
발진 주파수 [GHz]	9.00	9.00
출력 전력 [dBm]	2.43	9.92
2차 고조파 억압특성 [dBc]	-12.33	-42.27
위상 잡음 [dBc @ 10 kHz]	-73.46	-81.00
위상 잡음 [dBc @ 100 kHz]	-96.37	-106.70

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 Hair-pin 공진기를 개선한 Spiral 구조를 적용한 Hair-pin 공진기를 이용하여 발진기를 설계, 제작 및 측정을 하였다. 설계 주파수 9.0 GHz에서 기존의 공진기에 비해 면적을 약 50% 이상 줄였으며 Q-factor를 증가시키는 특성을 보였다. 제안된 발진기는 기존의 hair-pin 발진기에 비해 위상 잡음 특성을 약 7.5 dB 정도 개선시켰다.

제안된 발진기 구조는 MMIC로 집적화 할 경우 보다 작은 면적을 차지하는 공진 회로를 삽입하여 향후 소자의 소형화 및 제작시 단가 절감의 효과도 기대할 수 있을 것이다. 본 논문의 공진기 및 발진기의 설계 기법은 다양한 통신 시스템의 신호원 설계에 응용할 수 있을 것이라 기대한다.

참고문헌

- [1] M. Sagawa, K. Takahashi, and M. Makimoto, "Miniaturized hairpin resonator filters and their applications to receiver front-end MIC's", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, no. 12, pp. 1991-1997, Dec. 1989
- [2] F. Hwang, "Superconducting microwave bandpass filter using spiral resonators with no air bridge", *Electron. Lett.*, vol. 37, pp. 361-362, Mar. 2001.
- [3] T. H. Lee, A. Hajimiri, "Oscillator phase noise: A tutorial", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 35, no.3, pp. 326-336, Mar. 2000.
- [4] J. Choi and C. S대 "Low phase noise VCO using microstrip square open loop multiple split ring resonator", *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig. Jun. 2008*, pp. 1469-1472.
- [5] Kai Chang Encyclopedia of RF and Microwave Engineering, Wiley-Interscience, 2005