

고온초전도체와 유전체 삽입 공동 공진기를 이용한 발진기의 위상잡음 개선에 관한 연구

A Study on the Phase Noise Improvement of Oscillator using Dielectric-rod loaded Cavity Resonators with HTS End-plates

이원희^{1,a}

(Won-Hui Lee^{1,a})

Abstract

In this paper, an oscillator using dielectric-rod loaded cavity resonators with HTS(High Temperature Superconductor) end-plates was presented. It was operated at X-band. A two port cavity resonator was incorporated into a basic feedback loop oscillator configuration. A rutile loaded cavity resonator with HTS thin film end-plates was used to provide the quality factor between 10^4 and 10^6 . A parallel feedback oscillator was constructed with a dielectric loaded cavity resonator, an amplifier, and a directional coupler. At 300 K, the experimental results showed the phase noise of -108 dBc/Hz at a 100 kHz offset frequency. At 26 K, the results was -118.8 dBc/Hz at same offset frequency.

Key Words : Oscillator, HTS, Dielectric-rod loaded cavity, Quality factor, Phase noise

1. 서 론

최근 들어 급격히 증가하고 있는 통신 정보량을 처리하기 위해 다양한 통신 수단이 개발되고 있다. 발진기는 초고주파 대역 송수신 모듈의 핵심 부품 중 하나로써 전체 시스템의 성능에 직접적인 영향을 미치므로, 온도 안정성이 뛰어나고 주파수 안정성이 우수해야 한다. 발진기의 위상잡음(phase noise)은 아날로그 수신기의 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 감소시키고, CDMA 방식 등의 디지털 통신용 송수신기의 BER(Bit Error Rate)을 높이며, 통신 채널간의 간격을 제한한다[1,2]. 그러므로 quality factor가 큰 공진기와 잡음 특성이 우수한 능동소자를 사용하여 발진기를 구성하는 것이 필수적이다. 이로 인해서 마이크로스트립 공진기나 LC공진기에 비해 선택도가 크고 온도 안정성 및

주파수 안정성이 뛰어난 유전체 공진기를 공진부로 사용하는 유전체 공진 발진기의 사용이 증가하고 있다. 고온초전도체는 마이크로웨이브 주파수 대역에서 금이나 구리보다 낮은 표면 저항을 갖는다는 이점이 있어 링 공진기, 필터[3], 안테나 등에 주로 응용된다. 공진기에 초전도체를 사용하는 것은 보통의 금속 공진기보다 훨씬 더 큰 quality factor 값을 갖기 때문에 그 응용이 계속 확대될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 고온초전도 박막을 사용하여 매우 큰 quality factor 값을 갖는 공동 공진기(cavity resonator)를 구현하고, 그것을 발진기에 이용하여 저위상잡음을 갖는 발진기를 구현하고자 한다.

2. 고온초전도체를 결합한 공동 공진기

그림 1은 초전도 박막을 원통형 공동 공진기에 결합한 구조이다. 공진기의 윗벽면과 아래벽면에 HTS 필름을 장착하고, 아래벽면을 필름 홀더(film holder)로 고정시켜 HTS 필름의 손상을 막는 구조로 되어 있다. 또한 원통형 공진기 윗면은 나사의

1. 포항공과대학교 BK21 미래정보기술사업단
(경북 포항시 남구 효자동 산 31)

a. Corresponding Author : whlee@postech.ac.kr

접수일자 : 2008. 12. 29

1차 심사 : 2009. 1. 15

심사완료 : 2009. 1. 20

수나사와 암나사와 같은 형태로, 윗벽면을 움직이면서 가능 모드(mode)를 여러 가지로 여기(excitation) 시키도록 하였다. HTS 필름은 사파이어(sapphire) 기판 위에 성장시킨 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) 초전도 박막이다. 원통형 공진기 내부의 유전체는 루타일(rutile)을 사용하였다. 루타일의 비유전율은 상온에서 80, 저온에서 110을 갖는다.

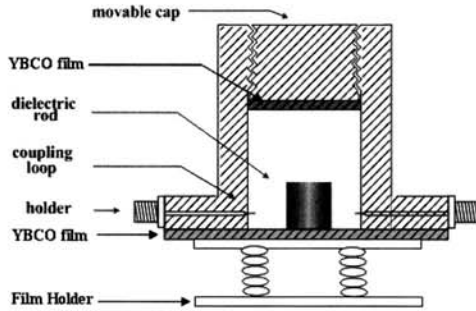


그림 1. 초전도 박막을 공진기에 결합한 구조.
Fig. 1. A structure of resonator with HTS thin film end-plate.

그림 2에는 실제로 제작된 원통형 공동 공진기의 사진을 나타내었다. 사진 왼편의 윗 뚜껑에 위치해 있는 것이 YBCO 초전도 박막이다.

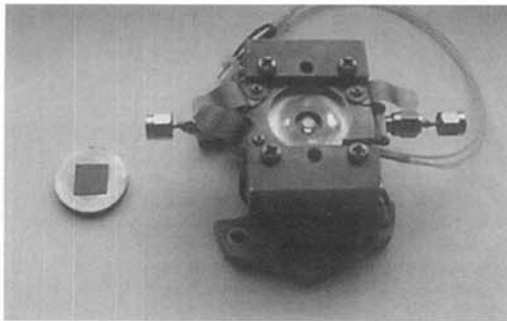


그림 2. 제작된 원통형 공진기.
Fig. 2. A fabricated cylindrical cavity resonators.

그림 3에는 HP사의 8510C 네트워크분석기를 통해 사파이어 기판위에 성장한 YBCO 초전도 박막을 그림 1과 같이 유전체의 위와 아래에 설치하고 26 K의 온도에서 측정된 quality factor 측정 결과이

다. 그림 3에서 초전도 박막을 삽입하고, 26 K에서 측정된 quality factor는 176,000으로 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 참고로 초전도 박막을 삽입하지 않고 quality factor를 측정하면 1,440으로 특성치가 매우 작은 것을 실험으로 확인할 수 있었다.

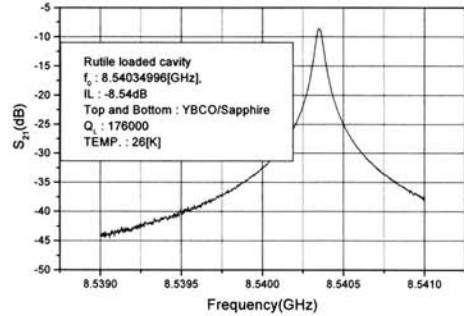


그림 3. 초전도 박막을 삽입한 공진기의 quality factor.
Fig. 3. The quality factor of resonator with HTS thin film end-plate.

3. 발진기의 전사 모사

3.1 발진기의 설계 목표

본 논문에서는 고온 초전도 박막을 사용한 High-Q(quality factor) 공동 공진기를 이용하여 X-Band에서 사용 가능한 저위상잡음 특성을 갖는 발진기를 설계 제작하고자 한다. 그 설계 목표를 표 1에 나타내었다.

표 1. 발진기 설계 목표

Table 1. The specification of oscillator.

항 목	설 계 목 표
발진주파수	9 GHz
전류소모	60 mA
출력레벨	0 dBm
하모닉억제	-20 dBc
공진기 Q	$10^4 \sim 10^6$
위상잡음	-120 dBc/Hz @100 kHz

3.2 발진기의 전사 모사 및 결과

각기 설계한 증폭기, 방향성 결합기, 공진기를 이용하여 그림 4와 같이 구성하여 최종적으로 발

진기를 설계하였다. 또한 그림 5는 상용 시뮬레이션 툴인 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 전산 모사한 발진기의 회로도이다. 발진주파수는 협대역 대역 통과 필터 역할을 하는 공진기의 공진주파수에 의해 결정되며, 공진기의 quality factor 값에 의해 발진기의 위상 잡음 특성도 변하게 된다. 발진기 구성에 있어 공진기는 케환 회로에 해당한다.

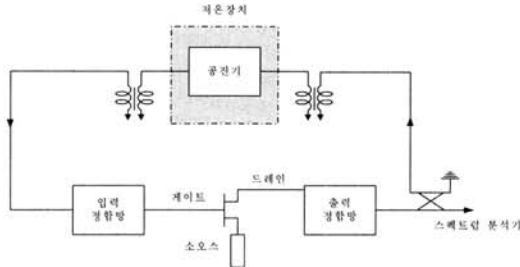


그림 4. 발진기의 구성도.
Fig. 4. The oscillator structure.

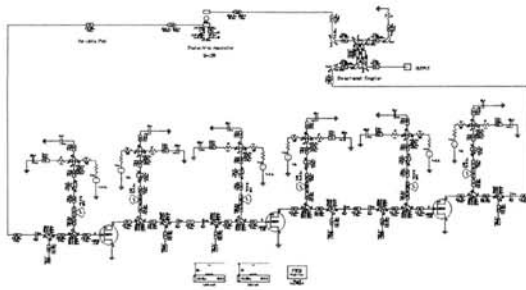
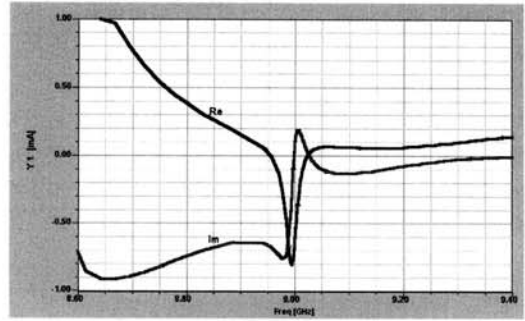


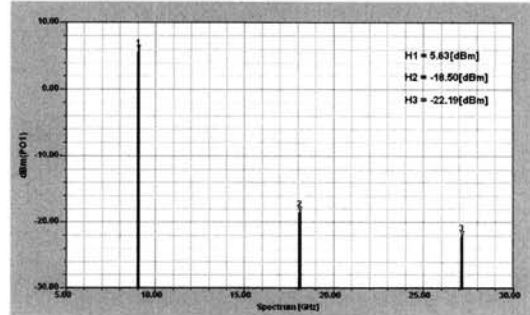
그림 5. 발진기의 회로도.
Fig. 5. The oscillator circuit diagram.

그림 6에 발진기의 부성 저항 특성을 보여주는 커브와 출력 스펙트럼을 나타내었다. 설계 주파수 부근에서 부성저항 특성이 나타나며, 정확히 9 GHz에서 리액턴스 성분이 0이 되어 회로의 발진을 예측할 수 있다. 주파수 범위를 넓게 보아서 다른 영역에서는 부성저항 특성이 일어나지 않을 것을 확인하였다. 이것은 곧 기생 발진이 없이 발진기의 설계가 잘 이루어졌다는 것을 의미한다[4-7].

전산 모사 결과 5.63 dBm의 출력과 20 dBc 이상의 하모닉 억제를 얻었다. 위상 잡음 특성은 10 kHz 오프셋 주파수에서 -110.79 dBc/Hz, 100 kHz 오프셋 주파수에서 -130.79 dBc/Hz의 결과를 얻어, 위상 잡음 설계 목표인 -120 dBc/Hz @100 kHz를 만족하는 결과를 얻었다.



(a) 발진기의 부성저항 특성
(a) The negative resistance characteristic



(b) 출력 스펙트럼.
(b) The output spectrum

그림 6. 전산 모사 결과.
Fig. 6. The simulation results.

4. 제작 및 측정 결과

그림 7과 같이 발진기를 제작하고, 그 결과를 측정하였다.

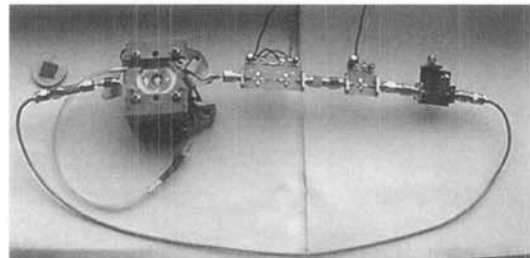


그림 7. 제작된 발진기.
Fig. 7. The fabricated oscillator.

측정 장치는 HP사의 E4407B 스펙트럼 분석기를 사용하여 출력을 측정하였으며, 첫 번째 실험은 quality factor가 1,440인 공진기를 이용하였다. 바

이어서 조건은 $V_d=5$ V, $V_g=-0.8$ V이며 전류 소모는 60 mA였다. 발진주파수는 9.042 GHz로 공진기의 공진주파수와 정확히 일치하였으며, 하모닉 억제는 28 dBc, 출력 전력 레벨은 -13.97 dBm, 위상 잡음은 100 KHz 오프셋 주파수에서 -108 dBc/Hz를 얻었다.

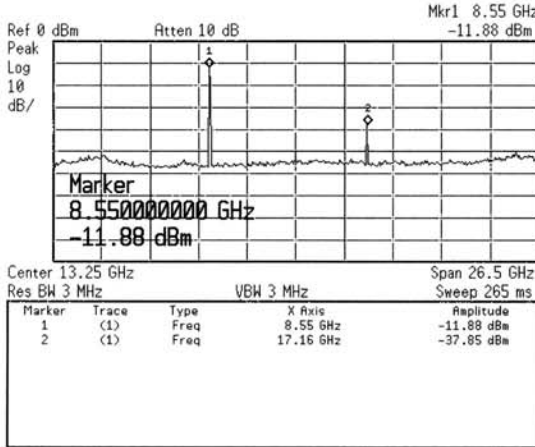


그림 8. 발진기의 출력 스펙트럼.
Fig. 8. The output spectrum of oscillator.

두 번째 실험은 HTS 삼입 공진기만 저온 장치에 넣어 냉각시키고 증폭기와 방향성 결합기는 상온으로 유지하여 저온 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다. 그림 8은 quality factor가 176,000인 공진기를 이용한 측정 결과이다. 발진주파수는 8.563 GHz, 하모닉 억제는 26 dBc, 출력 전력 레벨은 -11.88 dBm, 위상 잡음은 100 kHz 오프셋 주파수에서 -118.8 dBc/Hz를 얻었다. 목표로 하였던 발진기 spec.에 약간 미달하는 결과를 얻었지만, 대체

로 만족한 결과를 얻었다. 약간의 결과가 목표 spec.에 미달한 이유는 공진기를 냉각시키는 저온 장치에서 진공 펌프의 진동이 그대로 발진기의 신호로 들어와 잡음으로 작용했기 때문이라고 사료된다.

5. 결론

상온에서의 측정 결과는 발진 주파수 9 GHz, 출력 전력 -13 dBm, 그리고 100 KHz 오프셋 주파수에서 -108 dBc/Hz를 얻었다. 저온 측정 결과는 발진 주파수 8.5 GHz, 출력 전력 -11 dBm, 그리고 -118.8 dBc/Hz의 위상잡음이 측정되었다. 저온에서 위상잡음이 목표 spec.과 약간의 차이가 있는 이유는 공진기 냉각장치에 포함된 진공 펌프의 진동이 발진기에 원하지 않는 잡음원으로 작용했기 때문이다. 위상잡음이 설계 목표에는 약간 미달하였지만, 통신용 발진기로 사용하기에는 손색이 없다고 생각한다. 다만, HTS 삼입 공진기의 안정적인 냉각 장치의 구조 설계는 앞으로의 큰 과제라고 생각한다.

참고 문헌

- [1] B. Cheng, "Signal generator spectral purity considerations in RF communications testing", *Microwave Journal*, Vol. 10, No. 1, p. 22, 1999.
- [2] C. Moore and B. Kopp, "Phase and amplitude noise due to analog control components", *Microwave Journal*, Vol. 12, No. 1, p. 64, 1998.
- [3] 정동철, "고온초전도체의 마이크로파 통신소자 연구개발 현황", *전기전자재료*, 16권, 11호, p. 11, 2003.
- [4] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers 2/E : Analysis and Design S/C", Prentice Hall, p. 98, 2006.
- [5] A. Grebennikovi, "RF and Microwave Transistor Oscillator Design", John Wiley & Sons, p. 83, 2007.
- [6] G. D. Vendelin, A. M. Pavio, and U. L. Rohde, "Microwave Circuit Design using Linear and Nonlinear Techniques 2ND", John Wiley & Sons, p. 719, 2005.
- [7] E. Ngoya, J. Rousset, and D. Argello, "Rigorous RF and Microwave Oscillator Phase Noise Calculation by Envelope Transient Technique", *IEEE MTT-S Digest*, p. 91, 2000.