

# Aperture를 이용한 Hair Pin 발진기의 위상잡음 개선에 관한 연구

장옥태, 서철현, 오익수  
승실대학교 정보통신 전자공학부  
wave95@wave.ssu.ac.kr

## A Novel Phase Noise Reduction in Hair Pin Oscillator Using Aperture

Uktae Chang, Chulhun Seo, IcSu Oh  
School of Electronic Engineering, Soongsil Univ

### Abstract

Aperture has been employed on the ground plane in the Hair Pin resonator. Aperture made by etching the part of the ground effected coupling coefficient and then quality factor of Hair Pin resonator has been increased. When the hair pin oscillator using aperture has been compared with the conventional hair pin oscillator using microstrip, it has been improved the phase noise about 19dBc @100KHz. Oscillation frequency of the hair pin oscillator using aperture has been 5.83GHz band and output power is -4.33dBm.

### I. 서론

근래의 무선통신에서 Direct Conversion 방식이 활발히 진행되어지고 있다. 기존의 헤테로다인방식은 달리 Direct conversion 방식에서의 국부발진기의 위상잡음 특성이 강조되고 있다. 시스템 전체에서 위상잡음은 통신품질과 안정성에 크게 영향을 줄뿐만 아니라, 시스템 전체 소형화를 좌우하므로 중요한 RF부품으로 여겨지고 있다. 또한 한정된 주파수 자원의 문제로 인해 점차 높은 주파수대역으로 통신대역이 옮겨지고 있는 상황이다. 특히 발진기의 경우 주파수가 높아짐에 따라 인덕터와 캐패시터의 제작이 힘들고, 성능이 좋은 Yig 나 DR을 이용한 경우에는 직접화하기에 용이 하지 않아서 마이크로스트립을 이용한 공진기가 많이 개발되고 있다.

초고주파 발진기의 위상잡음 특성에 영향을 주는 주요요인으로 반도체 소자의 플리커 잡음 및 전원 잡음, 기판을 타고 들어오는 잡음 또는 공진기의 특성 등에 의해서 영향을 받는다고 알려져 있다. 이와 같은 원인 중에 우리가 위상잡음을 줄이기 위해서는 공진기의 Q값을 향상시키거나 적절한 바이어스 회로를 이용하는 방법 또는 모듈레이션된 플리커 잡음을 억제시키기 위하여 Feedforward 회로를 이용하는 방법 등이 있다. [1-3]

마이크로스트립을 이용한 공진기는 제작과 내장이 용이하여 여러 가지 형태에 대한 연구가 많이 진행되어왔다. 발진기에서 가장 중요한 위상잡음은 공진기가 가지고 있는 Q값에 의하여 좌우된다는 이론은 이미 알려져 왔다. 마이크로스트립을 이용한 공진기의 경우 가지고 있는 Q값이 작기 때문에 발진기에서 위상잡음을 억제하는 데는 그 한계가 있다. 이를 개선시키기 위하여 Hair Pin 발진기에 Aperture를

적용하였다. Hair Pin 발진기의 경우 밀리미터 웨이브 대역 및 MMIC로된 전압제어 발진기 및 공진기에도 많이 설계되고 있다.

## II. Aperture를 이용한 Hair Pin 공진기

Hair Pin 공진기는 다음 수식과 같이 분석할 수 있다.

$Z_s$  : 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스

$\theta_s$  : 마이크로스트립 라인의 전기적 길이

$Z_{pe}, Z_{po}$  : 병렬 결합라인의 짝수 모드, 홀수 모드

$\theta_{pe}, \theta_{po}$  : 병렬 결합라인의 짝수 모드 전기적길이, 홀수 모드 전기적 길이

Hair-Pin 공진기의 공진 조건들은 전송선과 캐패시터로 표현되는 ABCD 행렬에 의해 얻을 수 있다[4].

Hair-Pin 공진기에 있어서의 파라미터들은  $\theta_{po} = \theta_{pe} = \theta$  일때, 다음의 식을 만족해야 한다.

$$(Z_{pe}Z_{po}\cot\theta_p - Z_s^2\tan\theta_p)\sin\theta_s + Z_s(Z_{pe} + Z_{po})\cos\theta_s - Z_s(Z_{pe} - Z_{po}) = 0 \quad (\text{식 1})$$

Hair-Pin 공진기는 [그림 1]에서 보이는 것처럼 공진 점들에서 짝/홀수 모드로 표현되어 질 수 있다. 개방구조를 가진 병렬 결합선 들은 공진 점들에서 홀수 또는 짝수 모드 전자기장 분포중 하나를 가지고 있다고 생각할 수 있다. 식(2)와 식(3)은 짝/홀수 모드에서 Hair-Pin 공진기의 공진 조건을 보여준다.

$$\tan(\theta_s/2) \cdot \tan\theta_p = K_o = Z_{po}/Z_s \quad (\text{식 2})$$

$$\tan(\theta_s/2) \cdot \tan\theta_p = K_e = Z_{pe}/Z_s \quad (\text{식 3})$$

Hair Pin 공진기의 경우 Aperture를 적용했을 경우 공진 주파수가 변화게 된다. Aperture의 효과는 이미 앞서 여러 논문에서 발표 되어 왔다. 대역통과 여파기에서 자계 결합과 전계결합으로 인해 결합계수가 증가되는 것을 알 수 있다[5].

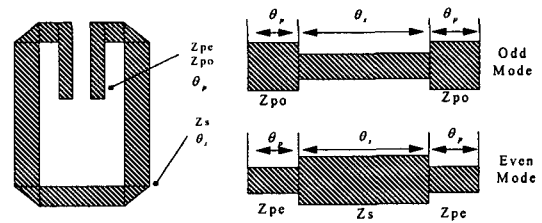


그림 1. Hair Pin 공진기

본 논문에서는 마이크로스트립 Hair Pin 공진기의 결합을 증가시키기 위하여 Aperture를 이용하였다. Aperture는 Hair Pin 공진기 중에서 커플링이 일어나는 부분에 접지면을 식각하였다. 커플링이 강하게 일어나는 곳 일수록 공진기의 특성이 많이 바뀌었다[4-9].



(a)Top

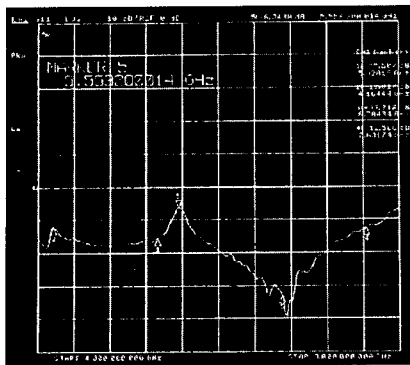


(b)Bottom

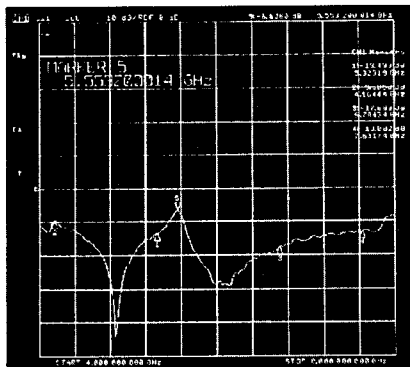
그림 2. Aperture를 사용한 Hair Pin 공진기

[그림 2]은 Aperture를 적용한 Hair Pin 공진기에 제작하였으며 이 제작된 공진기의 S 파라미터 특성을 HP8719D 네트워크 분석기로 측정하였다.

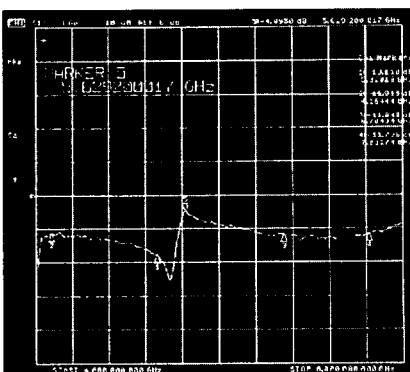
Aperture 특성을 보기 위하여 [그림 2]에서 각각 크기가 다른 Aperture를 Hair Pin 공진기에 적용하였다. (a)의 크기는 9.7mm×4.6mm (b) 6.1mm×4.6mm (c) 6.1mm×1.1mm의 크기로 적용하였다. [그림 3]에서는 Aperture의 각 크기마다 측정된 결과이다. 측정결과를 보면 주파수가 저주파로 천이 되는 것을 볼 수 있으며 동시에 S11 특성이 증가하는 것을 볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. Aperture를 사용한 Hair Pin 공진기 S 파라미터 특성

- (a) Aperture 크기 9.7mm×4.6mm
- (b) Aperture 크기 6.1mm×4.6mm
- (c) Aperture 크기 6.1mm×1.1mm

### III. Aperture를 적용한 Hair Pin 발진기 설계 및 측정결과

발진기 설계시 가장 많이 이용하는 것이 트랜지스터로 사용하는 방식이다. 트랜지스터의 역할은 증폭

및 궤환회로와 함께 부성저항을 형성하여 지속적인 발진을 할 수 있도록 하는데 있다. 공진조건에 맞을 때 발진부의 발진 파형은 증폭되어 출력단으로 전달되게 된다. 원하는 주파수에서 발진하려면 트랜지스터는 불안정하게 동작하게 된다. 실제 제작된 발진기는 FET트랜지스터를 이용하여 Source 단에 인덕터와 마이크로 스트립라인을 이용하여 부성저항을 발생시켰다. 그리고 출력정합회로를 발진조건에 맞게 설계하였으며,  $\Pi$  절에서 마이크로 스트립라인을 이용한 Hair Pin공진기를 설계하였다. HP사의 Advanced Design System(ADS)를 이용하여 S 파라미터 특성을 이용하여 초기 발진 조건에 만족하는지 튜닝 작업을 거쳐 확인한 후에 실제 제작시 발진이 되는지 확인해보기 위해 비선형 시뮬레이션인 Harmonic Balance 시뮬레이션을 통하여 확인해 보았다. 모의실험 결과 발진주파수는 5.89 GHz에서 발진하였으며, 출력전력은 0.497dBm을 획득하였다. 2nd 하모닉파의 전력 차는 12.9 dBc의 차를 나타냈다. 일반적으로 비선형 시뮬레이션이기 때문에 비선형 모델이 제공되지 않으면 시뮬레이션되지 않는다. 1MHz offset에서 약 -102dBc의 위상잡음을 획득하였다.

Aperture 효과를 비교하기 위하여 Aperture를 적용하지 않은 Hair Pin 발진기와 Aperture를 적용한 발진기를 제작하여 서로 비교하였다. 사용된 기판은 유전율이 3.2이고 두께가 0.01mm 그리고 높이가 0.76mm인 테플론 기판을 사용하였다. 사용된 소자는 NEC사의 NE3210S01 JFET 계열에 소자를 사용하였으며, 바이어스 라인은  $\lambda/4$  스테브와 방사형 스테브를 이용하여 설계하였다. JFET 계열의 장점이 채널이 형성되어 있으므로 하나의 바이어스 라인만 이용하여 크기를 줄여 DC전원을 공급하였다. Aperture 효과를 증명하기 위하여 일반적인 Hair Pin 발진기와 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기를 제작 비교하였으며 제작된 회로의 크기는 57.8mm×32.4mm 이다.

제작된 발진기의 출력전력 및 위상잡음 특성은 HP8565EC 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. [그림 4]은 각각 제작된 발진기의 실제 제작된

Aperture를 적용하지 않은 Hair Pin 발진기와 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기의 모습을 보여 주고 있다. [그림 4]에서 보면 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기의 경우 트랜지스터의 소스 단에 스테브와 출력정합회로의 스테브의 길이가 다른데 이는 틀어진 주파수를 잡기위해 튜닝 작업을 한 것이다. Aperture를 적용하지 않은 Hair Pin 발진기의 발진주파수는 5.84 GHz에서 발진하였으며, 출력전력은 -4.83 dBm을 획득하였다. 또한 1 MHz offset에서 -107.83 dBc의 위상잡음을 획득하였고, 100 KHz offset에서 -86.34 dBc의 위상잡음을 획득하였다.

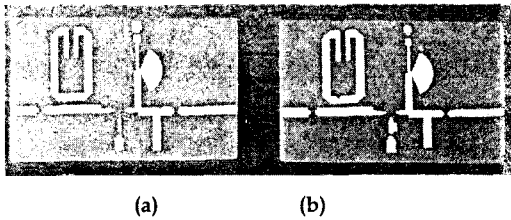


그림 4.

- (a) Aperture를 사용하지 않은 Hair Pin 발진기
- (b) Aperture를 사용한 Hair Pin 발진기

II에서 설계된 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기를 제작하였다. [그림 5]에서는 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기의 출력전력과 발진 주파수를 나타내고 있다. 발진 주파수는 5.83 GHz로 Hair Pin 발진기와는 약 10 MHz 이동한 것을 볼 수 있다. 이는 Aperture를 적용함으로써 위상이 변화함으로써 발진 조건이 이동한 결과이다. 출력전력은 -4.33 dBm 으로 약 0.5dBm정도 출력이 증가 되었다.

[그림 6, 7]은 Aperture를 적용한 Hair Pin 발진기의 위상잡음을 나타내고 있다. [그림 6]에서는 1 MHz offset에서 -122.84 dB를 획득하였고, [그림 7]에서는 100 KHz offset에서 -104.83 dBc의 위상잡음을 획득하였다. 모의실험 결과 및 Hair Pin 발진기와 Aperture가 적용된 Hair Pin 발진기의 측정 결과를 [표 1]에서 비교 해보았다.

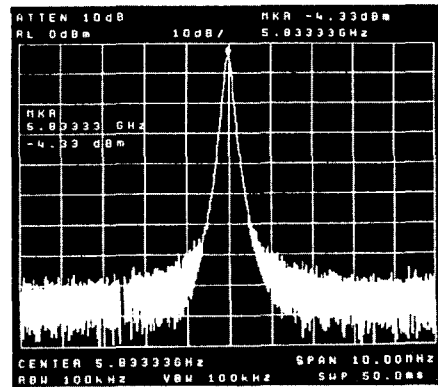


그림 5. Aperture를 사용한 Hair Pin 발진기의 출력전력

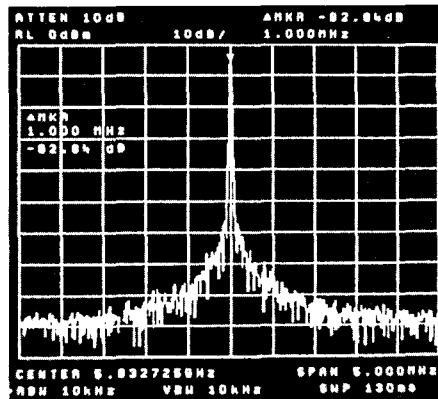


그림 6. Aperture를 사용한 Hair Pin 발진기의 위상잡음(1MHz offset)

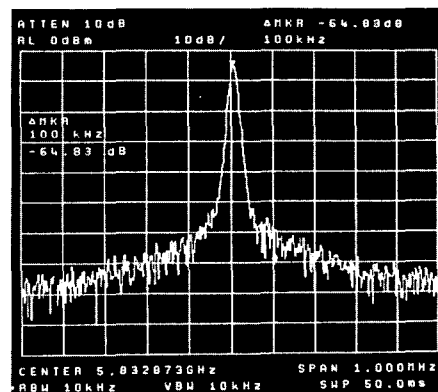


그림 7. Aperture를 사용한 Hair Pin 발진기의 위상잡음(100KHz offset)

#### IV. 결론

본 논문에서는 Hair Pin 발진기에서 위상잡음을

개선하기 위해서 Aperture를 마이크로스트립 접지면에 적용하였다. 루프간 간격을 좁히는 대신 결합이 일어나는 곳의 뒤의 접지면의 일부를 예칭한 Aperture를 구현하여 스트립라인과 그라운드간의 결합은 감소시키고, 두 개의 결합라인간의 결합을 증가시켰다. 이렇게 함으로써 기존의 Hair Pin 발진기보다 Aperture를 적용함으로써 더 우수한 위상잡음을 획득하였다. Aperture를 적용한 Hair Pin 발진기와 기존의 Hair Pin 발진기는 5.83GHz 대역에서 발진하였으며, 100KHz offset에서 위상잡음이 약 19dBc 개선하였다. 출력전력은 -4.33dBm을 획득하였다.

	모의 실험결과	Hair Pin 발진기	Aperture를 사용한 Hair Pin 발진기
발진 주파수 (GHz)	5.89	5.84	5.83
출력전력 (dBm)	0.497	-4.83	-4.33
위상잡음 (dBc) @100KHz	-84.27	-86.34	-104.83
위상잡음 (dBc) @1MHz	-104.2	-107.83	-122.84

표 1. 실험 결과

### 참 고 문 헌

[1] Broomfield, C.D., Everard, J.K.A., "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers" Frequency Control Symposium and Exhibition, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE/EIA International, pp 525-530, 2000.

[2] C.D. Broomfield and J.K.A Everard, "Flickernoise reduction using GaAs Microwave Feedforward Amplifier"2000 IEEE International Frequency control symposium, Kansas City, June 2000.

[3] Young-Taek Lee, Jong-Sik Lim, Jun-Seok Park, Ahn, D.; Sangwook Nam, "A novel phase noise

reduction technique In oscillators using defected ground structure" Microwave and Wireless Components Letters, IEEE., vol. 12, Issue: 2, pp. 39-41, Feb 2002.

[4] Jun-Ha Hwang; Ja-Soo Cho; Jong-Heon Kim; Jong-Chul Lee; Bok-Ki Kim; Nam-Young Kim; Ui-Seok Hong;"Effective structure of a push-push oscillator using a hair-pin resonator for K-band application " Microwave Conference, 1999 Asia Pacific, Volume: 2, 30 Nov.-3 Dec. 1999

[5] 임석순, 서철현, 김재훈, 김영완, 김내수, "Aperture를 이용한 개방형 루프공진 여파기 성능개선에 관한 연구", 한국 통신학회지 제 27 권 12B, pp1207-1213, 2002.12

[6] Y Cheng, Czuba, K.; Kompa, G;"K-band phase locked hair-pin oscillator" Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. IEEE International Symposium on, Volume:4, 26-29 May 2002.

[7] Lee, Y.D.; Lee, M.H.; Lee, K.H.; Hong, W.P.; Hong, U.S, " Voltage-controlled hair-pin resonator oscillator with new tuning mechanism " Electronics Letters, Volume:36, Issue: 17, 17 Aug. 2000.

[8] An-Sun Hyun; Hoon-Seok Kim; Ji-Yong Park; Jong-Heon Kim; Jong-Chul Lee Nam-Young Kim; Bok-Ki Kim; Ui-Seok Hong "K-band hair-pin resonator oscillators "Microwave Symposium Digest, 1999 IEEE MTT-S International, Volume:2, 13-19 June 1999.

[9] Takahashi, K.; Sagawa, M.; Makimoto, M.;"Miniaturized hair-pin resonator filters and their applications to receiver front-end MICs "Microwave Symposium Digest, 1989, IEEE MTT-S International, 13-15 June 1989.

[10] 류근관, 이문규, 염인복, 이성팔, "Ka band 위성 중계기용 저위상잡음 국부 발진기의 설계 및 제작 " 한국 전자파학회논문집, 제13권 6호, pp552-559, 2002.07.