

# 소형화된 헤어핀 링 공진기를 이용한 발진기 설계 및 제작에 관한 연구

## A Study on the Design and Implementation of the Oscillator Using a Miniaturized Hairpin Ring Resonator

김장구\*, 최병하\*\*

Jang-Gu Kim\*, Byoung-Ha Choi\*\*

### 요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 헤어핀 형태의 링 공진기를 이용하여 저위상 잡음을 개선한 소형화된 S 대역에 사용가능한 발진기를 설계 및 제작하였다. 기판은 고조파 특성이 우수한 유전율  $\epsilon_r=3.5$  기판두께  $h=20\text{ mil}$  금속두께  $t=17\text{ }\mu\text{m}$  손실 탄젠트  $\tan\delta=0.0025$ 인 TACONIC사의 RF-35를 사용하였다. 측정된 결과 발진 주파수는 2.45 GHz에서 출력전력은 20.9 dBm으로서 기존의 발진기에 비하여 상당히 높은 출력을 얻었고, 위상 잡음 특성은 100 kHz offset에서 -100.5 dBc/Hz로서 기존의 발진기 성능과 비교하면 우수한 특성이 있음을 확인할수 있었고, 고조파 억압 특성은 32 dBc 이상으로서 우수한 특성을 갖는 발진기임을 보여주었다. 본 논문에서 제안된 발진기의 형태를 이용하여 RFIC, MIC, MMIC형태로 제작한다면 발진기를 소형화할 수 있을 것이며, 이 제작된 발진기는 S-밴드의 주파수원으로 이용 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

### Abstract

In this paper, an S-band oscillator of the low phase noise property using miniaturized microstrip hairpin shaped ring resonator has been designed and implemented. The TACONIC's RF-35 substrate has a dielectric constant  $\epsilon_r=3.5$  a thickness  $h=20\text{ mil}$  a copper thickness  $t=17\text{ }\mu\text{m}$  and loss tangent  $\tan\delta=0.0025$ . The designed and implemented 2.45 GHz oscillator shows low phase performance of -100.5 dBc/Hz a 100kHz offset. Output power 20.9 dBm at center frequency 2.45 GHz and harmonic suppression -32 dBc. The circuit was implemented with hybrid technique. But can be fully compatible with the RFIC's, MIC and MMIC due to its entirely planar structure.

Key words : S-band oscillator, low phase noise, hairpin ring resonator, RFIC's, MIC, MMIC

### I. 서 론

최근의 무선 이동통신 시장이 급속히 발전함에 따라 S-밴드 영역에서 저비용, 소형, 저위상 잡음의

특성을 갖는 발진기가 요구되고 있으며, 특히 유전체 공진기를 이용한 발진기는 저위상 잡음 특성을 갖기 때문에 폭넓게 이용되어 왔다[1]. 마이크로파 발진기는 사용되는 능동소자에 따라 여러 가지의 형태로 구

\* 일본 동경공업대학 종합이공학연구과 물리전자 창조전공(Department of Electronics & Applied Physical. Interdisciplinary Graduate Science & Engineering Japan Tokyo Institute of Technology

\*\* 목포해양대학교 해양전자통신공학부(Div. of Marine Electro. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University

· 제1저자 (First Author) : 김장구

· 접수일자 : 2008년 4월 7일

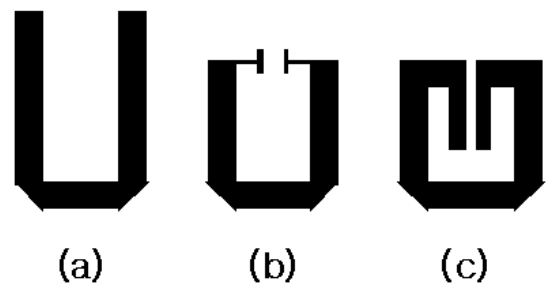
현될 수 있다. 먼저 사용하는 능동소자를 살펴보면 낮은 위상 잡음과 높은 DC-RF의 변환효율을 갖는 BJT(Bipolar Junction Transistor) 10 GHz 이하의 주파수에서 많이 이용되나, 높은 주파수에서는 성능저하로 인하여 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor)나 HEMT(High Electron Mobility Transistor), Gunn Impact 다이오드를 이용하고 있다. 특히 마이크로파대에서는 주파수와 가격, 잡음, 설계의 신뢰성 등에서 GaAs FET나 HEMT가 널리 이용되고 있는 실정이다. 다이오드 발진기의 경우 다이오드 자체의 물리적 성질에 의해 발진 특성이 결정되는 반면, 트랜지스터 발진기는 회로를 이루는 구조와 구성의 소자에 의해서 발진 특성이 결정된다. 따라서 MIC(Monolithic Integrated Circuits), MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit), RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)에서는 트랜지스터 발진기가 보다 적합하게 널리 사용되고 있다. 일반적으로 마이크로파용 발진기는 능동소자의 주파수를 고정하는 공진회로를 사용한다. 공동 공진기(Cavity Resonator), 유전체 공진기(Dielectric Resonator), 마이크로스트립 공진기(Microstrip Resonator)등 마이크로파대에서 널리 사용이 가능한 공진기는 여러 종류가 있다. 이중 유전체 공진기는 높은 Q값과 적은 부피, 집적도가 높은, 온도 특성이 좋아 마이크로파 공진 회로에 많이 사용되고 있다. 또한 유전체 공진기를 이용한 발진기는 다른 공진기를 이용한 발진기에 비해 뛰어난 온도 특성과 Q값이 높고, 위상잡음이 좋은 장점이 있다. 그러나, 유전체 공진기의 3차원 구조적인 무제로 인하여 MMIC에 적용하기에 부적합하기 때문에 평면구조를 갖는 저위상 잡음 특성을 갖는 공진기가 개발되어 사용되고 있다[2][3]. 이러한 평면 구조 형태의 공진회로는 공정이 용이하기 때문에 많은 관심을 두고 개발되어 왔다. 그러나 크기가 거의 반파장( $\lambda/2$ )에 이르기 때문에 발진기 회로의 크기가 증가하게 되고 그로 인하여 MMIC 공정에 의해 발진기의 비용이 상승하게 한다. 지금까지 평면구조의 다양한 마이크로스트립 형태의 공진기가 소개되었으며[4][5], 그 중에서 헤어핀 형태의 쪼개진 링 모양의 마이크로스트립 공진기는 그 크기가 상당히 소형화되어 MIC, MMIC 발진기와 필터 뿐만 아니라 RFIC에 많이 이용되고 있다. 따라

서 본 논문에서는 발진기의 공진부를 MIC, MMIC, RFIC에 내장이 용이한 평면구조를 가진 기존의 마이크로스트립 헤어핀 공진기를 변형하여 소형화시킨 평형 이중선로의 쪼개진 링 형태의 헤어핀 공진기를 설계하여 S-밴드 주파수 대역에서 이용 가능한 저위상 잡음과 높은 출력 특성을 갖는 발진기를 설계 및 제작하였다.

## II. 헤어핀 형태의 발진기

### 2-1 공진기 이론

마이크로스트립 선로를 이용한 공진기는 크게 디스크 공진기, 링 공진기, 헤어핀공진기를 분류된다. 이 중에서 헤어핀 공진기는 튜닝이 쉽고 기능성, 집적성이 뛰어나 RFIC, MIC나 MMIC의 집적화에 많이 이용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 링 형태의 소형화된 헤어핀 공진기를 이용한 발진기를 제안하였다. 그림 1은 헤어핀 공진기의 종류를 보여주고 있다.



(a) 일반적인 헤어핀 공진기  
 (b) 수동 소자를 이용한 소형화된 헤어핀 공진기  
 (c) 결합선로를 갖는 소형화된 헤어핀 공진기  
 그림 1. 헤어핀 공진기의 종류

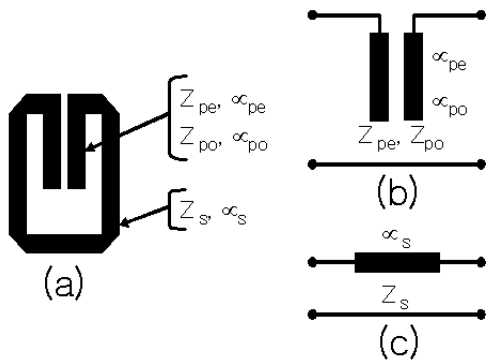
Fig. 1. Some structural variations of hairpin resonator.

평면형 필터의 기본이 되는  $\lambda/2$  개방선로형 공진기를 이용하는 대역통과 필터는 공진기 길이에 의해 전체 크기가 매우 커지게 되므로, 각 공진기를 그림 1(a)와 같이 U자형으로 구부려 전체 길이를 상당히 짧게 할 수 있다. 이와 같은 소자를 헤어핀 형태의 공진기라고 부르고, 각 공진기의 방향을 같은 방향으로 정렬하는 경우와 역방향으로 정렬하는 2가지 방법이

있다. 전자 쪽은 결합이 약하여 협대역 설계에 이용되고 있다. 이것을 더욱 소형화한 것이 그림 1(c)에 나타난 구조인데 U자 내부의 결합선로에 의해 소형화가 실현되지만, 그림 1(a)에서는 발휘되지 않는 별도의 결합이 발생한다.

2-2 헤어핀 공진기의 해석

그림 1(c)에 있는 링 형태의 소형화된 헤어핀 공진기는  $Z_s, \theta_s, Z_{pe}, Z_{po}, \theta_{pe}, \theta_{po}$  의 파라미터를 이용하여 해석할 수 있다[5][6][7].



(a) 헤어핀 공진기  
(b) 병렬 결합 선로  
(c) 단일 전송선로

그림 2. 헤어핀 공진기의 종류

Fig. 2. Electrical parameters of hairpin resonator.

$Z_s$ : 전송선로의 특성임피던스

$\theta_s$ : 전송선로의 전기각

$Z_{pe}, Z_{po}$ : 병렬 결합선로의 우수, 기수 모드 임피던스

$\theta_{pe}, \theta_{po}$ : 병렬 결합선로의 우수, 기수 모드 전기각

이러한 파라미터를 이용하여 그림 2(b)에 있는 병렬 결합선로는 ABCD파라미터를 이용하여 다음 식 1과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \frac{Z_{pe} \cot \theta_{pe} + Z_{po} \cot \theta_{po}}{Z_{pe} \cot \theta_{pe} - Z_{po} \cot \theta_{po}} & j \frac{2Z_{pe} \cot \theta_{pe} \cot \theta_{po}}{Z_{pe} \cot \theta_{pe} - Z_{po} \cot \theta_{po}} \\ j \frac{2}{2Z_{pe} \cot \theta_{pe} - Z_{po} \cot \theta_{po}} & \frac{Z_{pe} \cot \theta_{pe} + Z_{po} \cot \theta_{po}}{Z_{pe} \cot \theta_{pe} - Z_{po} \cot \theta_{po}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

그리고 그림 2(c)에 있는 단일 전송선로는 다음 식 2와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_s & jZ_s \sin \theta_s \\ j \frac{\sin \theta_s}{Z_s} & \cos \theta_s \end{pmatrix} \quad (2)$$

ABCD 파라미터를 사용하여 공진 조건은 입력 임피던스로부터 다음 식 3과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & (Z_{pe} Z_{po} \cot \theta_{pe} \cot \theta_{po} - Z_s^2) \sin \theta_s \quad (3) \\ & + Z_s (Z_{pe} \cot \theta_{pe} + Z_{po} \cot \theta_{po}) \cos \theta_s \\ & - Z_s (Z_{pe} \cot \theta_{pe} - Z_{po} \cot \theta_{po}) = 0 \end{aligned}$$

이때,  $\theta_{pe} = \theta_{po} = \theta_p$  이라면 식 3은 다음 식 4와 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & (Z_{pe} Z_{po} \cot \theta_{pe} - Z_s^2 \tan \theta_p) \sin \theta_s \quad (4) \\ & + Z_s (Z_{pe} + Z_{po}) \cos \theta_s \\ & - Z_s (Z_{pe} - Z_{po}) = 0 \end{aligned}$$

지금까지 설명한 공진 조건은 일반적인 형태이지만, 이들 관계식은 물리적인 의미를 이해하는 데 너무 복잡하므로 공진조건을 분석하는데 어려운 점이 있기 때문에 공진 조건을 그림 3과 같은 등가회로를 통하여 해석한다. 개방선로 구조를 갖는 병렬 평형선로는 기수, 우수 모두가 존재한다.

이들의 공진조건은 계단 임피던스 공진기에서 볼 수 있다[9]. 그리고 이들의 공진 조건은 다음 식 5와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{odd mode} & : \tan(\theta_s/2) \cdot \tan \theta_p \quad (5) \\ & = K_o = Z_{po}/Z_s \\ \text{even mode} & : \tan(\theta_s/2) \cdot \tan \theta_p \\ & = K_e = Z_{pe}/Z_s \end{aligned}$$

기본파에 대한 공진 주파수는 우수 모드에서 발생하고, 고조파 주파수에 대한 공진주파수는 기수 모드에서 발생한다. 기본파에 대한 공진주파수는 식과 의하여 계산될 수 있으며 공진 주파수의 미세한 조정은 병렬결합선로의 길이를 조절함으로써 가능하다.

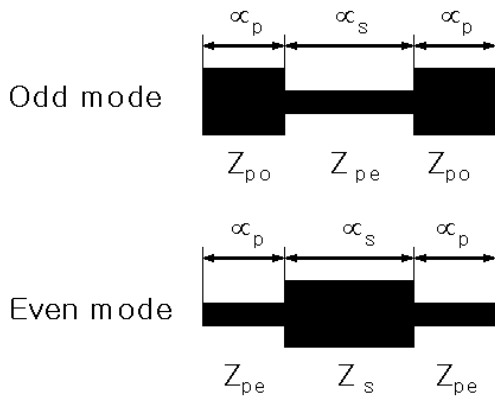


그림 3. 공진점의 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit for resonance point

2-3 발진기 이론 해석

발진기는 능동소자의 불안정한 특성을 이용하여 DC전력을 AC전력으로 변환하는 소자로 모든 통신 시스템에 없어서는 안 될 필수적인 부품이다. 이와 같은 발진기의 초기 발진은 능동소자에 공급되는 DC 전력에 의해 능동소자의 잡음 레벨에서 시작하고 점 점 성장하여 정상 상태에 이르면 안정된 정현파를 만들어낸다[10]. 여기서, 그림 4는 트랜지스터를 이용한 발진기의 블록 다이어그램이다. 트랜지스터를 이용한 발진기의 해석은 증폭기와 매우 유사하다. 트랜지스터의 세 단자 중 한 단자는 입·출력에 공통으로 이용하므로 2-포트회로로 해석한다. 트랜지스터를 이용한 고주파 발진기의 발진 조건은 다음과 같다.

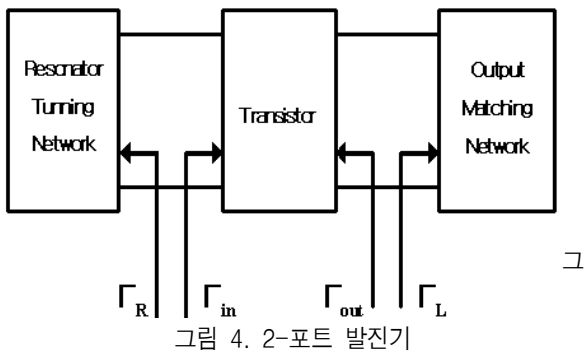


그림 4. 2-포트 발진기  
Fig 4. Oscillator of two-port

$$S'_{11} = \frac{S_{11} + S_{12} S_{21} \Gamma_c}{1 - S_{22} \Gamma_c} \quad (11)$$

만약  $S'_{11} > 1$ 보다 크다면 게이트 단자로 입사된 신호보다 반사된 신호가 크게 되어 발진이 일어나게 된다. 여기서 공진기와 귀환 회로를 줄여서 단일 포트 부성저항 발진기로 수정된다면 이때,  $R_d$ 는 부성저항을 발생하게 되고 최대전력과 안정 상태 발진을 위해 부하 정합을 필요로 한다. 발진기는 선형설계와 비선형 설계 기법의 크게 두 가지로 설계가 가능하다. 선형 설계가 정상 상태 발진에서 출력 전력의 크기나 정확한 발진 주파수 등을 예측하기가 어렵지만 발진 초기 시동 상태에서 발진회로는 소 신호 동작을 하므로 빠르고 쉽게 발진 주파수나 발진 가능성을 알 수 있다. 발진기의 선형설계 절차는 다음과 같이 간단히 설명될 수 있다.

$$|\Gamma_r| > \frac{1}{S'_{11}} \quad (12)$$

$$\angle \Gamma_r = \angle \frac{1}{S'_{11}} \quad (13)$$

발진이 일어난 후  $1/|S'_{11}|$ 가 증가하여 식 10에서 정상상태 발진이 도달하게 된다. 세 번째, 출력 종단 회로는 초기 발진 조건과 부하에 최대 전력을 전달하게 위해 다음 식 14와 15의 조건에 맞도록 설계한다.

$$X_c = -X_d \quad (14)$$

$$R_c = -R_d/3 \quad (15)$$

발진이 시작한 후 정상 상태에 도달하면  $R_d$ 와  $R_c$ 는 같아질 것이다. 네 번째,  $1/|S'_{11}|$ 는 출력 반사계수  $\Gamma_c$ 의 함수이므로 절차 두 번째와 세 번째는 식 12와 13을 만족 할 때까지 반복 절차기 필요하다.

2-4 위상 잡음

이상적인 발진기의 스펙트럼은 하나의 주파수 성분만을 갖는다. 그러나 실제 신호는 위상잡음으로 인해 시간에 따라 조금씩 불규칙하게 변하게 되고 그 결과 스펙트럼의 정밀도를 떨어뜨리게 되어서 통신 시스템에서 오율 특성과 레이더 시스템에서 신호 대

잡음비에 큰 영향을 미친다. 위상잡음의 발생 메커니즘은 낮은 주파수에서 잡음 원(1/f)이 능동 소자의 비선형성을 통해 발진주파수 부근의 잡음으로 상향 변환 된 것으로 설명 할 수 있다. 발진기의 위상 잡음은 발진주파수로부터 오프셋 주파수만큼 떨어진 주파수에서 1Hz의 대역폭을 갖는 잡음 전력과 발진 주파수에서의 신호 전력비로 그림 6과 같이 정의한다.

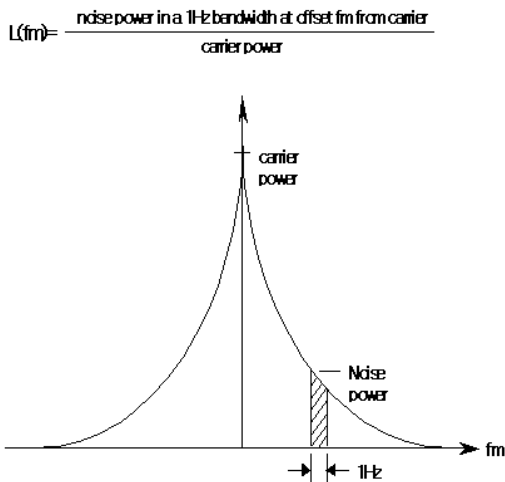


그림 6 위상 잡음 정의  
Fig. 6 Definition of phase noise.

높은 선택도는 유전체 공진기의 결합 정도에 따라서 위상잡음에 영향을 미치게 된다.

### III. 헤어핀 형태의 발진기 설계

#### 3-1 헤어핀 공진기의 설계

그림 7은 회로도에 의해 설계한 헤어핀 공진기의 레이아웃이며, 유전율 3.5, 기판의 높이 20 mil, 도체 두께 17 um, 손실탄젠트 0.0025기판으로 주파수 2.45 GHz에서 계산된 공진기의 파라미터는 다음과 같다.

$$Z_s = 50\Omega, \theta_s = 135^\circ, Z_{pe} = 95\Omega, Z_{po} = 69.6\Omega, \theta_p = 24.6^\circ \quad (17)$$

회로설계는 Agilent사의 Advanced Design Simulator (ADS 2004A) 틀인 모멘텀 상에서 최적화된 실험 결과 유전체 공진기는 게이트단의 마이크로스트립 전

송선로와 결합하여 대역저지 필터로서 동작하기 때문에 원하는 주파수를 충분히 반사시키는 역할을 한다.

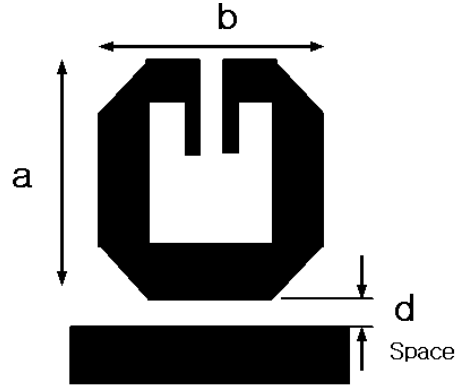


그림 7. 소형화된 헤어핀 공진기의 레이아웃  
Fig. 7. Layout of miniaturized hairpin resonator

반사손실과 선택도는 부하로 전달되는 신호 전력과 위상잡음 특성에 영향을 주기 때문에 신호 전력과 위상잡음 특성을 동시에 고려하여 결합정도를 결정하여야 한다. 그림 8은 공진부의 시뮬레이션 결과이며 S(2,1)은 대역저지 필터로서 주파수 선택도특성을 S(1,1)은 반사손실 특성을 보여주고 있다. 그림 8은 제작된 헤어핀 공진기의 반사손실이 -17.1 dB임을 보여주고 있다.

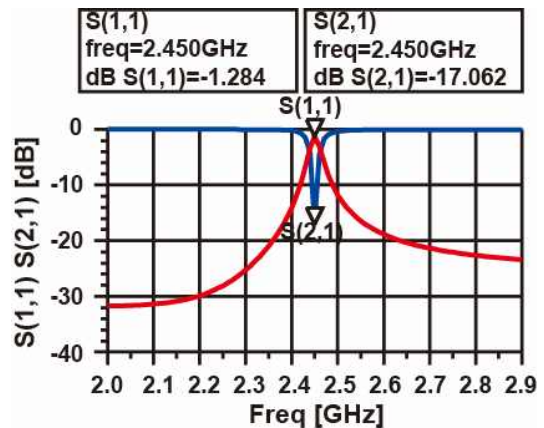


그림 8. 공진부의 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. Simulation results of resonator

능동소자는 바이어스를 인가했을 때 원하는 동작점에서 발진기의 입력과 출력단에서 반사계수에 영향을 주지 않도록 구성하여야 한다. P-HEMT의 I-V

특성곡선은 그림 9와 같고, 본 논문에서 사용되는 바이어스점은  $V_{ds} = 3V$ ,  $V_{gs} = 0.508V$ ,  $I_{ds} = 40mA$ 인 점을 선택하였다.

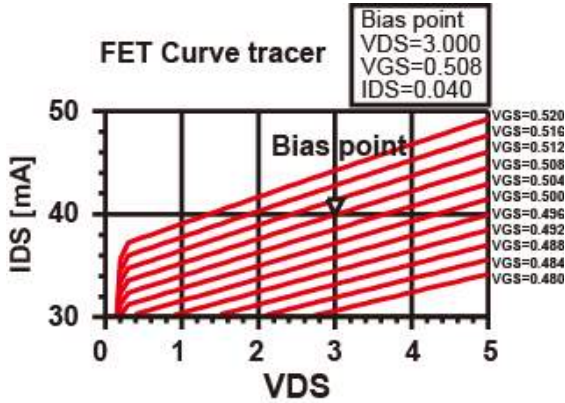


그림 9. P-HEMT의 I-V 특성곡선  
Fig 9. P-HEMT of I-V characteristic curves

3-2 발진기의 시뮬레이션

사용 주파수가 높아짐에 따라 quasi-Tem 모드를 갖는 마이크로스트립 선로로 소자 설계 시에는 기관에서 발생하는 분산(Dispersion), 고차모드 및 기관 손실 등이 전체 특성에 영향을 미치므로 이 특성들을 정확히 고려하여 영향을 최대한 줄일 수 있는 기관을 선정하는 것이 중요하다. 분산은 유효 유전상수가 주파수에 의존하여 변하는 것을 말하는데 주파수보다 낮게 각 파라미터 값들을 선정하면 이 영향을 무시할 수 있다. 여기서는 표 1에 있는 TACONIC사의 RF-35 기관을 사용하였다. 본 논문에서 설계한 전압 제어 발진기의 제원을 표 2와 같이 설정하였다.

표 1. 기관의 정보

Table 1. Information of substrate.

품명	TACONIC사의 RF-35
유전율( $\epsilon_r$ )	3.5
유전체 높이(h)	20 mil
도체 두께(T)	17 um
손실 탄젠트	0.0025
기관 평탄도	1.9 um

표 2. 발진기의 제원

Table 2. Specification of oscillator.

발진주파수	2.45 GHz
출력 전력	15 dBm 이상
고조파 억압	-30 dBc 이하
위상 잡음	-100 dBc 이하(@100 kHz)
바이어스	40 mA

전압제어 유전체 발진기의 일반적인 구조는 그림 10과 같이 주파수 선택, 공진부, 능동소자, 최대전력을 전달하기 위한 출력 매칭회로로 구성되어 있다.

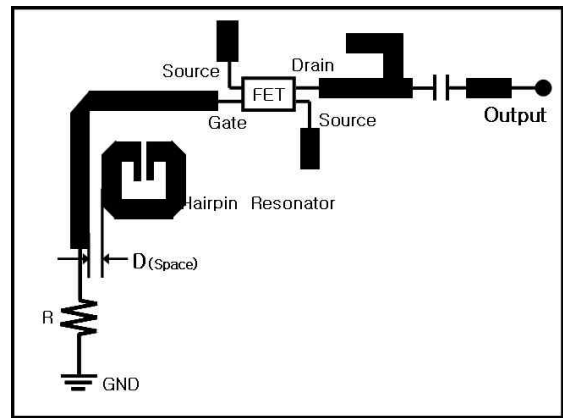


그림 10. 소형화된 헤어핀 발진기의 구조  
Fig. 10. Configuration of miniaturized hairpin oscillator.

발진기는 공진기의 위치에 따라서 반사형과 귀환형이 있다. 직렬 귀환형은 유전체 공진기가 트랜지스터의 입력단에 있기 때문에 공진주파수 부근에서 신호전력을 트랜지스터로 반사시킬 수 있다.

능동소자를 이용하여 발진회로를 설계할 경우 동작 주파수에서 회로가 발진이 일어나기 위해서는 능동소자가 부성저항 특성을 갖는 귀환회로를 구성해야 한다. 여기서는 마이크로스트립 선로를 사용하여 능동소자의 소스단자에 개방 스타브를 달아서 가능한 큰 부성 저항 특성을 갖도록 귀환회로를 구성하였다. 부하정합 회로는 설계 주파수에서 최대 전력을 갖도록 부하정합회로의 임피던스는 일반적으로 식과 식에 만족하도록 설계한다.

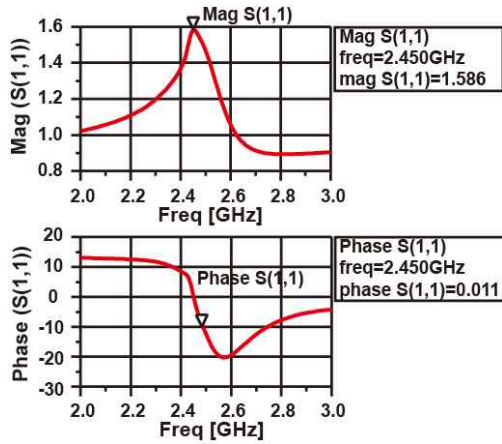


그림 11. 발진 가능성 테스트  
Fig. 11. Oscillation possibility test.

그림 12는 설계된 헤어핀 링 공진기를 이용한 발진기의 출력 특성으로서 출력 전력은 22.4 dBm, 고주파 억압 특성은 약 41 dBc의 결과를 얻었다.

그리고 그림 13에서 위상 잡음 특성으로서 -130.5 dBc(100 kHz)의 매우 우수한 특성을 보여준다. 그림 14는 오실로스코프로 측정된 시간 영역상의 파형의 첨두치는 약 3 V로서 매우 양호한 파형을 관찰할 수 있었다.

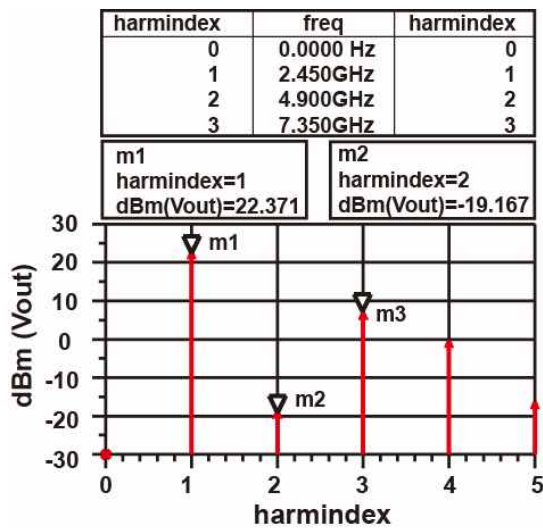


그림 12. 발진기의 출력 특성  
Fig. 12. Output characteristic of oscillator

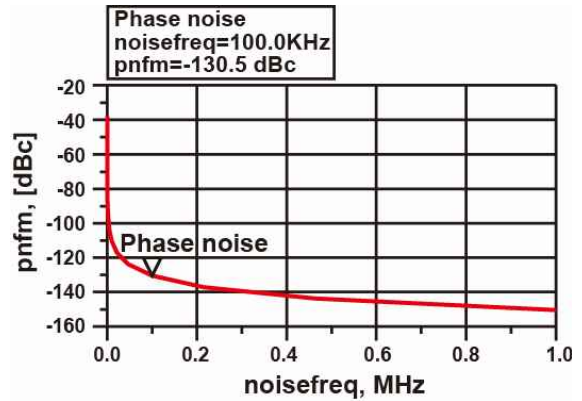


그림 13. 위상 잡음의 특성  
Fig. 13. Characteristic of Phase noise.

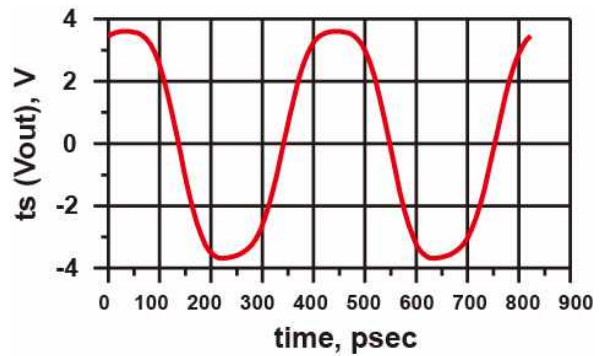


그림 14. 발진기 출력의 시간 영역 파형  
Fig. 14. Time domain signal of oscillator output.

#### IV. 헤어핀 형태의 발진기 제작 및 측정 결과

##### 4-1 헤어핀 발진기 제작

발진회로가 발진의 초기조건을 만족한 이후 정상 상태에 도달한 발진회로는 비선형 동작을 함으로써 선형설계에 의한 발진기 설계로는 한 발진 주파수, 출력전력, 위상 잡음 특성 등을 예측할 수 없기 때문에 최종적인 회로 해석과 설계는 발진기의 비선형 해석을 위한 하모닉 발란스 시뮬레이션을 통하여 고주파 응답과 위상잡음을 최적화하였다. 주어진 부하 반사계수에 부하 정합회로와 부가회로를 추가한 최종적인 회로도 는 다음과 같다.



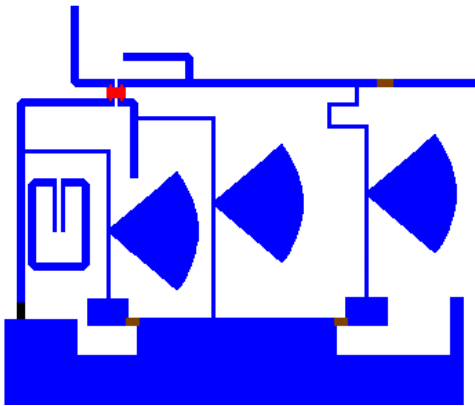


그림 15. 발진기의 레이아웃  
Fig 15. Layout of oscillator.

4-2 헤어핀 발진기 측정 결과

실제 설계 제작한 소형화된 헤어핀 공진기를 이용한 발진기는 사진 식각 부식방법에 의하여 TACONIC사의 RF-35 기판위에 제작하였고, 이를 측정하기 위하여 제작된 공진기와 제작한 발진 회로의 특성결과는 Anritsu사의 벡터네트워크 (Vector Network Analyzer : VNA 37169A)와 발진기의 특성결과는 Agilent사의 스펙트럼분석기 (Spectrum Analyzer : SA E4407B)를 통하여 측정하였다. 제작된 헤어핀 공진기를 이용한 발진기의 측정결과 그림 16과 그림 17에서와 같이 출력 전력은 중심주파수에서 약 20.9 dBm으로서 이는 측정시 입력 측에 10 dB감쇠기와 측정선로 손실 4.4 dB를 감안한 것이다. 그림 18은 위상 잡음을 측정된 결과로서 100 kHz offset주파수에서 -100.5 dBc/Hz로 설계치와는 다소 차이가 있지만 양호한 특성을 얻을 수 있었다. 그림 19는 고조파 응답 특성으로서 기본 발진 주파수와 2차 3차 고조파와의 차이는 약 32 dBc로 매우 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

그림 20은 헤어핀 공진기를 이용하여 실제로 제작한 발진기의 실물 사진이다.

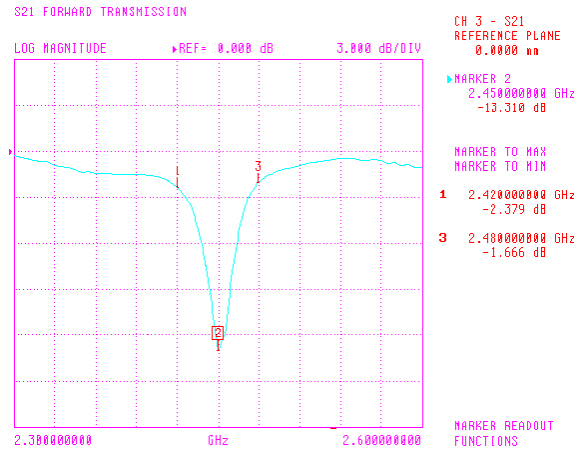


그림 16. 헤어핀 공진기의 출력 특성  
Fig. 16. Measured result of hairpin resonator.

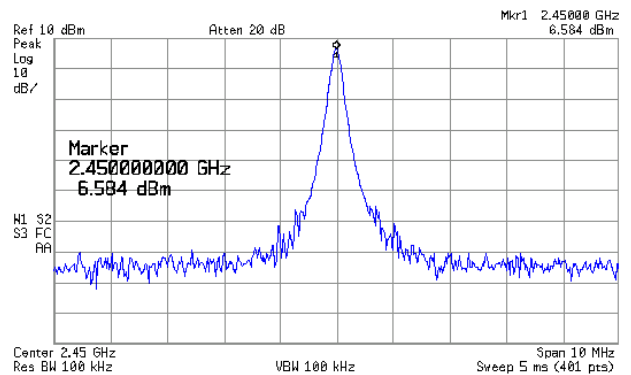


그림 17. 발진기의 출력 특성  
Fig. 17. Output characteristic of oscillator.

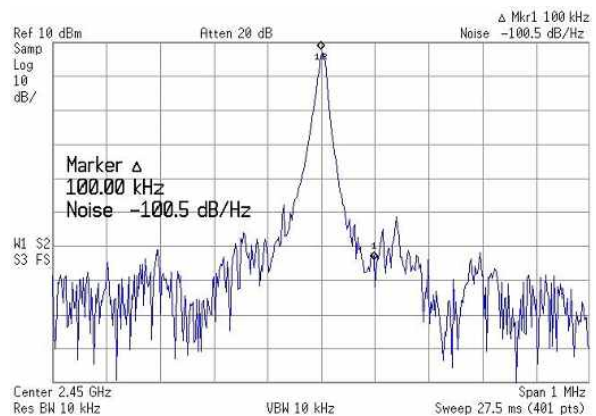


그림 18. 위상 잡음 특성  
Fig. 18. Characteristic of phase noise.



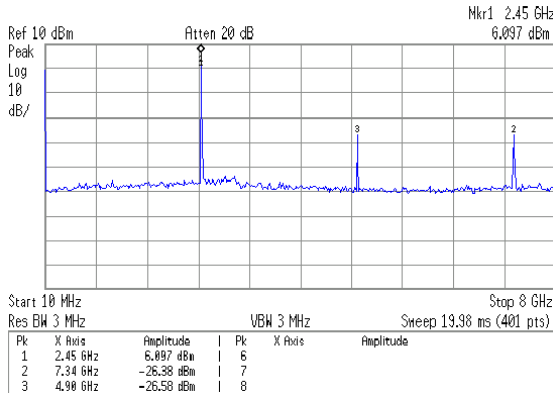


그림 19. 고조파 억압 특성

Fig 19. Harmonic suppression characteristic.

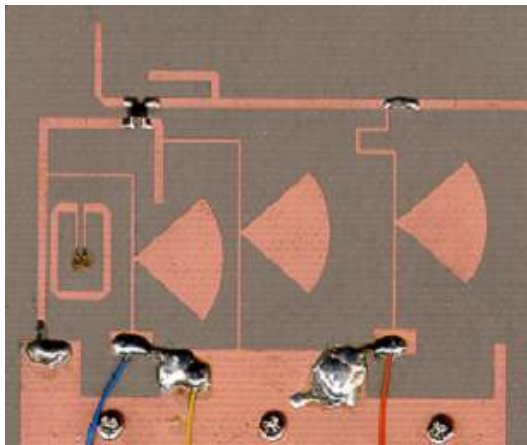


그림 20. 발진기의 실물사진

Fig. 20. Photograph of fabricated oscillator

### V. 결 론

본 논문에서는 발진기의 공진부를 RFIC, MIC, MMIC에 내장이 용이한 평면 구조를 가진 기존의 마이크로스트립 전송선로 헤어핀 공진기를 소형화시킨 평면 이중선로의 쪼개진 링 형태의 헤어핀 공진기를 설계하여 S-밴드 주파수 대역에서 이용가능한 발진기를 설계 및 제작하였다. 발진기의 회로 설계에서, 수동소자와 헤어핀 공진기는 Agilent사의 Advanced Design Simulator(ADS 2004A) 툴인 모멘텀 방법을 이용하여 최적화하였으며, 능동회로를 포함한 회로설계는 선형 회로기법을 이용하여 발진 가능성을 확인한 다음, 발진 주파수, 출력전력, 위상 잡음 특성은 비선형회로 해석기법인 하모닉 발란스 시뮬레이터를 이용하여 발진기의 성능을 최적화 하였다. 제작된 공

진기의 특성 결과 발진 주파수는 2.45 GHz에서 출력전력은 20.9 dBm으로서 기존의 발진기에 비하여 상당히 높은 출력을 얻었고, 위상 잡음 특성은 100 kHz offset에서 -100.5 dBc/Hz로서 기존의 발진기의 성능과 비교하면 우수한 특성을 갖음을 확인할 수 있었고, 기본 발진 주파수에 대한 고조파 억압 특성 역시 32 dBc로서 우수한 억압 특성을 갖는 발진기임을 보여주었다. 따라서 본 논문에서 제안된 발진기의 형태를 이용하여 RFIC, MIC, MMIC 형태로 제작한다면 발진기를 더욱 소형화 할 수 있으며, 위상 잡음을 개선할 수 있을 것으로 생각된다. 마지막으로 본 논문에서 설계 및 제작한 헤어핀 형태의 발진기는 S-밴드의 주파수원으로 이용 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. G. Wilson and R. D. Carver, "An easy-to-use FET DRO design procedure suited to most CAD program," in *1989 IEEE MIT-S Dig.*, 1989, pp. 1033-1036.
- [2] A. S. Hyun, H. S. Kim, J. Y. Park, J. H. Kim, J. C. Lee, N. Y. Kim, and U. S. Hong, "K-band hair-Pin resonator oscillators," in *1999 IEEE MIT-S Dig.*, 1999, pp. 725-728.
- [3] Y. T. Lee, J. S. Lim, C. S. Kim, "A Compact size microstrip spiral resonator and its application to microwave oscillator," in *2002 IEEE Microwave and wireless Components Letters*, Vol. 12, No. 10, October pp, 375-377.
- [4] K. Hosoya, S. Tanaka, Y. Amamiya, T. Niwa, H. Shimawaki, and K. Honjo, "A low phase-noise 38-GHz HBT MMIC oscillator utilizing a novel transmission line resonator," in *2000 IEEE MTT-S Dig.*, 2000, pp. 47-50.
- [5] K. Sagawa, K. Takahasi, and M. Makimot, "Miniaturized hairpin resonator filters and their application to receiver front-end MIC's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, pp. 1991-1997, Dec. 1989.

[6] J. T. Ku, M.J. Maa, and P. H. Lu, " A microstrip elliptic function filters with compact miniaturized hairpin resonator," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, pp. 94-95.

[7] S. Y. Lee and C. M. Tsai, "New cross-coupled filter design using improved hairpin resonator ," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 44, pp. 2482-2490, Dec. 2000.

[8] M, Makimoto and S.Tamashita, *Microwave Resonator and Filters for Wireless communication*, Springer, 2000.

[9] M. Makimoto and S.Yamashita, " Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators", *IEEE Trans. MIT*, vol 28, pp. 1413-1417, Dec. 1980.9, no. 2, pp. 142-149, June 2003.

[10] G. Gonzalez, *Microwave transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice Hall, 1984.

### 김 장 구(金章九)



2001년 8월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학사

2003년 8월 : 국립 목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과 공학 석사

2005년 2월 : 목포해양대학교 교육공

무원(조교)

2005년 3월 ~ 현재 : 일본동경공업대학 대학원 종합이공학 연구과 물리전자시스템창조전공 박사과정

2006년 4월 ~ 현재 : 일본 문부과학성 일본학술진흥재단 박사과정 특별연구원(JSPS)

관심분야 : 송수신용 안테나, 이동통신 및 위성통신

### 최 병 하(崔炳夏)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 공학사

1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 공학 석사

1987년 : 통신 기술사

1988년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국 항공대학교 대학원 전자공학과 공학 박사

1972년 ~ 현재 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

관심분야 : 안테나, 해상 이동통신 및 위성통신