

# 저주파 잡음 상향변환 이득 해석을 이용한 K 밴드 저잡음 국부 발진기의 설계

## Low Noise Local Oscillator Design in K Band using Baseband Noise Upconversion Gain Analysis

이영택\* · 이문규\*\* · 임종식\* · 염인복\*\* · 장동필\*\* · 남상욱\*

Young-Taek Lee\* · Moon-Que Lee\*\* · Jong-Sik Lim\* · In-Bok Yeom\*\* ·  
Dong-Pil Chang\*\* · Sang-Wook Nam\*

### 요 약

본 논문에서는 저주파 잡음의 상향변환 이득 해석을 이용한 K 밴드 국부발진기를 설계 및 제작하였다. 상향변환 이득을 해석하고 그에 따른 위상잡음을 예측하기 위하여 Two Signal Method(TSM)을 확장하였다. 제시된 이론의 유용성을 검증하기 위해 저 상향변환 이득을 갖는 회로의 동작점을 선택하여 free-running 발진기를 설계하였다. 측정결과 발진주파수는 23.42 GHz 였고, 위상잡음은 1 MHz offset에서 -105.2 dBc/Hz로 우수한 특성을 보였다. 그리고 같은 회로를 부고조파로 주입시켜 부고조파 주입동기 발진기로 동작시켰으며, 이 경우에도 낮은 부고조파 입력 파워에서 이상적인 체배기의 위상잡음 특성을 보였다.

### Abstract

In this paper, local oscillator in K band using low frequency noise upconversion gain analysis was designed and measured. We extended Two Signal Method(TSM) to estimate upconversion gain and resulting phase noise. To confirm the validity of the proposed method, a free-running oscillator which had low upconversion gain was designed. The measured oscillation frequency was 23.42 GHz and phase noise at 1 MHz offset was -105.2 dBc/Hz. Also, this oscillator was operated for subharmonic injection locked oscillator(SILO). In this case, SILO showed ideal frequency multiplier phase noise characteristics at low subharmonic injection power level.

### I. 서 론

현재 국내외의 다양한 통신기술의 발달과 더불어 늘어나는 수요를 충족시키기 위해서는 통신시스템의 핵심 부품 중 하나인 국부 발진기의 스펙트럼 파형에 대한 사양을 만족해야 한다. 이는 주로 발진기의 위상잡음이 척도가 되어 왔으며, 따라서 지금까지 마이크로파 발진기의 위상잡음을 줄이는 방법에

대한 연구는 많은 설계자들의 공통된 관심사가 되어 왔다.

또한 주파수가 밀리미터 파 대역으로 높아 가는 추세에 있어, K 밴드 대역 이상의 안정된 신호원을 구현하기에는 여러 제약이 있다. 특히 이 제약은 회로를 MIC(microwave integrated circuit) 형태, 즉 hybrid로 제작할 때 나타나며, 주로 발진기의 발진 주파수와 출력 파워, 그리고 가장 중요한 사양인 위

「본 연구는 국가지정연구실사업 지원금에 의하여 서울대학교 밀리미터파연구실에서 수행되었음.」

\*서울대학교 전기공학부 전파공학연구소 (Applied Electromagnetics Lab., School of Electrical Engineering, Seoul National University)

\*\*한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 (Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

· 논문 번호 : 20010104-002

· 수정완료일자 : 2001년 2월 8일

상잡음면에서 X 밴드 대역의 발진기에 비해 성능이 나빠진다고 할 수 있다. 즉, high Q 공진기를 사용하면 발진 주파수와 위상잡음 면에서 원하는 결과를 얻을 수 있기 때문에, X 밴드 대역의 발진기를 제작하는 데 있어 주로 DR(dielectric resonator)과 같은 high Q 공진기를 사용한다. 반면에 K 밴드 대역 이상의 발진기에서는 hybrid로 제작할 경우에 그 작은 크기로 인해 DR을 다루기가 쉽지 않아 대량생산이란 측면에서는 바람직하지 않다. 더군다나 MMIC(monolithic microwave integrated circuit)로 발진기를 제작할 경우에도 DR과 같은 입체 공진기는 사용할 수 없기 때문에 위상잡음 면에서 한계가 있을 수밖에 없다.

따라서 본 논문에서는 K 밴드 대역 이상에서 공진기 없이 저 위상잡음 발진기를 설계하는 새로운 기법을 제시하였다. 또한 이 발진기를 부고조파 주입 동기 발진기로도 동작시켜 이상적인 체배기수준의 위상잡음 특성을 측정하였다.

## II. Two Signal Method를 이용한 일반적인 발진기 설계 이론

Two Signal Method(TSM)는 발진기를 귀환 회로가 있는 증폭기로 보고 동작상태를 정해서 귀환 회로의 임피던스 값을 정해 이를 구현하여 발진기를 설계하는 방법이다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 발진기의 구조를 직렬 귀환 회로를 갖는 구조로 선택하였다. 직렬 귀환 회로를 갖는 발진기 구조에서 정상상태에서의 능동소자 동작점을  $(V_1, I_1)$ ,  $(V_2, I_2)$ 이라고 정의하고 트랜지스터의 드레인쪽에서 output 단으로 바라보는 반사계수를  $\Gamma_l(n\omega_0)$ 이라고 하면 그림 1과 같이 발진기를 마치 증폭기와 같이 등가적으로 치환할 수 있다.

그림 1은 TSM을 이용한 시뮬레이션 과정을 나타낸다. 이미 정해진 바이어스 점에 대해서 TSM에서 고려해야 할 변수이자 트랜지스터의 동작상태를 정하는 것은 RF drive level과 load값이다. 보통 RF drive level은 트랜지스터의 gate가 turn on 되는 점보다 1~2 dBm 낮은 값을 정한다. 또한 기본 주파수와 2차 하모닉 주파수에서의 load값이 정해지면

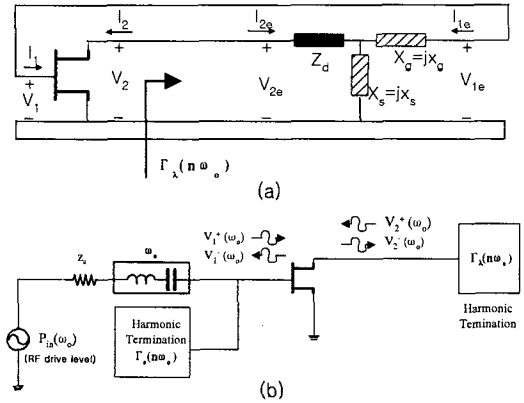


그림 1. 일반적인 TSM을 이용한 발진기 설계  
Fig. 1. General oscillator design using TSM.

Harmonic Balance Algorithm을 통해 gate와 drain에서의 RF 전압, 전류를 구할 수 있다. 앞에서 언급했듯이 발진기를 귀환회로가 있는 증폭기로 해석하면 그림 1 (b)는 그림 1 (a)로 치환될 수 있다. 발진기의 gate 임피던스와 source 임피던스가 순수하게 리액턴스 성분을 가지고 drain 임피던스가 복소수 값을 가질 때, 각 단자의 RF 전압, 전류를 알고 있으므로 series feedback 형태의 귀환 회로를 생각하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} V_{1e} \\ V_{2e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_g + X_s & X_s \\ X_s & Z_d + X_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 gate와 source에서 바라보는 임피던스는 리액티브 성분만 가지기 때문에 식 (1)을 실수부와 허수부로 나누어 연립해서 각 단자에서의 임피던스를 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$Z_d = z_2 + j\beta_b \frac{\text{Re}[z_1]}{\text{Im}[\beta_f]}$$

$$X_s = j \frac{\text{Re}[z_1]}{\text{Im}[\beta_f]}$$

$$X_g = j\text{Im}[z_1] + j\text{Re}[z_1] \frac{\text{Re}[\beta_f]}{\text{Im}[\beta_f]}$$

where

$$z_1 = -\frac{V_1}{I_1}, \quad z_2 = -\frac{V_2}{I_2}$$

$$\beta_b = -\left(1 + \frac{I_1}{I_2}\right), \quad \beta_f = -\left(1 + \frac{I_2}{I_1}\right) \quad (2)$$

식 (2)를 바탕으로 구한 각 단자에서의 임피던스를 마이크로스트립 등으로 구현하면 원하는 주파수에서 동작하는 발진기를 설계할 수 있다.

Load 값을 정하는 방법은 load pull을 이용한다. 즉 기본 주파수에서는 load pull을 통해 출력 전력이나 효율이 최대로 되는 load 값을 정한다. 2차 하모닉 주파수에 대해서는 load를 바라보는 반사 계수의 크기를 1로 하여 2차 하모닉 주파수 성분의 억제 효과가 일어나도록 한다. 즉 2차 하모닉 주파수에 대한 반사 계수의 위상만 변화시켜 가면서 최대 출력이나 효율이 되도록 하는 load점을 찾는다.

비선형 설계 방법 중의 하나인 이 TSM의 장점은 실제 회로를 schematic 상에서 구현하기 전에 발진기의 출력 파워와 효율을 예측할 수 있다는 점이다. 물론 TSM으로 발진기를 설계하였을 경우라도 소신호 발진 조건을 만족시켜야 하며, 궁극적으로는 비선형 해석을 해야 한다. 그러나 일반적으로 비선형 발진기를 설계할 때, 원하는 출력 파워와 효율을 얻기 위해서는 회로의 수정이 불가피하다. 반면에 TSM으로 발진기를 설계하였을 경우에는 원하는 출력 파워와 효율을 설계 초기 단계에서 정할 수 있으므로 소신호 발진 조건만 맞으면 회로를 수정할 필요가 없다.

### Ⅲ. 발진기의 위상잡음 해석을 위한 TSM의 응용

마이크로파 발진기의 위상잡음에 영향을 주는 요소는 크게 3가지가 있다.

첫 번째는 잡음원으로 알려져 있는 저주파의 1/f 잡음원 레벨이다. 두 번째는 발진기의 Q 값을 정하는 공진기의 구조이다. 그러나 소자가 정해지고 공진기 구조가 정해지면 위상잡음에의 영향은 고정된다. 또한 K 밴드 대역 이상의 발진기에서는 공진기 사용이 제한적이기 때문에 위상잡음을 줄이기 위해서는 나머지 한 요소, 즉 저주파 잡음의 상향변환 이득에 주목을 해야 한다. 위상잡음은 발진기의 비선형성에 의하여 저주파 잡음이 발진 신호 근처로 상향변환이 되어 발생하는 것이기 때문에 이 상향변환이득을 줄이면, 위상잡음을 줄일 수 있다<sup>[2]</sup>.

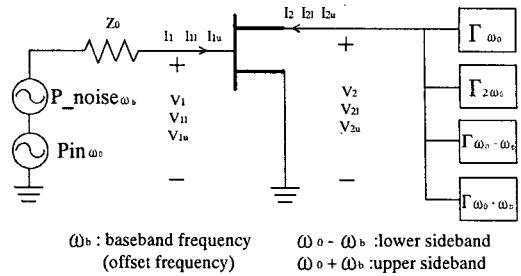


그림 2. TSM을 이용한 저주파 잡음의 상향변환이득 해석

Fig. 2. Low frequency noise upconversion gain analysis using TSM.

따라서 본 논문에서는 상향변환이득을 해석하기 위하여 앞에서 언급한 TSM을 이용하였다. 이 저주파 잡음의 상향변환이득은 능동소자의 동작 조건에 의해 결정이 되고<sup>[2]</sup>, TSM은 능동소자의 동작점을 정할 수 있기 때문이다.

그림 2는 상향 변환 해석을 위해 본 논문에서 도입한 수정된 TSM의 회로도이다<sup>[3]</sup>. 일반적인 TSM과 다른 점은 캐리어의 전압, 전류뿐만 아니라 저주파 잡음과 캐리어 신호가 mixing되어 나타나는 sideband에서의 전압, 전류를 구할 수 있다는 점이다.

저주파의 잡음원은 보통 gate 앞단에서의 전압원 또는 전류원으로 등가할 수 있으므로, 발진 주파수에서의 RF drive level에 해당하는 AC power source와 series로 저주파의 잡음원을 연결시킨다. 여기서 잡음원의 주파수는 능동 소자의 비선형성으로 인하여 발진 주파수 근처로 상향 변환이 된, 발진 주파수에서 offset만큼 떨어진 주파수를 의미한다. 저주파 잡음은 1 KHz에서 -120 dBm, 10 KHz에서 -130 dBm, 100 KHz에서 -140 dBm의 잡음 레벨을 갖는다고 가정한다. 실제로는 주어진 바이어스 점에서의 정확한 저주파 잡음 레벨을 측정해서 해석을 해야 한다. 그러나 상향 변환 이득은 상대적인 값이므로, 바이어스 점과 RF drive level이 정해져 있는 상황에서 상향 변환 해석을 하는 데에는 정확한 잡음 레벨은 필요하지 않다.

일반적인 TSM에서는 기본 주파수와 2차 하모닉 주파수에서의 load값만 고려하나, 상향 변환 해석을

위해서는 저주파 잡음이 발진 주파수와 mixing되어 발진 주파수 근처에 상향 변환이 되는 주파수(upper sideband와 lower sideband)에서의 load값도 고려해야 한다. 그러나 mixing되는 주파수와 발진 주파수는 가까우므로 다음과 같은 가정을 할 수 있다.

$$\Gamma_{\omega_0} \cong \Gamma_{\omega_0 + \omega_b} \cong \Gamma_{\omega_0 - \omega_b}$$

since  $\omega_0 \cong \omega_0 + \omega_b \cong \omega_0 - \omega_b$  (3)

또한 하모닉 성분에 대한 source pull은 상향 변환 이득을 결정하는 트랜지스터의 동작 상태에는 크게 영향을 주지 않으므로 고려하지 않았다.

일반적인 TSM에서와 마찬가지로 2차 하모닉 주파수에서의 load 값 크기는 2차 하모닉 주파수에서의 출력을 최소화하기 위해 1로 정한다. 또한 sideband에서의 load 값은 기본 주파수에서의 load 값과 같다고 가정했으므로, 일반적인 TSM에서처럼 기본 주파수에서의 load 값과 2차 하모닉 주파수에서의 반사계수의 위상, 그리고 RF drive level이 상향 변환 해석을 위해 결정해야 할 변수들이다.

저주파 잡음원의 상향 변환은 gate와 drain에서의 mixing된 주파수에서의 power를 보는 게 아니고 발진 신호와 mixing 신호의 비, 즉 위상 변조된 양을 봐야 하므로 TSM에서부터 구해진 RF 전압과 sideband에서의 전압으로부터 다음과 같은 식을 이용하여 구해야 한다<sup>2)</sup>.

$$\Delta\phi_\nu = \frac{1}{|V_{j}|} [ j e^{j\phi_\nu} V_{in}^* - j e^{-j\phi_\nu} V_{in} ],$$

$\nu = 1, 2$  (4)

따라서 상향 변환된 잡음 레벨과 상향 변환 이득은 다음과 같다.

$$P_{upconversion} = 10 \log( |\Delta\phi_\nu|^2 ) \quad (dBm)$$

$$upconversion \ gain = P_{upconversion} / P_{noise} \quad (5)$$

일반적인 TSM에서는 출력 전력이나 효율이 최대가 되도록 Load pull을 이용하여 load 값을 정하는 반면, 상향 변환 이득의 해석을 하기 위해서는 식 (5)의 값이 최소가 되도록, 즉 상향 변환 이득이 최소가 되도록 load pull을 수행한다. 또한 2차 하모닉 주파수에서의 반사계수의 위상을 변화시켜 가면서 상향 변환 이득이 최소가 되는 위상을 정한다.

또한 같은 load에 대해서도 RF drive level에 따라 상향 변환 이득의 값이 달라지므로, RF drive level을 변화시켜 가면서 식 (5)의 값이 최소가 되는 점을 찾아야 한다.

상향 변환 이득이 최소가 되는 load를 정하면 게이트, 드레인, 소스에서 바라보는 임피던스도 정해지므로 이 임피던스를 구현하면 상향 변환 이득이 최소가 되는 발진기, 즉 위상 잡음이 최소가 되는 발진기를 설계할 수 있는 것이다.

이때 상향 변환되어 위상 변조된 양은 1/f 특성을 보이며 이는 곧 정상상태에 도달하기 전의 상향 변환, 즉 Leeson 모델에서의  $S_{\theta_{in}}(f_m)$  을 의미한다<sup>4)</sup>.

#### IV. Free-running 발진기의 설계

앞 장에서 제시한 TSM을 이용한 저주파 잡음의 상향변환 해석을 바탕으로 K 밴드의 free-running 발진기를 설계하였다. 설계에 사용된 소자는 NEC사의 NE32500이고 Rogers사의 TMM3 기판을 사용하였다.

주어진 소자와 바이어스를 바탕으로 TSM을 이용한 상향변환해석을 할 때 가장 먼저 해야 할 일은 기본주파수에서의 load와 RF drive level을 정하는 것이다. 이때 load와 RF drive level을 변화시키면서 상향변환이득, 즉 식 (5)가 최소가 되는 load와 RF drive level을 정해야 한다. 그림 3은 기본주파수에서의 load 값이 0.3<300일 때 RF drive level에 따

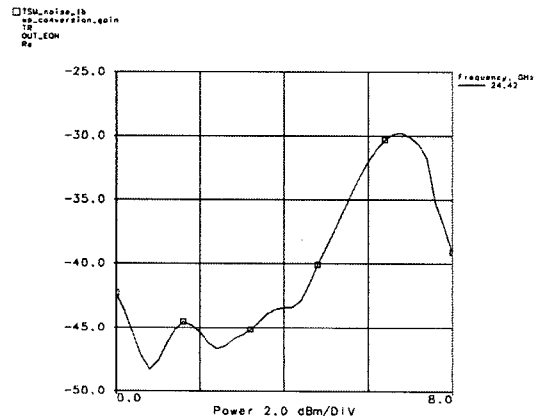


그림 3. RF drive level에 따른 상향변환이득  
Fig. 3. Upconversion gain for RF drive level.

큰 상향변환이득을 시뮬레이션한 결과이다.

그림 3에서 RF drive level에 2 dBm 근처일 때 상향변환이득이 작은 것을 볼 수 있다.

위에서처럼 RF drive level과 load값이 정해지면, 각 단자에서의 RF 전압, 전류를 알 수 있으므로, 식 (2)를 이용하면 embedding impedances를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Z_g = 34.7903 \text{ j}$$

$$Z_s = - 12.6941 \text{ j}$$

$$Z_d = 46.1047 - 24.0689 \text{ j}$$

따라서 위 embedding impedances를 구현하면 저 위상잡음을 갖는 발진기를 설계할 수 있다.

### V. K 밴드 SILO 설계

SILO를 설계하기 위해서는 앞장에서 구한 embedding impedances를 24.42 GHz에서 구현하면서 12.21 GHz의 injection 신호가 잘 인가가 되도록 gate 단에서 conjugate matching을 해야 한다. 또한 output 단에서 12.21 GHz 신호가 출력이 되지 않도록 하기 위해 drain 단에  $\lambda/4$  radial stub을 사용하였다. 12.21 GHz에서  $\lambda/4$  radial stub를 사용하면, 21.21 GHz에서는 open이 되기 때문에 locking된 신호에는 영향이 없다. 또한 gate 단에서 발진이 잘 일어나도록 하기 위해 24.42 GHz에서  $\lambda/4$  open stub을 사용하였고 24.42 GHz 에서는 short로 보이게 되므로, 12.21 GHz에서의 input matching이 embedding impedance

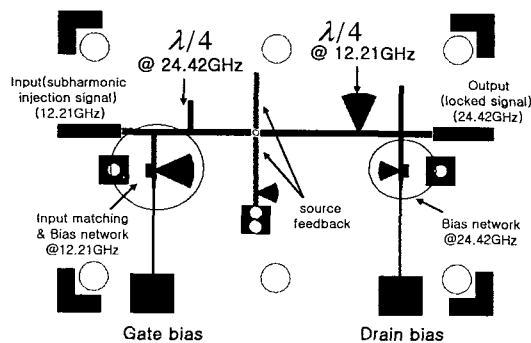


그림 4. Layout  
Fig. 4. Layout.

에는 영향을 주지 않는다<sup>[5]</sup>.

그림 4는 24.42 GHz에서 free-running 하고 있으면서 12.21 GHz를 injection 하는 12.21~24.42 GHz SILO의 layout이다.

### VI. 측정결과

제작된 회로는 먼저 free-running 발진기의 경우에 대해서 측정되었다. 회로가 free-running 발진기로 동작하기 위해서는 12.21 GHz 신호의 입력단에 50ohm termination을 시킨 후에 바이어스를 가하면 된다.

그림 5는 설계 바이어스인  $V_g = -0.4 \text{ V}$ ,  $V_d = 2.5 \text{ V}$ 로 놓고 측정한 결과이다.

위 측정 data에서 볼 수 있듯이 발진 주파수는 23.42 GHz로 약 4 %의 발진 주파수 오차를 보였고, 출력 파워는 약 3 dBm 감소하였다. 이 원인으로는 트랜지스터의 gate, source, drain 패드와 마이크로스트립 라인 사이에 본딩을 하는데 이 본딩 와이어의

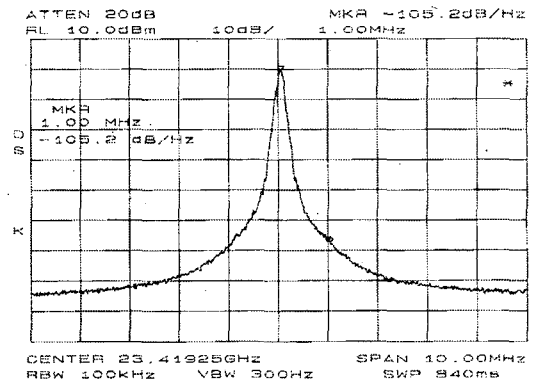


그림 5. Free-running 발진기의 측정 결과  
Fig. 5. Measured result of free-running oscillator.

표 1. 측정 data  
Table 1. Measured data.

	Simulation	Measured
Frequency	24.45 GHz	23.42 GHz
Output power	6.27 dBm	3.07 dBm
Drain current	15.81 mA	15.2 mA

길이가 설계치와 오차가 발생하여 일어난 것으로 사료된다. 출력 파워의 경우에는 컨넥터의 loss도 포함이 된 것으로 생각된다.

위상 잡음의 경우에는 1 MHz offset에서 -105.2 dBc/Hz의 뛰어난 잡음 특성을 보였다. 이 회로가 K 밴드 대역에서 high Q 공진기를 사용하지 않고 Q가 낮은 마이크로스트립 라인에서 구현한 발진기이므로, 가장 낮은 잡음 레벨이라고 생각된다. 이는 III장에서 제시하였던 TSM을 이용한 상향변환 해석을 바탕으로 상향변환이득이 작은 동작점을 찾아서 발진기를 설계하였기 때문이다.

이번에는 제작된 회로의 input 단에 50 ohm 대신 12.21 GHz의 안정된 신호원을 인가하여 SILO로 동작하도록 하였다.

그림 6은 설계 바이어스에서 injection 신호의 power 레벨에 따른 위상잡음을 측정된 결과이다.

12.21 GHz의 안정된 신호원의 위상잡음은 100 KHz offset에서 -110 dBc/Hz였다. 따라서 injection 신호의 파워 레벨이 약 7 dBm 이상만 되면 locking된 신호의 위상잡음은 100 KHz offset에서 -104 dBc/Hz로 saturation 되는 경향을 보였다. 이는 이상적인 주파수 체배기의 위상잡음 특성과 일치하는 결과이다. 주파수 2체배기를 사용할 경우, 2체배된 출력 신호의 위상잡음은 이상적일 경우에 입력 신호의 위상잡음에 대해 6 dB 증가하는 경향을 보인다.

그림 7은 설계 바이어스에서 10 dBm 파워의 12.21 GHz 주입신호를 인가하였을 경우의 출력 스펙트럼이다.

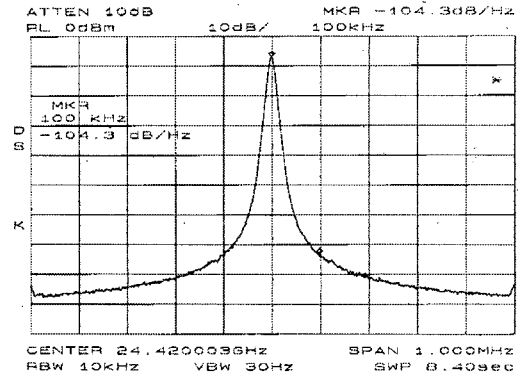


그림 7. Locking된 신호의 측정 결과  
Fig. 7. Measured result of locked signal.

그때의 locking된 신호의 출력 파워는 -4.27 dBm이었고 위상잡음은 100 KHz offset에서 -104 dBc/Hz로 측정되었다.

## Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 K 밴드 대역의 국부 발진기의 위상잡음을 해석하고 최적화하기 위해 다음과 같은 두 가지 연구를 수행하였다.

첫 번째로 마이크로파 발진기의 위상잡음에 대해 상향변환의 관점에서 해석을 하고 최적의 동작점을 찾아내어 저 위상잡음 발진기를 설계하기 위한 방법론을 제시하였다. 제시된 방법의 유용성을 검증하기 위해, 낮은 상향변환이득을 갖는 free-running 발진기를 설계하였고, 측정 결과 23.42 GHz 발진 주파수에서 바이어스의 튜닝이 없이 1 MHz offset에서 -105.2 dBc/Hz의 뛰어난 잡음 특성을 보였다.

두 번째로 위에서 제시한 상향변환이득 해석을 바탕으로 K 밴드 대역의 원하는 주파수 성분을 갖는 SILO를 설계에 응용하였다. 12.21 GHz의 안정된 신호원이 주입될 경우, locking된 신호의 위상잡음은 100 KHz offset에서 -104.3 dBc/Hz로 이상적인 체배기의 잡음 특성을 보였다.

결론적으로 본 논문과 관련하여 개발된 K 밴드 국부 발진기의 설계 기법은 향후 늘어나고 있는 BWLL 등의 밀리미터 파 대역의 다양한 통신시스템에 응용 가능할 것으로 사료된다.

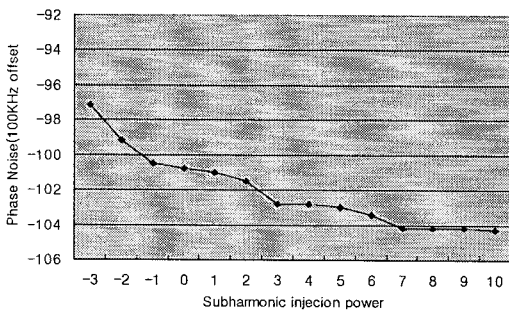


그림 6. 주입 신호의 파워 레벨에 따른 위상잡음 측정 결과  
Fig. 6. Measured result of phase noise for subharmonic injection power level.

부 록

본 연구는 국가지정연구실사업 지원금에 의하여 서울대학교 밀리미터파연구실에서 수행되었습니다.

본 연구와 관련하여 제작에 도움을 주신 KOSPACE 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] M. Q. Lee, S. J. Yi, S. Nam, Y. Kwon and K. W. Yeom, "High-efficiency harmonic loaded oscillator with low bias using a nonlinear design approach," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-47, pp. 1670-1679, Sep., 1999.

[2] H. J. Siweris and B. Schiek, "Analysis of noise upconversion in microwave FET oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, pp. 233-242, Mar., 1985.

[3] Y. T. Lee and S. Nam, "Low noise oscillator design using upconversion gain analysis," *Asia Pacific Microwave Conference 2000*, pp. 1105-1108, 2000.

[4] D. B. Leeson, "Simple model of feedback oscillator noise spectrum," *Proc. IEEE*, vol. 54, pp. 329-330, Feb., 1966.

[5] 전영상, 이문규, 남상욱, "부고조파를 이용한 X-band 주입 동기 발진기 설계 및 제작," 한국전자과학회 논문지, 10(5), pp. 653-662, 1999. 9.

이 영 택



1998년 2월: 서울대학교 전기공학부(공학사)  
 2000년 2월: 서울대학교 대학원 전기공학부 (공학석사)  
 2000년 3월~현재: 서울대학교 대학원 전기공학부 박사과정 재학중  
 [주 관심분야] 마이크로파 발진기

의 위상잡음 해석 및 최적화, High Q 공진기 설계 및 해석등

이 문 규



1992년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과(공학사)  
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학석사)  
 1999년 2월: 서울대학교 전기공학부(공학박사)  
 1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원

구원

[주 관심분야] 마이크로파 능동 수동 회로 설계, MMIC 설계, 국부발진기 설계

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학사)  
 1993년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 초고주파 전공(공학석사)  
 1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단,

무선방송기술연구소 선임연구원

1999년 3월~현재: 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학중

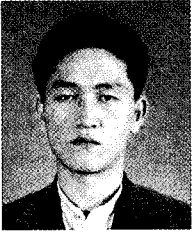
[주 관심 분야] 초고주파 회로의 MIC, MMIC 개발, 능동 소자 모델링, 위성중계기용 시스템 및 부품, 고출력증폭기, 전력분배기/합성기 개발 등

염 인 복

1990년: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 위성RF부품팀장 선임연구원  
 1992년 9월~1995년 5월: 무궁화 위성 현장교육 참여(영국 Matra Marconisa)

[주 관심분야] 위성통신중계기, MMIC회로, 필터 설계

장 동 필



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)

1994년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 근무

[주 관심분야] 마이크로파 능동 수

동 회로 설계, MMIC 설계

남 상 욱



1981년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)

1983년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사)

1989년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과(공학박사)

1990년~현재: 서울대학교 전기공

학부 교수

[주 관심분야] 전자파 수치 해석, 안테나 및 초고주파 회로 설계 등