

# Subharmonic Injection Locking 방법을 이용한 X-Band 주파수 합성기 설계

김지혜<sup>0</sup>, 윤상원

서강대학교 전자공학과 초고주파 연구실

TEL : 02-713-8512 / FAX : 02-713-8512

## The Design of a X-Band Frequency Synthesizer using the Subharmonic Injection Locking method

Ji-Hye Kim<sup>0</sup>, Sang-Won Yun

Dept. of Electronics Eng., Sogang Univ.

E-mail : mingky97@hanmail.net

### Abstract

A low phase noise frequency synthesizer at X-Band which employs the subharmonic injection locking was designed and tested. The frequency synthesizer consists of two oscillators - master and slave : A 1.75GHz master oscillator made of PLL synthesizer produces 6th harmonic at 10.5GHz, which excites the following 10.5GHz slave oscillator. The realized frequency synthesizer has a 4.5dBm of output power, and a phase noise of -108dBc/Hz at the 100kHz offset frequency.

### I. 서론

디지털 위성방송이 활성화 되어감에 따라 많은 부품들의 저가화 및 소형화가 급속히 진행되고 있다. 디지털 시스템은 아날로그와는 달리 지터의 문제를 줄이기 위해 낮은 잡음 특성이 매우 중요하다. 따라서 낮은 잡음 특성과 높은 효율을 갖는 10GHz 대역의 신호원이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 신호원으로 10.5GHz 주파수 합성기를 설계 및 제작하였다. 수십 GHz 이상의 주파수 합성기는 크게 직접 발진시키는 방식과 체배하는 방식으로 나눌 수 있다. 10.5GHz 에서 직접 발진시키는 경우, 보통 유전체 공진기와 가변용량 다이오드를 이용하여 낮은 위상 잡음을 갖도록 설계한다. 그러나 10.5 GHz 에서 공진부를 구성하는 가변용량 다이오드의 상대적으로 낮은 Q로 인하여 발진 파형이 낮은 위상 잡음을 갖도록 설계하는 데 어려움이 있을 뿐 아니라, 저가의 PLL IC의 최대 동작주파수가 3 GHz 정도가 보편화되어 있어 추가로 프리스케

일러(Prescaler)를 사용하여야 하는 불편함이 있다. 이에 반하여 체배하는 방식으로 설계할 경우는 발진 주파수의 1/n 주파수 대역에서 주파수 합성기를 설계하므로 위상 고정이 용이하고, 위상 잡음 특성을 우수하게 설계할 수 있어 유리하다. 그러나 체배하는 회로에서는 효율이 낮은 경우 전원 소모가 크다는 문제점을 가질 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 발진 주파수의 1/6인 1.75 GHz 대역에서 PLL 방법을 적용하여 발진시킨 뒤 (master 발진기), 이 과정에서 6th harmonic을 효율적으로 발생시켜 뒤에 위치한 발진회로(slave 발진기)에 injection시킴으로써 원하는 발진주파수를 얻는 방식을 사용하였다. 즉 1.75GHz에서 발진하는 master 발진기를 설계한 뒤 이를 10.5GHz에서 발진할 수 있는 slave 발진회로에 injection시켜 locking을 유도하여 10.5GHz에서 발진 출력을 내도록 하였다. Slave 발진회로는 약 35dB의 gain을 갖는 amp로써 동작하게 된다. 이러한 방식은 일반적으로, 회로의 전력효율을 증가시키는 장점이 있으며, 고조파를 사용하기 때문에 위상잡음 특성은 대략 master 발진기의 기본 주파수에 비해 14 dB 나빠지지만 다른 방식

으로 설계한 경우와 유사하거나 보다 우수한 특성을 얻을 수 있다.

변용량 다이오드를 바탕으로 Agilent사의 ADS 2001로 시뮬레이션 한 결과이다.

## II. 본 론

### 1. 전체 구성도

본 논문에서 설계 제작된 10.5GHz 의 주파수 합성기의 전체 구성도는 다음과 같다. 그림 1에서와 같이 ILO(Injection Locked Oscillator)는 master 발진기와 slave 발진기로 구성되어 있다.

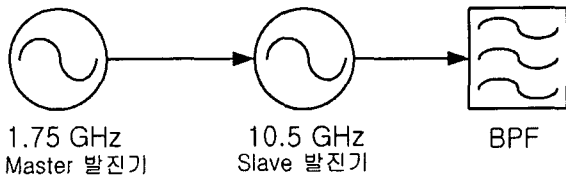


그림 1 전체 구성도

위상 케환 회로를 이용하여 위상이 고정되도록 1.75 GHz의 master 발진기를 설계하였고, 그리고 10.5 GHz에서 free-running 하도록 slave 발진기 각각 설계하였다. 낮은 위상 잡음 특성을 갖는 1.75GHz의 master 발진기의 6th harmonic 성분을 injection signal로 사용하여 10.5GHz의 slave 발진기에 인가함으로써 위상 고정 및 위상 잡음 특성이 개선되는 ILO를 설계하였다. 마지막 단에는 대역 통과 여파기를 사용하여 10.5GHz가 아닌 1.75GHz의 기본파 및 나머지 고조파 성분들을 감쇠시켰다. 제작에 사용된 기판은 유전율( $\epsilon_r$ ) 3에 두께 20 mil인 Rogers 기판을 이용하였다.

### 2. 1.75 GHz의 주파수 합성기 설계

1.75GHz에서 설계된 VCO는 NEC사의 2SC3356 트랜지스터, buffer amp 용도로 사용한 Infineon사의 BJT BFP540, 유전체 공진기, 그리고 가변용량 다이오드는 Toshiba사의 1SV277을 이용하여 설계하였다. Injection 할 신호인 6th harmonic 의 크기를 크게 하고, 신호원의 용도로 사용될 것이기 때문에 가변범위를 줄여 위상 잡음 특성이 좋게 하는 방향으로 설계하였다.

그림 2와 그림 3은 증가화 된 유전체 공진기와 가

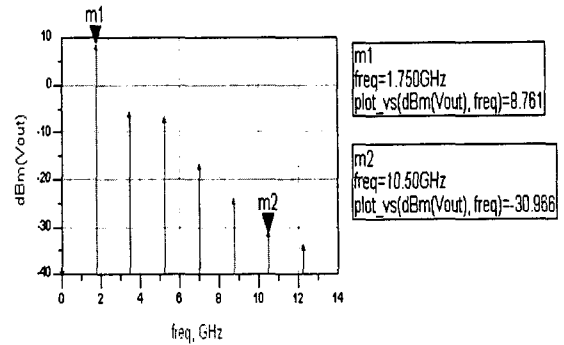


그림 2 1.75GHz VCO의 Harmonic 특성

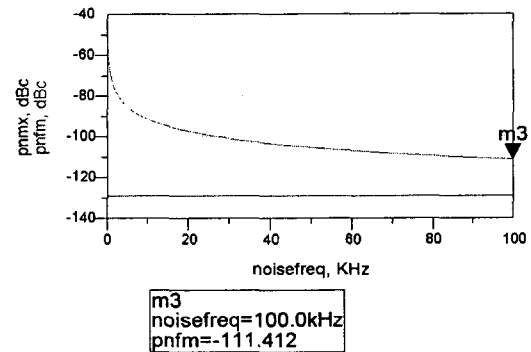


그림 3 1.75GHz VCO의 위상 잡음 특성

다음은 위 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제작된 1.75 GHz VCO의 특성이다.  $V_{cc} = +7.4$  V에  $I = 32$  mA 이고 가변범위( $\Delta f$ )는 1.75GHz를 중심으로 32 MHz 이다. 6th harmonic 은 크기가 너무 작아서 (약 -30dBm) 계측기로 위상 잡음 특성을 측정하는 것에 정확도가 떨어지기 때문에 측정을 생략하였다.

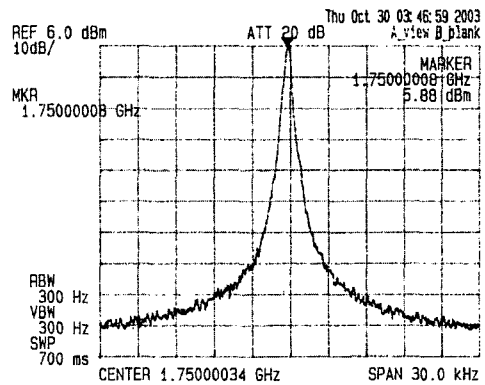


그림 4 1.75GHz VCO의 출력전력

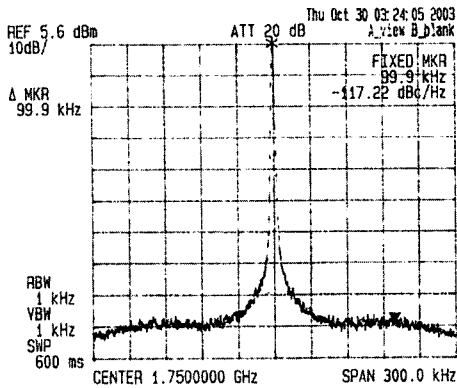


그림 5 1.75GHz VCO의 위상 잡음 특성 (@100 kHz offset)

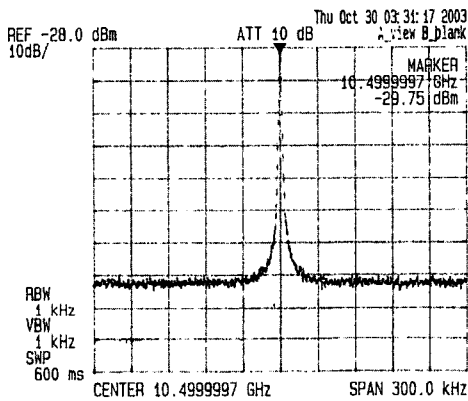


그림 6 6th harmonic 의 출력전력

### 3. 10.5 GHz Slave 발진기 설계

Infineon사의 HFX35LG 트랜지스터를 이용하여 10.5 GHz의 slave 발진기를 설계 제작하였다. ILO는 master 발진기의 위상 잡음이 전체 위상 잡음을 결정하므로 slave 발진기 설계시에는 위상 잡음을 고려하지 않고 master 발진기로부터의 입력 주파수인 10.5GHz 주파수만을 Locking 하도록 자체 음의 저항 영역을 좁게 하는 것에 설계의 방향을 두었다. Vce=3V에 Ic=10mA로 바이어스 된 slave 발진기의 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 각각 그림 7과 그림 8과 같다.

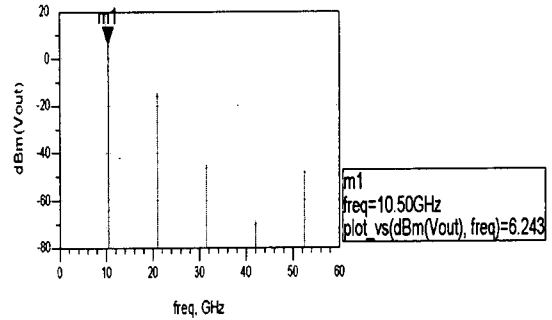


그림 7 10.5GHz 발진기의 시뮬레이션 결과

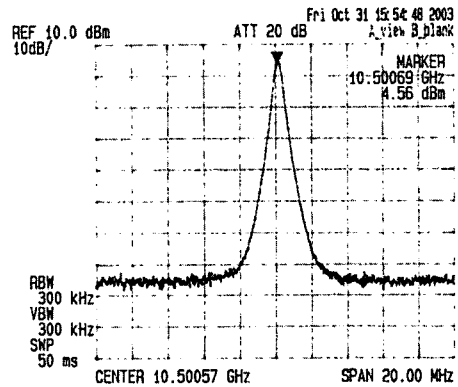


그림 8 10.5GHz 발진기의 free-running spectrum

### 4. Injection Locking 후 측정

ILO(Injection Locked Oscillator)방식을 응용하여 10.5GHz 주파수 합성기를 설계 및 제작하였다. 유전체 공진기를 이용하여 공진부를 설계한 master 발진기와 microstrip line을 이용하여 설계된 slave 발진기로 구성되어진다. 위상 고정인 1.75GHz master 발진기의 6th harmonic 성분을 10.5GHz의 slave 발진기에 injection locking될 수 있도록 중간 정합 회로를 이용하여 결합시켰다. 그 결과 안정적으로 위상 고정이 되었다. 제작된 ILO는 이격 주파수 100 kHz에서 약 -108 dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 보였으며 ILO 출력 전력은 최소 4.5 dBm 이상을 얻었다.

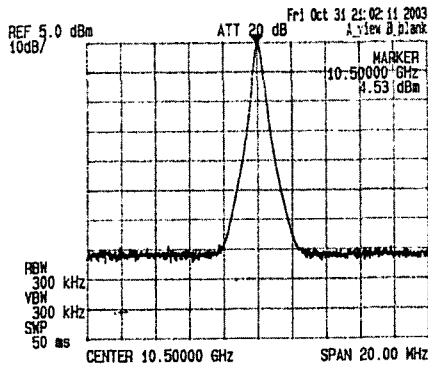


그림 9 10.5GHz ILO의 출력전력

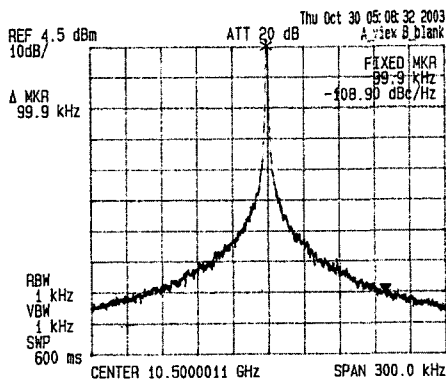


그림 10 10.5GHz ILO의 위상 잡음 (@100kHz offset)

### III. 결론

본 논문에서는 Injection Locking 방식을 이용하여 10.5 GHz 의 ILO (Injection Locking Oscillator)를 설계, 제작하였다. Injection 되는 신호의 크기를 크게 할 필요가 없기 때문에 master 발진기와 slave 발진기 사이에 증폭기를 두지 않고 master 발진기 자체를 6th harmonic 신호의 크기가 크도록 설계하여 slave 발진기에 Injection 시켰다. Master 발진기의 6th harmonic에 의해 동기화 된 10.5 GHz의 ILO는 출력 전력 4.5 dBm, 100 kHz 지점에서 -108 dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 얻었다. 이는 master 발진기의 기본 주파수에서의 위상잡음으로부터 예상된 결과와 같다.

### 참고 문헌

[1] R. A. York, "Nonlinear analysis of phase relationships in quasi-optical oscillator arrays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*,

vol.42, pp. 2040-2045, Nov. 1994.  
 [2] H.-C. Chang, X. Cao, U. K. Mishra, R. A. York, "Phase Noise in Coupled Oscillators : Theory and Experiment," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.45, pp. 604-615, May 1997.  
 [3] H.-C. Chang, X. Cao, M. J. Vaughan, U. K. Mishra, R. A. York, "Phase Noise in Externally Injection-Locked Oscillator Arrays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.45, pp. 2035-2042, Nov. 1997.  
 [4] Jack Smith, *Modern Communication Circuits*, Mc Graw-Hill, 1986.  
 [5] Dean Banerjee, *PLL Performance, Simulation, and Design*, NS, 1998.  
 [6] Jim Carlini, "A 2.45GHz Low Cost High Performance VCO," *Microwave Journal* April 2000.  
 [7] Ulrich L. Rohde, *Microwave and Wireless Synthesizers : Theory and Design*, Wiley-Interscience, 1997.  
 [8] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.  
 [9] Ulrich L. Rohde, *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications*, Wiley-Interscience, 2000.  
 [10] K. Kurokawa, "Injection locking of microwave solid-state oscillators," *proc. IEEE*, vol. 61, pp. 1386-1410, Oct. 1973.  
 [11] H.-C. Chang, X. Cao, U. K. Mishra, and R. A. York, "Phase noise in coupled oscillator arrays," in *IEEE MTT-S int. Microwave Symp. Dig.*, Denver, CO, pp. 1061-1064, June 1997.