

유전체 공진기를 이용한 X-band 전압제어 발진기 설계 및 제작

한 석 균* · 최 병 하**

*목포해양대학교 대학원, **목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

Design and Fabrication of Voltage Control Oscillator at X-band using Dielectric Resonator

Sok-Kyun Han* · Byung-Ha Choi**

*Division of Marine Electronic & comm. Eng National Mokpo Maritime University, Mokpo 571-2, Korea

**Division of Marine Electronic & comm. Eng, National Mokpo Maritime University, Mokpo 571-2, Korea

요 약 : 본 논문에서는 유전체 공진기를 이용하여 X-band에서 안정된 소스원으로 사용할 수 있는 전압제어 발진기를 구현하였다. 위상 잡음을 개선하기 위하여 저잡음 특성을 가진 MESFET과 높은 선택도를 얻기 위하여 유전체 공진기를 사용하였고, 안정된 전압 가변을 하기 위하여 Q값이 높고 가변 특성이 좋은 바랙터 다이오드를 사용하였다. 구현된 회로는 최적의 성능을 갖도록 회로 시뮬레이터인 ADS를 사용하였다. 제작된 전압제어 유전체 공진 발진기의 특성을 측정된 결과, 중심 주파수 12.05 GHz에서 2.22 dBm 출력 파워와 -30 dBc의 고조파 억압과 중심 주파수 100 kHz offset에서 -130 dBc의 위상잡음 특성을 얻을 수 있었으며, 바랙터 다이오드에 인가되는 전압의 변화에 따른 주파수 변화는 중심주파수에서 ± 18.7 MHz를 얻었다. 제작된 VCDRO는 X-band에서 국부 발진기로 이용될 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 전압제어 유전체 공진기, 유전체 공진기, 위상 잡음

Abstract : In this paper, a VCDRO(Voltage Control Dielectric Resonator Oscillator) applied to X-band as stable source is implemented and constructed with a MESFET for low noise, a dielectric resonator of high frequency selectivity and high Q varactor diode to obtain a good phase noise performance and stable sweep characteristics. The designed circuits is simulated through the harmonic balance simulation technique to provide the optimum performance. The measured results of a fabricated VCDRO show that output is 2.22dBm at 12.05GHz, harmonic suppression -30dBc, phase noise -130dBc at 100kHz offset, and sweep range of varactor diode ± 18.7 Mhz, respectively. This oscillator will be available to X-band application.

Key words : VCDRO, DR, PHASE NOISE

1. 서 론

통신용량이 증가함에 따라 높은 주파수의 발진기의 중요성은 날로 증가하고 있고, 특히 위상변조 방식을 사용하는 디지털 통신 시스템의 경우 국부 발진기의 주파수 안정도와 위상잡음 특성은 전체 시스템의 데이터 오율특성에 상당히 중요한 역할을 한다 (Leeson, 1996).

특히, 위상 잡음 특성은 주로 트랜지스터의 잡음지수, $1/f$ 특성을 갖는 DC 근처 저주파 잡음과 캐리어와의 혼합에 의한 플리커 잡음($1/f$ noise), 공진부의 특성 등에 의해 결정된다 (Ali Hajimiri, 1996).

따라서 본 논문에서는 유전체 공진기를 이용한 X-band 전압제어 발진기로서, 안정된 발진을 하면서 위상잡음 특성과 고조파 특성이 우수하도록 구현하고자 하며, 구현된 회로는 HP사의 ADS를 이용하여 최적화하였다.

최적화된 회로는 유전율 3.5이고 두께 20mil인 TACONIC사

의 RF35 마이크로 스트립 기판 위에 구현하여 X-band에서 사용할 수 있는 전압제어 유전체 공진 발진기를 설계·제작하고자 한다.

2. 전압제어 유전체 공진 발진기

전압 제어 유전체 공진 발진기(VCDRO)는 유전체 공진기의 결합위치에 따라 크게 병렬 궤환 발진기, 반사형 발진기, 직렬 궤환 발진기로 나눌 수 있으며, 출력단에 유전체 공진기를 결합하는 병렬 궤환형이나 반사형은 능동소자의 자체 궤환 없이도 발진하는 장점이 있으나, 발진기의 전체적인 성능 저하나 주파수의 변화를 일으키는 단점이 있으므로 본 논문에서는 직렬 궤환형 발진기로 설계하였다.

Fig. 1 는 일반적인 2포트 부성 저항 발진기의 모델이다. 트랜지스터는 S 파라미터로 표현되며 안정도 판별식 $K < 1$ 때 초기 발진 조건은

* 대표저자 : 한석균(정회원), prohan@hanmail.net, 016) 9885-4678

** 정회원, antenna@mmu.ac.kr, 061) 240-7117

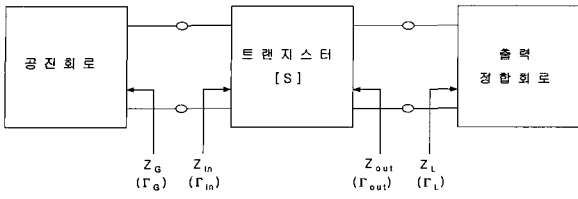


Fig. 1 Two-port oscillator model

$$|R_{out}(V, \omega_o)| > R_L(\omega_o)$$

$$X_{out}(V, \omega_o) + X_L(\omega_o) = 0 \quad (1)$$

이며, 정상 상태 발진 조건은

$$\Gamma_G \Gamma_{in} = 1, \quad \Gamma_L \Gamma_{out} = 1$$

$$K = \frac{1 + |\Delta| - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} < 1, \quad (2)$$

$$(\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21})$$

이다 (David M., 1990, Robert G., 1991).

MESFET의 동작점 결정은 설계 목표치 중 출력레벨 및 위상 잡음을 고려하여 결정한다. 일반적으로 높은 드레인-소스 전류는 위상 잡음이 증가하고, 적은 드레인-소스 전류는 출력 파위가 감소되게 된다. 특히 1/f 잡음은 발진회로의 발진 신호와 주변 주파수 잡음과 주파수 혼합에 의해 나타나므로 DC 바이어스점, 능동 소자에서 본 RF 부하곡선, RF 주파수 대역에서 임피던스의 주파수 의존성 등에 의해 영향을 받는다. 따라서 트랜지스터의 V-I 특성 곡선으로부터 출력은 작지만 위상 잡음을 작게 하기 위한 동작 점으로 $V_{ds}=2$ [V]이고, $V_{GS}=-0.3$ [V], $I_{ds}=20$ [mA]인 점을 선택하였다.

또한 발진기의 동조 방법에는 기계적 동조와 전기적인 동조 방법이 있는데, 본 논문에서는 바랙터 다이오드를 이용한 전기적 동조 방법을 사용하였다. 이때 바랙터 다이오드가 소자의 직렬 또는 병렬로 직접 연결되어지면 발진기의 위상잡음 특성이 감소하므로 직렬 레환 형태를 가지는 발진기의 유전체 공진기에 바랙터 다이오드가 연결된 마이크로스트립 전송선로를 결합시켜 공진주파수를 변화시킴으로써 주파수 동조를 얻는 방법을 사용하여 위상잡음을 줄이도록 하였다. Fig. 2는 바랙터 다이오드가 연결된 유전체 공진 발진기의 구조를 나타낸다.

설계한 VCDRO의 회로로써 Fig 2에서의 직렬레환 회로는 부성저항을 발생시키기 위해 공동 소스단자에 리액턴스 소자를 직렬로 연결하였고 l_2 길이를 273 [mil] 최적화하였다.

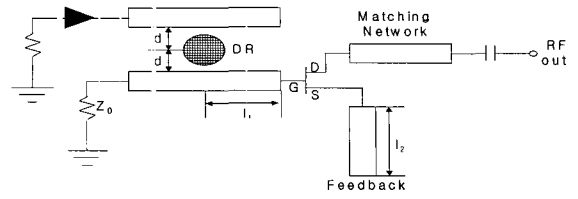


Fig. 2 A configuration of VCDRO

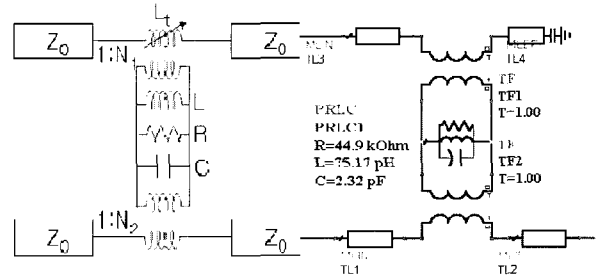


Fig. 3 Equivalent circuit for Dielectric resonator couples to a microstrip line

Fig 3은 마이크로 스트립 선로와 튜닝 바랙터가 결합된 유전체 공진기의 등가회로이며, 게이트단의 전송선로와 결합하여 대역저지 필터로써 원하는 주파수를 충분히 반사시키는 역할을 하며, 반사손실과 반사 선택도는 부하로 전달되는 에너지와 위상 잡음 특성에 영향을 준다. 마이크로 스트립과 결합된 유전체 공진기를 나타낸 그림 3의 등가회로의 소자 값은 다음 식으로 구할 수 있다 (G., 1997).

$$L_0(dB) = -20 |\log S_{21}(\omega_o)| = 20 \log(1 + \beta) \quad (3)$$

$$X(dB) = 3 - 10 \log(1 + 10^{-0.1L_0}) \quad (4)$$

$$Q_u = \frac{f_0}{f_2 - f_1}, \quad Q_L = \frac{f_0}{f_4 - f_3} \quad (5)$$

$$Q_u = Q_L(1 + \beta) = \beta Q_e \quad (6)$$

$$R = 2Z_0\beta, \quad L = \frac{R}{Q_u\omega_0}, \quad C = \frac{Q_u}{\omega_0 R} \quad (7)$$

여기서 R, L, C는 유전체 공진기 등가 파라메타, β 는 공진 주파수에서의 유전체와 마이크로 스트립의 결합계수, L_0 , X는 유전체 공진기의 무부하, Q_u (unloaded) quality factor 를 결정하는 삽입손실, Q_L 는 loaded quality factor 그리고 Q_e 는 부하와의 결합 정도를 나타내는 외부 quality factor 이다. Fig. 4는 공진부의 시뮬레이션 결과이며, 원하는 주파수에서 공진 특성이 우수함을 알 수 있다.

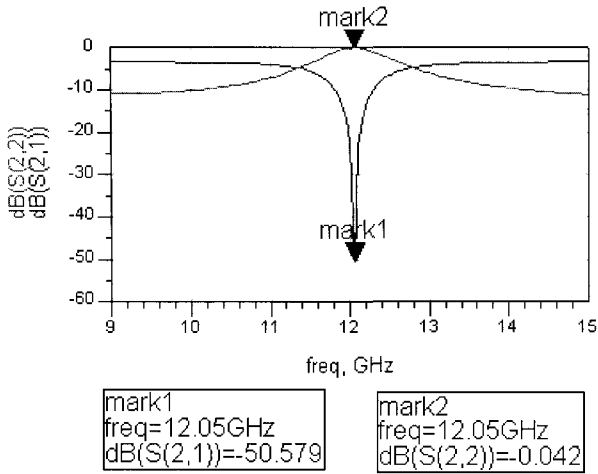


Fig. 4 Resonator characteristics

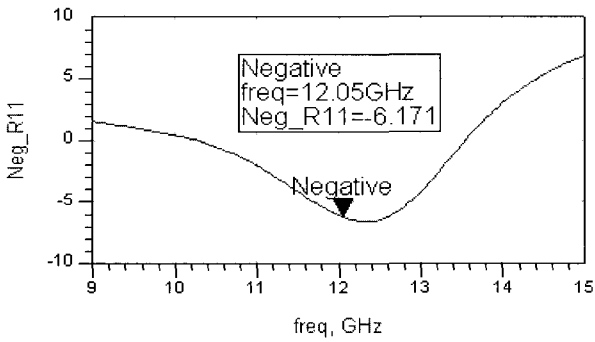


Fig. 5 Negative resistance characteristics

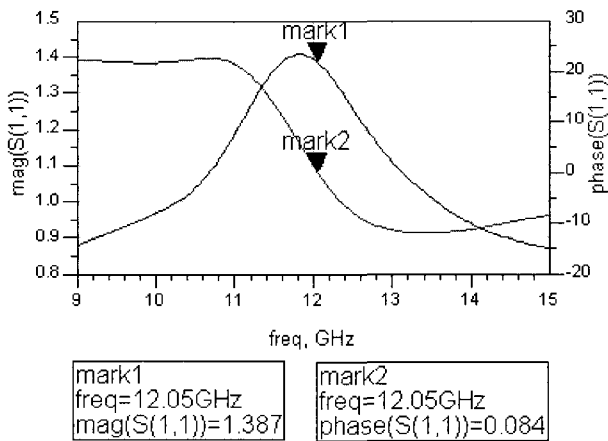


Fig. 6 Oscillation test

Feedback를 최적화시킨 결과 Fig. 5에서처럼 11GHz~13GHz 사이에서 부정 저항 특성을 나타냄으로써 발진가능성을 확인하였고 Fig. 6은 S_{11} 의 크기와 위상을 나타낸다. 부하 정합 회로는 설계 주파수에서 최대의 파워를 가져다 주도록 부하 임피던스는 일반적으로 다음의 수식으로서 결정된다 (Eric, 1992).

$$R_L(\omega_o) + jX_L(\omega_o) = -\frac{R_{IN}(0, \omega_o)}{3} - jX_{IN}(0, \omega_o) \quad (8)$$

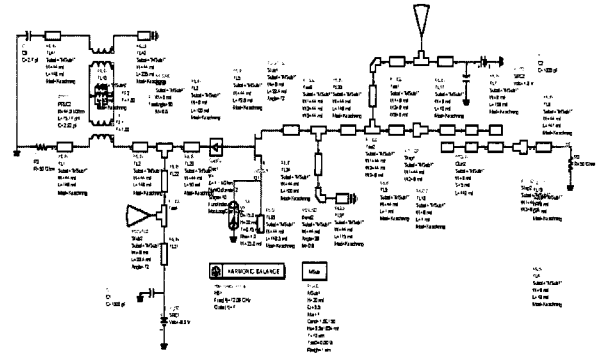
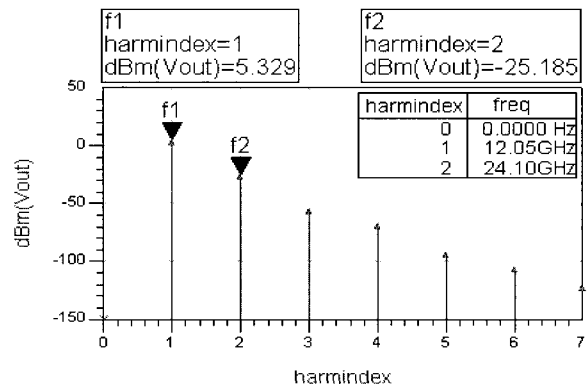
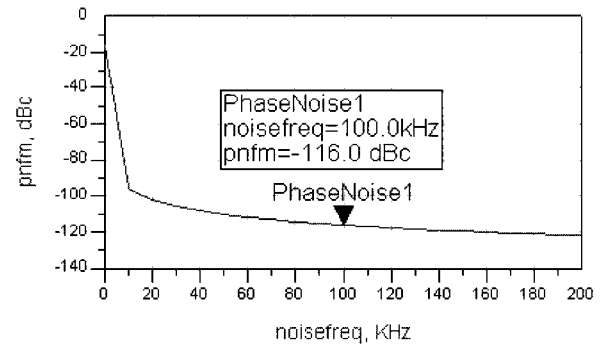


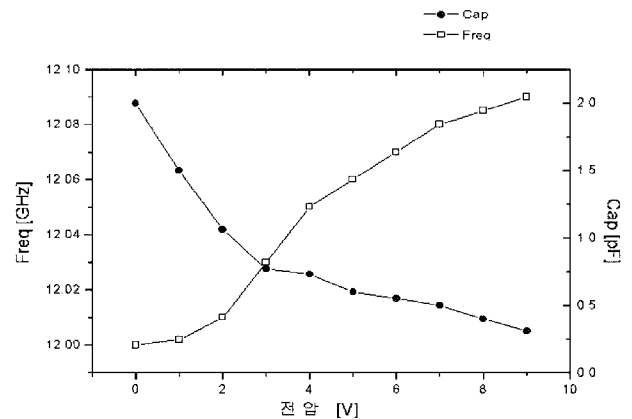
Fig. 7 Simulation circuit for HB analysis



(a) Output characteristics



(b) Phase noise



(c) Capacitance and oscillation frequency versus varactor tuning voltage

Fig. 8 Simulation results of designed VCDRO

소신호 파라미터에 의해 설계된 발진기 회로에서 계산된 부하 임피던스 Z_L 을 50 옴 정합이 되도록 오픈 스태브를 사용한 출력 정합 회로를 구성한 후, 출력 전력, 고조파 특성 등 트랜지스터의 비선형 특성에 의해 발생하는 발진 특성 예측을 하기 위하여 하모닉 발란스 (HB) 시뮬레이션을 하였다.

Fig 7은 최종 설계된 HB 해석을 위한 회로도이다. 설계된 VCDRO의 시뮬레이션 결과 Fig. 8과 같고, 주파수 특성은 12.05 GHz에서 5.3 [dBm], 고조파 응답은 기본파 대비 -30 [dBc], 위상 잡음은 100 kHz offset 주파수에서 -116 [dBc], 바랙터 다이오드에 인가되는 가변 전압에 따른 주파수 가변 범위와 캐패시턴스의 변화는 Fig. 8의 (C)와 같다. 이 가변 범위 가운데 가변 주파수 응답을 얻은 전압 0.5 [v]에서 2.5 [v] 사이에서 바랙터는 선형 특성을 갖는다.

3. VCDRO의 제작 및 측정결과

Fig 7의 설계된 VCDRO 회로는 유전율이 3.5이고 두께가 20mil인 TACONIC사의 RF35 기판 위에 제작하였고, MESFET는 저잡음 특성을 가지고 있는 NEC사의 NE32584C를 사용하였으며, 가변 특성이 우수한 바랙터 다이오드는 M/A-COM사의 MA46451를 또 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기는 아이텍사의 IDR03를 주문하여 사용하였다. Fig. 9는 설계된 VCDRO의 레이아웃을 보여준다.

DC 바이어스 회로는 RF 신호에 대해서는 개방되어 RF 신호가 DC 바이어스 라인으로 커플링되는 것을 방지하도록 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인과 radial stub를 사용하였다. $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인은 RF 신호선에 비해 높은 임피던스 특성(125 Ω)을 갖도록 설계하였다.

측정 결과 주파수 특성은 중심 주파수 12.05GHz에서 2.22 dBm의 출력과 0.2 [V]에서 10 [V]의 가변 전압에서 주파수 가변 범위는 중심 주파수에서 ± 18.7 MHz로 시뮬레이션 결과와는 다소 차이가 있었고, 고조파 응답은 2차 고조파에서 -30dBc로 설계치와 같고, 위상 잡음은 주파수 분해능(RBW)를 10 kHz로 측정된 결과 100kHz offset 주파수에서 -91dBc로 설계치 보다 매우 우수한 값을 얻었다.

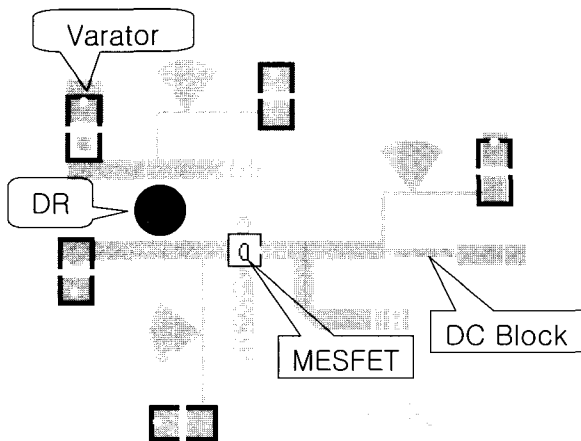
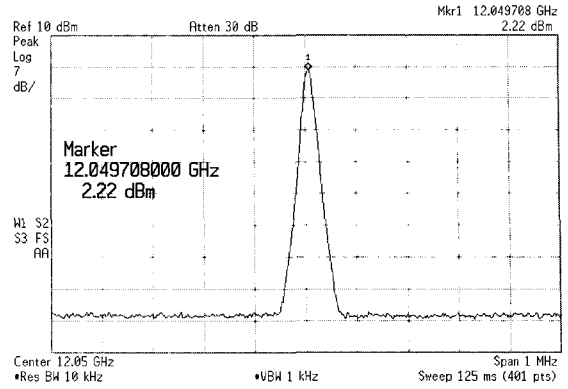
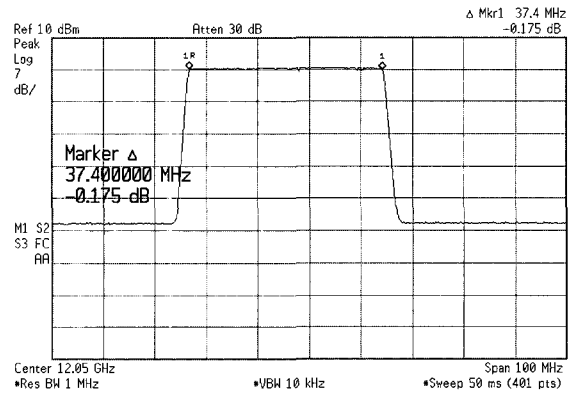


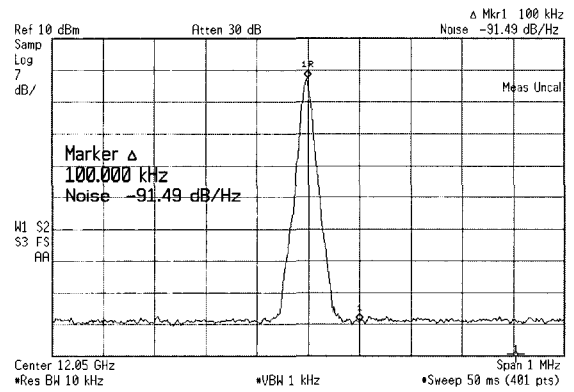
Fig. 9 Layout of VCDRO



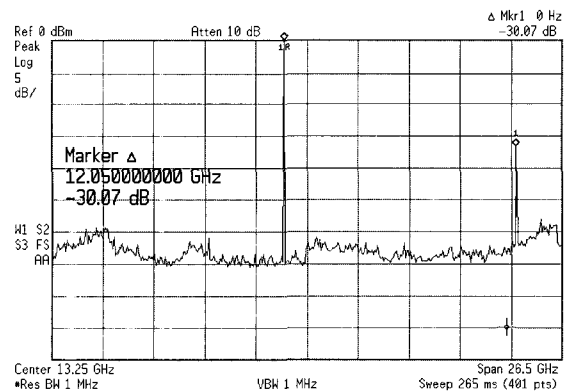
(a) Frequency characteristics



(b) Tuned spectrum of VCDRO



(c) Phase noise



(d) Harmonic characteristics

Fig. 10 Output characteristics of VCDRO

4. 결 론

본 논문에서는 유전체 공진기를 이용하여 X-band에서 사용할 수 있는 전압 제어 발진기를 설계하고 제작하였다.

이를 위하여 NEC사의 NE32584C MESFET은 등가회로도 모델을 이용하였고, 유전체 공진기는 아이텍사의 IDR03을 주문 제작하여 바랙터와 결합된 등가회로를 구현하였고, 설계 및 시뮬레이션은 HP사의 ADS를 이용하였다. 제작용 기판은 유전율이 3.5이고 두께가 20 mil인 TACONIC사의 RF35기판을 사용하였다.

제작된 발진기의 성능은 HP사의 스펙트럼 분석기(E4407B)를 이용하여 측정하였고 게이트 바이어스가 -0.3 V이고 드레인 인가 전압은 2 V에서 중심주파수 12.05 GHz에서 2.2 dBm으로 양호한 주파수 응답과 0.2 V에서 10 V의 가변 전압에서 주파수 가변 범위는 중심 주파수에서 ± 18.7 MHz를, 위상 잡음은 100 kHz 대역폭에서 -130 dBc로 설계치 보다는 더 우수한 위상 잡음특성을 보였다. 고조파 응답은 2차 고조파에서 -30 dBc로 설계치와 같은 값을 얻었다. 설계, 제작된 전압 제어 발진기는 X-band에서 국부 발진기로 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Ali Hajimiri, The Design of Low Noise Oscillators, Kluwer Academics Publishers. 1996
- [2] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 1990
- [3] Eric Holzman, Solid State Microwave Power Oscillator Design, Artech House. 1992
- [4] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall Inc., 1997.
- [5] Leeson, D. B., "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", Proc IEEE., 1996, 54, pp 329-330.
- [6] Robert G. Rogers, Low Phase Noise Microwave Oscillator Design, Artech House. 1991

원고접수일 : 2003년 9월 30일

원고채택일 : 2003년 11월 26일