

근거리 무선통신용 5.5 GHz 대역 발진기 설계 및 제작

주성남 * · 박청룡 * · 부종배 * · 이영수 * · 김갑기 *
* 목포해양대학교

Design and Fabrication of 5.5 GHz Band Oscillator for local wireless Communication system

Seng-nam Ju * · Chong-lyong Pag * · Jong-bae Boo * · Yeong-su Lee * · Kab-ki Kim *
* Mokpo Maritime University
E-mail : microkim@mail.mmu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 근거리무선 통신용 RF 모듈을 구성하는 핵심 부품인 5.5GHz 대역의 발진기를 설계 제작하였다. NEC사의 잡음 특성이 우수한 HJ FET인 NE3210S01를 사용하여 위상잡음 특성을 개선하였고, 구현된 회로는 HP사의 회로 시뮬레이터인 ADS2002를 사용하여 설계 및 제작하였으며 발진기의 특성을 측정한 결과, 중심 주파수 5.5 GHz에서 출력전력이 10 dBm 그리고 2차 고조파 억압이 -31 dBc이며 중심 주파수 100 kHz offset에서 -98.83 dBc의 위상잡음 특성을 얻었다. 제작된 발진기는 근거리 무선 통신용 국부 발진기로 이용될 수 있다.

Abstract

This paper shows the design, fabrication and performance of oscillator applied to 5.5GHz RF module for local wireless communication system. Super low noise HJ FET of NE3210S01 is used to obtain a good phase noise Performance. The design Parameters for the optimum operating performance are simulated with ADS simulation. The measured out Power is 10 dBm at 5.5GHz, the second harmonic suppression -31 dBc, and the phase noise characteristics -98.83 dBc at 100kHz offset frequency, respectively. This implemented oscillator is available to local wireless Communication system.

키워드

Local wireless Communication system, Second harmonic suppression, Phase noise

1. 서 론

최근 무선통신 시스템은 음성뿐만 아니라 비음성 분야까지 수년간 급성장하고 있으며, 또한 면허가 필요하지 않는 특정 소전력 무선국 및 ISM대역 주파수 등의 개방에 의해 2 GHz이하의 주파수 스펙트럼이 포화 상태여서 주파수 자원을 재활용할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 상황에서 기존의 IEEE 802.11b의 2.4 GHz대 무선랜보다 전송속도와 주파수 효율이 우위에 있는 IEEE

802.11a의 5 GHz 대역이 차세대 무선랜의 표준이 될 것으로 기대된다[1].

특히 오늘날 IT 혁명으로 일컬어지는 새로운 통신환경의 변화와 더불어 Digital-Life의 미래 유비쿼터스 정보화 사회가 요구하는 통신 속도가 기하급수적으로 빨라짐에 따라 마이크로파 및 밀리미터파에서의 위상잡음 특성이 뛰어난 발진기가 절실히 요구되고 있다[2].

발진기의 성능을 결정하는 중요한 요소인 위상잡음 특성은 주로 트랜지스터 잡음지수, $1/f$ 특성

을 갖는 DC 근처 저주파 잡음과 캐리어와의 혼합에 의한 플리커 잡음에 의해 결정된다[3]. 고주파에서 스트립 라인으로 공진부를 구성 할 경우 위상잡음을 감소하기 위해서는 유전 손실이 적은 기판을 사용하는 것이 좋다[4].

따라서 본 논문에서는 능동소자로 5.5 GHz에서 0.5 dB이하의 잡음 특성이 우수한 소자인 NEC사의 HJ FET NE3201S01를 사용하여 등가회로를 구성하고, 최적의 바이어스 동작점을 결정하였다. 또한 고주파 특성이 좋은 $\epsilon=3.5$, $H=20\text{mil}$ 의 TACONIC사의 RF 테프론 마이크로 스트립 기판 위에 구현하였으며, HP사의 ADS2002 시뮬레이터를 사용하여 출력전력이 높으면서 위상잡음이 적은 발진기를 설계하고 이를 제작하여 근거리 무선 통신용으로 사용할 수 있도록 하고자 한다.

II. 2단자망 발진기 이론

발진기는 여러 가지 형태로 제작이 될 수 있으나, 기본적으로 게이트단은 능동소자와 종단회로를 포함하여 고주파를 생성시키는 부성저항부, 드레인단은 부하에 최대 전력이 전달될 수 있도록 하는 출력 임피던스 정합부로 구성된다. 이러한 구조를 갖는 일반적인 발진기의 블록도를 그림 1에서 보여주고 있다.

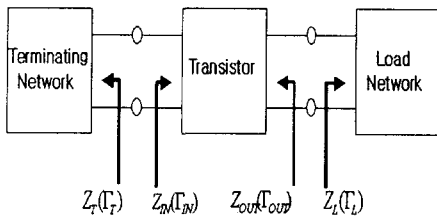


그림 4. 2단자망 발진기 블록도

그림 1에서 Z_L 은 디바이스에서 출력 정합회로를 바라본 임피던스이고, Z_T 는 종단회로를 바라본 임피던스이다. 또한 Z_{IN} 은 종단회로에서 디바이스를, Z_{OUT} 은 출력 정합회로에서 디바이스를 바라본 임피던스이다. 발진기의 발진조건은 $K < 1$ 일 때

$$\Gamma_{IN}\Gamma_T = 1, \Gamma_{OUT}\Gamma_L = 1 \quad (2-1)$$

이 된다[5][6].

III. 발진기 설계 및 시뮬레이션

스미스 차트상에서 Γ_T 평면에 출력 안정도원을 그린 후 불안정한 영역에 Γ_T 점을 선택하여 50Ω 마이크로 스트립 라인으로 종단 회로를 구성하면, 부성저항 Z_{OUT} 이 결정된다. 따라서 Z_{IN} 을 정합시키는 부하 임피던스는

$$Z_L = R_L + jX_L = \left| \frac{R_{IN}}{3} \right| - jX_{IN} \quad (2-2)$$

에 의하여 계산된 Z_L 점을 스미스차트상에서 50Ω 에 정합시켜 출력 임피던스 정합회로를 구현하였다.

MESFET의 동작점 결정은 설계 목표치 중 출력 전력 및 위상잡음을 고려하여 결정한다. 일반적으로 높은 드레인-소스 전류는 위상잡음이 증가하고, 적은 드레인-소스 전류는 출력전력이 감소하게 된다. 특히 $1/f$ 잡음은 발진회로의 발진 신호와 주변 저주파 잡음과 주파수 혼합에 의해 나타나므로 DC 바이어스점, 능동 소자에서 본 RF부하곡선, RF 주파수 대역에서 임피던스의 주파수 의존성 등에 의해 영향을 받는다[7]. 따라서 트랜지스터의 V-I 특성 곡선으로부터 출력전력과 위상잡음을 고려하여 바이어스 동작점을 $V_{DS}=2V$, $V_{GS}=-0.36V$, $I_{DS}=30mA$ 로 선택하였다.

고조파 응답특성과 출력전력, 위상잡음 특성에 대한 요구 규격은 RF 모듈의 스펙리얼스 억압 특성과 변복조 방식에 따라 결정되었지만 본 연구에서는 일반 상용 발진기에 준하여 표 1과 같이 설계 규격을 정하였다.

표1. 발진기의 설계 규격

주파수 범위	5.5 GHz
출력전력	6 dBm 이상
고조파 응답 특성	-25 dBc 이상
위상잡음	-90 dBc/Hz 이하 (at offset freq.=100kHz)

FET를 이용하여 발진기를 구성하는 방법에는 크게 소스 접지회로와 게이트 접지회로로 나눌 수 있는데 본 논문에서는 효율이 높고 튜닝 범위는 작지만 쉽게 튜닝이 가능하며 높은 출력을 얻을 수 있는 장점을 가진 공통 소스 접지 방식으로 회로를 구성하였다. 그림 2는 본 논문에서 설계하고자 하는 발진기의 기본 구조로서 소스단 스태브의 길이는 부성 저항을 발생시키며 캐환량을 결정한다.

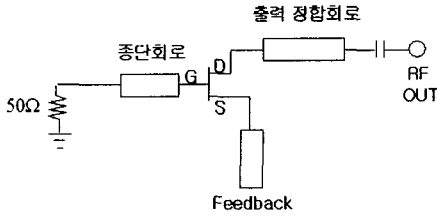


그림 5. 발진기 구조

그림 3은 최적화시킨 중단회로와 출력 정합회로 그리고 FET가 결합된 것으로 기본적인 발진 가능성을 확인하기 위한 회로도이다.

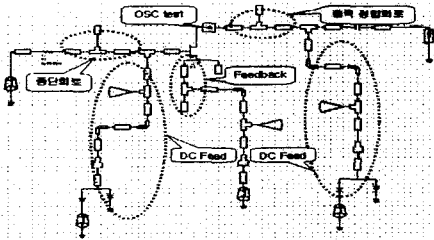


그림 6. 발진 가능성 테스트를 위한 회로

선형 시뮬레이션은 소신호 해석에 기본을 두고 있으며 발진 가능성은 테스트할 수 있지만 출력 전력은 예측할 수 없으므로 발진 가능성이 확인되면 비선형 시뮬레이션을 하여야 한다.

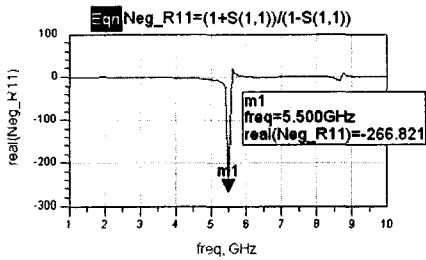
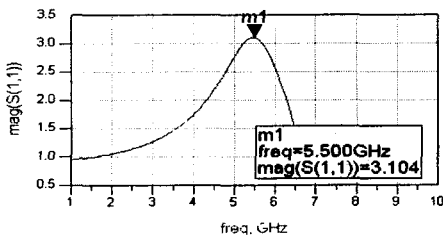
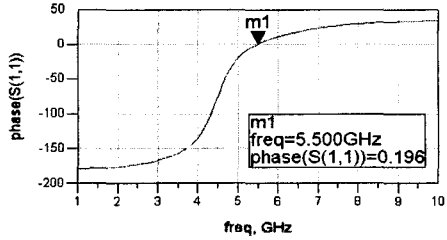


그림 4. 부성저항 특성



(a) S11의 크기



(b) S11 위상 변화

그림 5. 발진 가능성 테스트 결과

그림 4는 선형 시뮬레이션 결과로서 5 GHz ~ 5.6 GHz 사이에서 부성저항 특성을 나타내고 있으며 5.5 GHz에서 최대값을 나타내고 있다. 또한 그림 5의 (a)와 (b)는 발진 가능성 테스트의 결과로서 5GHz에서 발진 가능성이 나타남을 확인하였다.

다음으로 비선형 모델을 적용한 발진기 회로를 비선형 특성에 의해 발생하는 정확한 발진주파수 및 출력전력 그리고 위상잡음까지도 예측이 가능한 하모닉 발란스 시뮬레이션을 하였다[7].

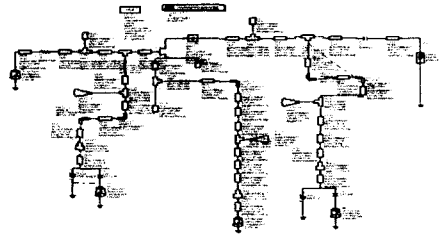
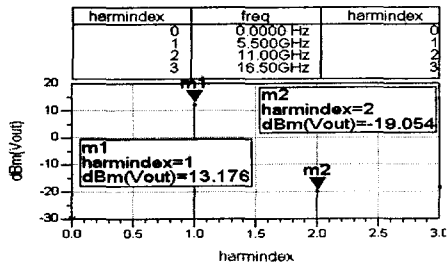
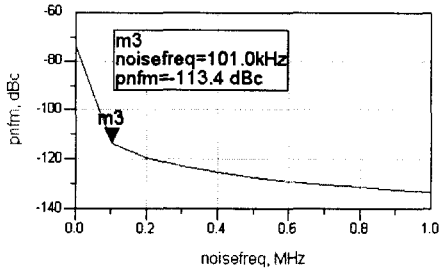


그림 6. 하모닉 발란스 시뮬레이션 회로도

설계된 발진기의 시뮬레이션 결과를 그림 7에서 보여주고 있다.



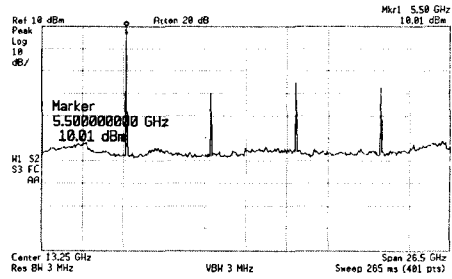
(a) 출력 특성



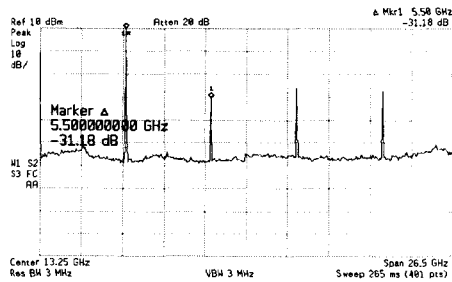
(b) 위상잡음

그림 7. 하모닉 발란스 시뮬레이션 결과

그림 7의 (a)는 설계된 발진기의 발진 주파수 및 출력전력을 보여주는 그림으로 5.5 GHz에서 13 dBm을 나타내고 있으며, 또한 고조파 응답은 기본 파 대비 -32 dBc를 나타낼 수 있었다. 그림 (b)는 위상잡음 특성을 나타내고 있는데 위상잡음은 100 kHz offset 주파수에서 -113 dBc임을 알 수 있었다.



(a) 고조파 출력 측정



(b) 고조파 응답 특성

IV. 제작 및 측정결과

DC 바이어스 회로는 FET에 DC를 공급해주는 회로이며, RF 신호가 바이어스 입력단으로 들어가지 않도록 차단하는 역할을 해야한다. RF 신호에 대해서는 개방되어 RF 신호가 DC 바이어스 라인으로 커플링되는 것을 방지하도록 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인과 radial stub를 사용하여 DC Feed를 설계하였으며, 출력단의 DC Block은 통과 대역내 삽입손실이 증가하고 부가적인 기생성분이 발생하여 발진기의 특성이 저하되지만 기관의 크기를 고려하여 집중소자를 사용하였다.

그림 8은 설계된 발진기의 레이아웃을 보여주고 있다.

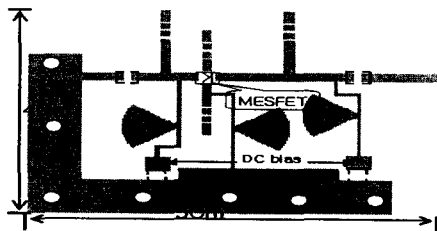
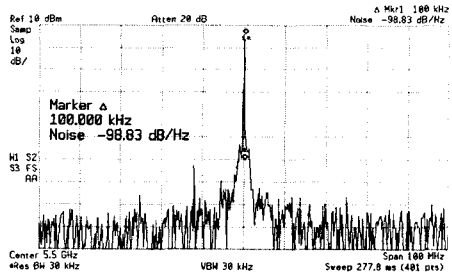


그림 8. 레이아웃

제작된 발진기의 특성을 분석하기 위하여 HP사의 스펙트럼 분석기(E4407B)를 사용하였다. 그림 9는 제작된 발진기의 출력 측정 결과를 보여주고 있다.



(c) 위상 잡음

그림 9. 발진기 출력 특성

측정 결과 주파수 특성은 중심주파수 5.5 GHz에서 10 dBm으로 시뮬레이션 결과 보다 약 3 dBm 더 작은 출력전력을 나타내었고, 고조파 응답 특성은 -31.18dBc로 시뮬레이션 결과와 거의 유사하였으며, 위상잡음은 100 kHz offset 주파수에서 측정된 결과 -98.83 dBc로 설계치 보다 다소 높은 값을 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 5.5 GHz 근거리 무선통신용으로 사용할 수 있는 발진기를 시뮬레이션 및 제작하였다. 제작된 발진기의 성능은 HP사의 스펙트럼 분석기(E4407B)를 이용하였고, 게이트 전압 -0.3V와 드레인 전압 2V를 공급한 결과 주파수 5.5 GHz에

서 출력전력은 10 dBm으로 시뮬레이션 결과보다 다소 낮은 결과를 나타내었으며, 위상잡음은 100 kHz offset 주파수에서 -98.83 dBc 를 나타내었다. 또한 고조파 응답은 -31 dBc로 설계치와 비슷한 결과를 얻었다.

본 논문에서 제작된 발진기는 5.5 GHz 대역에서 상용되는 발진기에 비교하여 볼 때 제작 과정이 간단하며, 저비용, 발진 주파수 안정성 및 출력전력, 그리고 고조파 응답 특성이 우수한 발진기로서 5.5 GHz 대역의 근거리 무선통신용 RF 모듈 시스템뿐만 아니라 5.8 GHz 대역의 주파수를 사용하는 송수신 시스템에 널리 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Applied Wave Research. Inc. www.mwoffice.com.
- [2] Behzad Razavi RF Microelectronics, RreniceHall. 1997
- [3] Ali Hajimiri, The Design of Low Noise Oscillators, Kluwer Academics Publishers. 1996
- [4] Ulrich L. Rohde, David P. Newkirk, RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications, Wiley Interscience, pp. 831-833, 2000
- [5] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 1990
- [6] Robert G. Rogers, Low Phase Noese Microwave Oscillator Design, Artech House. 1991
- [7] 이문규, "Load Line을 고려한 마이크로파 발진의 비선형 설계에 관한 연구." 서울대학교 박사학위 논문, 1998년 2월