

## PCS용 하이브리드 전압제어 발진기에 관한 연구

김영기, 김혁, 정의석, 백경식, 이재훈\*  
안양대학교 정보통신공학과  
경기도 안양시 만안구 안양5동 708-113 번지  
e-mail : kimyg@aycc.anyang.ac.kr  
\*유정 시스템  
서울 구로구 구로5동 106-4 선경빌딩 1612

### A Study on a hybrid Voltage Controlled Oscillator for Personal Communication System

Young-Gi Kim, Hyeuk Kim, Eu-Suk Jung, Kyung-Sik Heak, Jae-Hoon Lee\*  
Dept. of Data Communication, Anyang University, 708-113, Anyang 5-Dong,  
Manan-Gu, Anyang-City, Kyungki-Do, 430-714, KOREA  
+82-343-67-0894(tel/fax), kimyg@aycc.anyang.ac.kr  
Yujung Systems Ltd.  
\*Seoul Kooro-Gu, Kooro5-Dong, 106-4, Sunkeung Bld. 1612  
+82-2-853-0721(tel/fax)

#### Abstract

This paper presents the design, fabrication, analysis of the measured data of a voltage controlled oscillator(VCO) for the application of Personal Communication Systems.

Main VCO circuit consists of self biased emitter resonating circuit with microstrip line resonator on FR4 epoxy substrate. A varactor diode is used for 90 MHz frequency tuning with center frequency of 1635 MHz. Phase noise of -114.67 dBc/Hz at 100 KHz off set has been achieved with 3.3 V supply. The size of the fabricated VCO circuit is 1.25 cm X 1.25 cm.

#### I. 서론

최근에 무선이동통신에 주로 적용하는 Heterodyne 무선통신 시스템에서 Local Oscillator의 특성은 전체 시스템의 성능에 매우 큰 영향을 가지고 있는데, 특히 우수한 위상잡음 특성과 충분한 출력전력 안정도가 중요시되고 있다. 주파수를 효율적으로 사용하기 위하여 여러 주파수에서의 발진이 가능한 전압제어 발진기

(Voltage Controlled Oscillator)를 주로 이용한다. 이 전압제어 발진기는 낮은 손실과 높은 Q를 가지고 있는 바랙터 다이오드의 공핍 캐패시턴스를 전압으로 제어하여 발진주파수가 변화시킨다.

발진현상을 물리적으로 살펴보면 처음에 잡음 같은 아주 미세한 신호가 능동소자에 입사하게 되면 능동소자의 부성저항으로 인하여 신호가 커지게 되며 입사파보다 큰 크기를 가지고 공진기로 반사되어 들어간다. 공진기는 입사된 신호를 반사시키는데 여기에서 신호의 손실이 생기나, 능동소자의 부성저항이 이 손실 부분보다 크면 전체적으로는 신호가 계속적으로 커지게 된다. 신호가 계속적으로 커짐에 따라서 능동소자의 부성저항이 작아지게 되어 공진기 부분에서의 손실과 균형을 이루게 되어 정상상태로 이르게 된다. 능동소자의 비선형 때문에 고조파가 생기게 되나 이 고조파 성분도 정상 상태에 이르게 된다.

#### II. 설계

발진기의 설계방법으로는 선형 설계방법, 준선형 설계방법 및 비선형설계방법 등이 있다.

선형 설계방법은 빠르고 간편하게 설계할 수 있다는 장점은 있으나 설계시 정확한 발진주파수와 출력전력을 예측할 수 없는 단점이 있다. 준선형 설계방법은 측정을 통하여 설계하는 방법으로 선형 설계방법보다는 정확한 결과를 얻을 수 있으나 측정하기가 까다롭고 기본주파수에서의 출력전력 값만을 알 수 있어서 발진기의 고조파(Harmonics) 성분은 예측할 수 없는 단점이 있다.

선형 설계방법으로는 negative resistance 방법을 주로 이용한다. 이 방법은 공진부분을 제외한 나머지 회로의 임피던스를 측정하여 실수 부분을 음으로 하게 회로의 파라미터를 조절하고, 공진부분의 임피던스를 다시 조절하여 전체회로의 임피던스의 실수부는 "영"이나 약간의 음의 값을 갖게 하고 허수부를 "영"으로 하는 주파수를 찾아내어 이를 발진의 주파수로 한다. 이 방법은 비교적 발진의 조건을 쉽게 예측할 수 있는 장점이 있으나 출력전력을 예측할 수 없는 단점이 있다.[1,2]

비선형 회로를 설계하는 방법에는 회로의 미분방정식을 해석하여 설계하는 방법, 시간영역에서 해석하는 방법, Harmonic Balance 방법을 이용한 설계 방법, Power/Volterra 시리즈를 이용하여 설계하는 방법 등이 있다.

Harmonic Balance 방법을 이용하여 설계하는 방법은 회로의 선형부분은 주파수 영역에서 해석하고 비선형 부분은 시간영역에서 해석하는 방법이다. 따라서 계산 속도가 매우 빠르고 비선형 소자를 시간 영역에서 해석할 수 있도록 잘 모델링되어 있어서 프로그램에 소자값을 대입하기가 쉽고, Transmission Line이나 Coupler와 같은 RF 회로를 잘 해석할 수 있는 장점이 있으나, 정상상태에서의 값만을 찾을 수 있는 단점이 있다.[3,4]

본 논문에서는 이러한 Harmonic Balance방법을 이용하여 비선형 회로를 설계하는 Libra 프로그램을 이용하여 발진기를 설계하였다.

Harmonic Balance 방법을 이용하여 설계하기 위해서는 비선형 CAE Tool과 능동소자의 비선형 등가모델이 필요하다. [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12] 본 논문에서는 HP사에서 제공하는 트랜지스터 모델을 사용하였다.

주파수 제어를 위한 바랙터 다이오드와 마이크로 스트립 라인을 에미터에 연결하여 공진을 얻는 셀프바이어스 형의 에미터공진형 VCO 회로를 그림 1 과 같이 구성하였다. 가변주파수대에서 발진출력이 일정하도록 하기 위하여 에미터에 Varactor 다이오드를 연결하였고 이 Varactor 다이오드의 커패시턴스를 변화시켜 발진주파수를 가변하였다.

이 과정에서 바이어스회로를 구성한 후에 소신호 S-파라미터를 이용하여 공진부를 제외한 회로가 발

진주파수 근방에서 음의 저항을 얻을 수 있도록 베이 스 회로의 인덕터 값을 대략적으로 조절하였다.

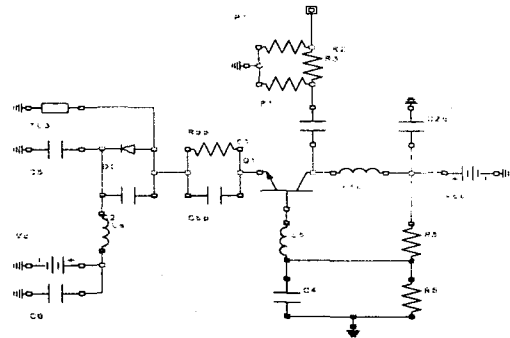


그림 1 바랙터 다이오드와 마이크로 스트립 라인을 에 미터에 연결하여 공진을 얻는 셀프바이어스 형의 에미터 공진형 VCO 회로

공진회로를 추가하여 공진회로의 임피던스의 허수부는 위의 회로와 크기가 같고 부호가 반대가 되게 하고, 실수부는 위 회로의 임피던스의 실수부의 음의 값의 크기에 3분의 1 정도의 크기의 양의 값을 갖도록 회로의 값을 조절하였다.

위의 과정으로 발진기의 출력쪽에서 본 임피던스가 발진되어야 할 주파수에서  $RE[Z1] < 0$  이고,  $IM[Z1] = 0$  인 조건을 만족 시키게 negative resistance 방법으로 발진기를 개략적으로 설계한 후에 Loop-Gain 방법으로 좀더 발진조건을 확고히 하였다.

위의 회로에서 Loop-Gain방법으로 발진조건을 시뮬레이션하여 그 결과를 그림 2 에 도시하였다. 여기서 Loop-Gain의 크기가 1 보다 크고 각도가 0 도를 지나는 3.1 dBm 전력의 1.36 GHz 주파수를 발진의 초기 조건으로 선정하였다.

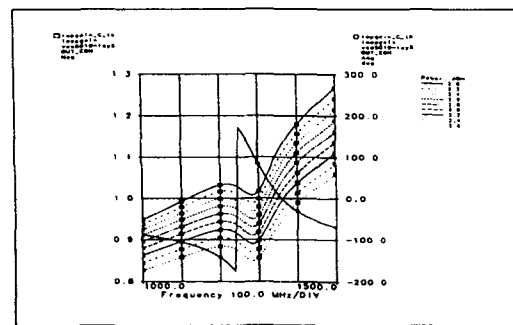


그림 2 초기 발진 조건을 위하여 시뮬레이션 한 Loop-gain 특성의 주파수에 따른 크기와 위 상 곡선

위의 회로에 대한 자세한 Harmonic Balance 방법으로 시뮬레이션한 출력 전력스펙트럼이 그림 3에 도시되었다. 이 그림에서는 정확한 기본파와 고조파의 출력전력을 알 수 있다. 기본파는 2.27 dBm 전력의 1.362 GHz 주파수로서 Loop-Gain 테스트에서 예측한 값과 매우 근접하게 근사 됨을 알 수 있다.

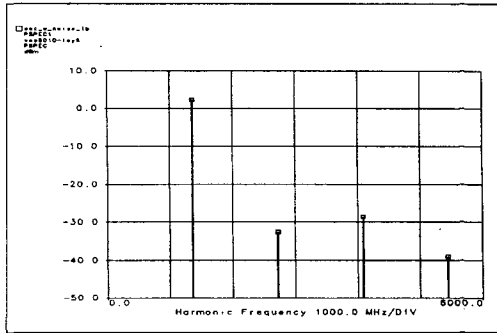


그림 3 Harmonic Balance 방법으로 시뮬레이션하여 얻은 주파수별 출력 전력

그림 4에는 시간에 대한 출력전압의 파형이 왜곡 없는 사인파임을 표시하고 있다. 이는 고조파가 매우 적음을 뒷받침 한다.

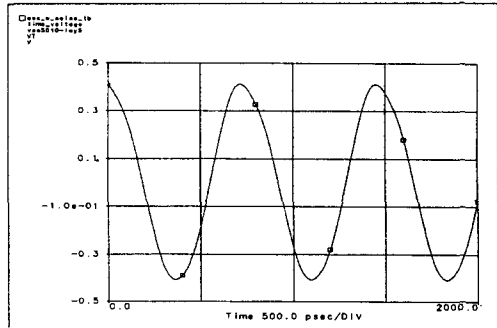


그림 4 시간에 대한 출력전압의 파형

### III. VCO 회로의 구현 및 측정 분석

앞장의 시뮬레이션을 토대로 전압제어발진기를 FR4 에폭시 PCB 기판상에서 제작하였다. 여기서 공진기의 인덕턴스는 회로의 위상잡음 특성을 향상시키기 위하여 마이크로 스트립선으로 구현하였다. 그림 5는 개발한 에미터 공진형 VCO의 사진으로, 그 크기는 1.25 cm X 1.25 cm 이다.

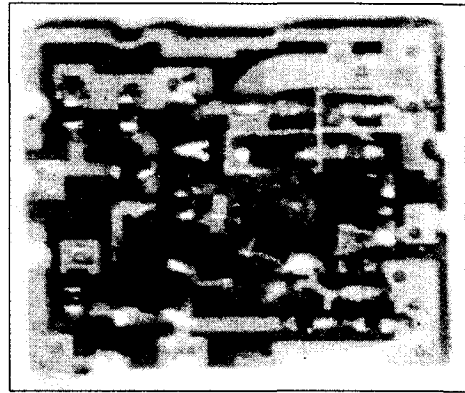


그림 5 제작한 에미터 공진형 VCO의 사진

회로를 시뮬레이션에서 정한 회로 파라미터값으로 제작한 결과 발진주파수가 250MHz 정도 높아진 상태로 발진하였다. 이는 트랜지스터 모델의 오차, PCB 기판의 유전율 및 두께의 오차에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 회로 파라미터의 값을 재 조절하여 제작을 하였다.

VCO의 성능중에 가장 중요한 위상잡음 특성인데 본 연구에서 제작한 VCO를 테스트 지그 보드상에서 측정한 1.710 GHz 주파수에서의 위상잡음 특성이 그림 6에 도시되어 있다. 100 KHz off-set 에서 -114.67 dBC/Hz, 10 KHz off-set 에서 -102 dBC/Hz, 1 KHz off-set 에서 -73 dBC/Hz, 100 Hz off-set 에서 -74 dBC/Hz 이상의 우수한 위상잡음 특성을 보이고 있다.

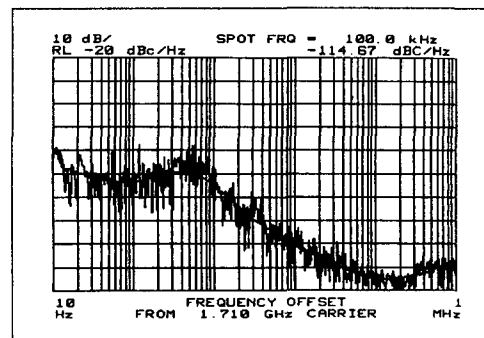


그림 6 제작한 VCO의 1.710 GHz에서 측정된 위상잡음 특성

50 KHz span에 대하여 측정된 특성곡선은 그림 7에 도시되어 있다.

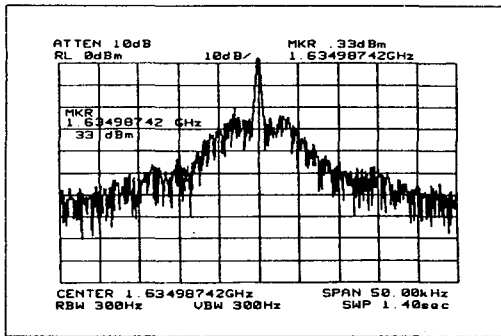


그림 7 50 KHz의 좁은 주파수 구간에서 측정된 출력 전력 특성 곡선

#### IV. 결 론

본 논문에서는 PCS용 전압제어발진기를 개발하기 위하여 관련이론을 조사 정립하고, 이를 바탕으로 시뮬레이션을 통한 회로 설계후, 이를 측정과 분석하고 성능을 향상 하였다.

본 논문에서 개발한 전압 제어 발진기에서는 고품질의 위상잡음을 최우선 고려하되 비용절감을 위하여 DRO를 사용하지 않고 Micro-Strip 선을 이용한 공진기의 구조를 채택하였다. 그 결과 선형발진이 요구되는 90 MHz 이상의 광대역의 발진 주파수에서 100 KHz off-set 에서 -114.67 dBC/Hz, 10 KHz off-set 에서 -102 dBC/Hz, 1 KHz off-set 에서 -73 dBC/Hz, 100 Hz off-set 에서 -74 dBC/Hz 이상의 우수한 위상잡음 특성을 가진 전압제어 발진기를 개발하였다.

현재 초고주파 발진을 위한 VCO 와 주파수 합성기는 거의 전량 수입에 의존하고 있으나 본 논문의 결과를 활용하면 차후에 본 논문의 주파수와 그 요구 주파수가 차이가 있더라도 본 연구와 같은 방법으로 개발이 가능하다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. Kurokawa, K., 'Some Basic Characteristics of Broadband Negative Resistance Oscillator Circuits,' Bell Sys. Tech. J., Vol. 48, 1969, pp. 1937-1955
- [2]. G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice Hall, 1984
- [3]. EEsof Circuit Element Catalog
- [4]. Maas S., Nonlinear Microwave Circuits, Artech House, 1988

- [5]. Khanna A.P.S. and J. Obregon, 'Microwave Oscillator Analysis' IEEE Trans Microwave Theory Tech., Vol. MTT-29, No. 6 June 1981, pp 606-607
- [6]. Holzmann E., Solid-State Microwave Power Oscillatr Design, Artech House, 1992
- [7]. Smith J., Modern Communication Circuits, McGRAW-HILL, 1986
- [8]. Goyal R., Monolithic Microwave Integrated Circuits, Artech House, 1989
- [9]. E. H. Fooks, Microwave Engineering Using Microstrip Circuits, Prentice Hall, 1990
- [10]. R. Soares, GaAs MESFET Circuit Design, Artech House, 1989
- [11]. R. S. Pengelly, Microwave Field Effect Transistors, John Wiley Sons, 1986
- [12]. G. D. Vendelin, Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques, John Wiley Sons, 1990
- [13]. Ulich L. Rohde, Microwave and Wireless Synthesizers Theory and Design, John Wiley and Sons, 1997
- [14]. Behazad Razavi, RF microelectronics, Prentice Hall PRL, 1998