Journal of the Research Institute of Institute Technology, Vol. 25, 2008

휴대인터넷 기지국용 저위상잡음 PLDRO 설계 및 제작

조형래* · 김철성** · 김동식**

*한국해양대학교 전파공학과 교수, **한국해양대학교 전파공학과 대학원

Design and Fabrication of Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator for Base Station of Portable Internet

*Hyung-Rae Cho** · *Cheol-Seong Kim*** · *Dong-Seek Kim***

**Department of Radio Communication Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

***Graduate school of Department of Radio Communication Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

요 약 : 18 GHz대역 Microwave 중계기의 송수신부에 사용되는 높은 주파수 안정도와 낮은 위상 잡음 특성을 갖는 Local Oscillator를 구현하기 위하여 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기 (Dielectric Resonator : DR)를 설계·제작하였다. 유전체 공진 발진기(Dielectric Resonator Oscillator : DRO)를 구현하기 위하여 먼저 원통형 유전체 공진기(Cylindrical DR)를 이용한 중심 주파수 7 GHz의 유전체 공진 발진기를 설계·제작하였다. 이렇게 설계된 유전체 공진 발진기에 튜닝을 위하여 Varactor 다이오드를 부착하여 VCTDRO(Voltage Controlled Transistor DRO)를 설계하였고 VCTDRO에 높은 주파수 안정도를 갖는 PLL(Phase Locked Loop)을 이용하여 Local Oscillator인 7 GHz PLDRO(Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator)를 설계 및 제작하였다. 측정결과는 주파수 7 GHz에서 출력 전력 10 dBm을 얻었고 Harmonic특성은 반송주파수 7 GHz에서 10.18 dBm, 2차 Harmonic 주파수 14 GHz에서 -41.09 dB의 출력을 보여주어 2차 Harmonic특성 -51.27 dBc를 얻었다. 또한 위상잡음 특성은 Offset 주파수가 10 kHz, 100 kHz 일 때 각각의 위상잡음 -98.61 dBc/Hz와 -102.03 dBc/Hz를 얻을 수 있었다. 측정 결과 중 위상잡음에 대해서 상용화된 PLDRO의 위상잡음과 비교한 결과, 본 논문에서 설계 및 제작한 PLDRO의 위상잡음 특성이 우수함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 휴대인터넷, 위상고정 유전체 공진발진기

ABSTRACT : *Recently, there has been a growing interest in the development of microwave and millimeter wave communication system. These systems require actually minimization of the size, the weight and cost reduction in circuits. Especially, the resonator as an important part of a transmitter-receiver module must has the excellent characteristics than others, since it gives a direct effect on the whole system performance. The DR (dielectric resonator) is used often a resonator because it has high permittivity and high quality factor. In this paper, a PLDRO (phase locked dielectric resonator oscillator) of low phase noise has been designed and fabricated for 18 GHz microwave repeater of mobile communication system. A design algorithm of DRO (dielectric resonator oscillator) has been presented using an equivalent circuit model of dielectric resonator. A VCTDRO (Voltage controlled dielectric resonator oscillator) using the varactor diode and DRO at 7 GHz has been considered and fabricated. For a PLDRO, a SPD (sampling phase detector), loop filter, amplifier, and TCXO as a reference were employed and tested. Based on the test result, the thesis shows that an output power of 10 dBm, 2nd harmonic of -51.27 dBc and phase noise of -98.61 dBc/Hz at 10 kHz and -102.03 dBc/Hz at 100 kHz has been observed. The proposed PLDRO and the conventional product in terms of the characteristics of phase noise were compared and evaluated.*

KEY WORDS : Portable Interent, PLDRO, Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator, Wibro

1. 서 론

최근 들어 위성, 이동 통신 그리고 각종 상업용 제품 등의 분야에서 마이크로파와 밀리미터파의 이용이 확대됨에 따라 각 소자들의 소형화와 가격 등의 절감이 절실히 요구되고

* hrcho@hhu.ac.kr 051)410-4421

** chskim04@bada.hhu.ac.kr 051)410-4933, seek1120@bada.hhu.ac.kr 051)410-4933

있다. 특히 발진부는 송·수신 모듈의 핵심부품 중의 하나로서 전체 시스템 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문에 다른 부분보다도 우수한 특성을 갖추어야 한다[1]. 마이크로파에서 발진기의 성능을 나타내는 요소에는 위상 잡음, 주파수 안정도, 온도 안정도 그리고 출력 등이 있는데, 특히 발진기의 위상잡음은 아날로그 수신기의 SNR을 감소시키고, CDMA 디지털 통신용 송·수신기의 BER을 높이며, 통신채널간의 간격을 제한하고, Homodyne 방식의 레이더 시스템에서는 해상도를 저해하는 등의 각종 문제를 야기시키기 때문에 특히 발진기에서는 첫째로 높은 온도 안정성과 낮은 잡음 특성을 가져야한다.

최초의 마이크로파 발진기는 1930년대 레이더의 신호원으로 진공관 발진기가 쓰였으며, 이 장치는 큰 출력과 높은 발진 주파수를 얻을 수 있는 장점이 있으나 부피가 컸다. 그 후, 1960년대 후반에 Gunn 다이오드나 IMPATT 다이오드를 사용한 고체 소자 발진기가 등장하였다. 고체 소자 발진기는 진공관 발진기에 비하여 부피가 작으며 신뢰성이 높고 싼 가격으로 만들 수 있는 저잡음 발진기이다. 그러나 발진 특성이 다이오드 자체의 물리적 특성에 의해 영향을 받는 결점이 있다. 이후 1970년대 후반에 등장한 트랜지스터 발진기는 발진기를 이루는 회로의 구조 및 구성 소자에 의해서 발진 특성이 결정되며, 불요주파수 문제가 없고 효율이 좋아 MIC나 MMIC화하는데 유리하다[2]. 또한 발진기에 사용되는 공진기에는 MSL 공진기를 사용하는 방법과 공동(Cavity)을 사용하는 방법, 유전체 공진기(DR)를 사용하는 방법이 있다. 먼저, MSL 공진기는 부피가 작고 경량이며 부품들 사이의 연결 문제에 큰 어려움이 없고 제작이 간편한 장점이 있지만, 복사 손실과 스트립 선로 자체의 기판에서의 유전체 손실로 인해 Q값이 나쁘고 위상 잡음 특성이 좋지 않은 결점이 있어, 광통신 및 위성통신 시스템과 같이 정밀하면서도 저손실의 소자를 요구하는 회로에 있어서는 사용이 제한되어져 왔다. 다음으로 공동을 사용하는 방법은 Q값이 좋지만 온도에 따라 공동의 크기가 변하여 공진 주파수의 변화 폭이 크다. 그래서 같은 동작 주파수를 갖는 공동 공진기보다 부피가 작고, 손실도 훨씬 낮은 유전체 공진기로 대체하여 사용되면서 마이크로파 회로의 소형화에 커다란 진보를 가져왔다. 비유전율이 크고 손실이 적은 유전체 공진기는 제작비용을 절감할 수 있으며, 높은 Q값과 온도에 대한 안정성 등으로 인하여 마이크로파 대역의 여파기와 발진기 등에서 동작 특성의 개선과 소자의 소형화를 위해 많이 이용되고 있으며, 현재에는 그 응용분야가 안테나까지 확대되고 있다[3].

이동통신의 발달은 음성 통화를 기반으로 하는 Cellular 및 PCS 이용자가 유선전화 가입자를 앞지르고 있으며, 이와 같은 시장을 기반으로 초고속 이동인터넷을 구현하기 위한 CDMA-1X EVDO 서비스를 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

그 동안 Cellular 및 PCS의 음영지역 개선을 위한 많은 종류의 중계기를 개발하였다. 그러나 기존의 중계기는 이미 상용화가 진행 중인 가변 변조 방식의 EVDO 서비스에 적용할 때, 데이터 전송율을 저하시키는 문제점이 있다. 이동통신에 사용되었던 여러 가지 형태의 중계기 가운데 광중계기, 인빌딩중계기, M/W중계기를 전파음영지역 개선에 사용될 예정이다. 특히 M/W대역을 이용한 중계장치는 광중계장치, RF 중계장치보다 구축이 빠르고 유지 보수가 간편하며 광선로 임대비나 유지비용이 월등히 낮을뿐만 아니라 RF 중계장치와 같은 발진의 위험이 없다는 장점을 가지고 있다. 따라서 18 GHz를 사용하여 가변변조방식의 EVDO 신호를 음영지역까지 양질의 전파특성과 높은 데이터 전송율을 유지하여 전송할 수 있는 18 GHz 중계기의 개발이 필요하고 또한 18 GHz 중계기의 개발을 위해선 위상잡음 및 위상흔들림 특성이 개선된 Local Oscillator 개발이 필요하다.

본 논문에서는 18 GHz대역 Microwave 중계기의 송수신부에 사용되는 높은 주파수 안정도와 낮은 위상 잡음특성을 갖는 Local Oscillator를 구현하기 위하여 높은 Q값을 갖는 유전체 공진 발진기(DRO)를 사용하였다. 유전체 공진 발진기를 구현하기 위하여 먼저 원통형 유전체 공진기(Cylindrical DR)를 이용하여 중심 주파수 7 GHz의 유전체 공진 발진기를 설계·제작하였다. 이렇게 설계된 유전체 공진 발진기에 튜닝을 위하여 Varactor 다이오드를 부착하여 VCTDRO를 설계하였고 VCTDRO에 높은 주파수 안정도를 갖는 PLL을 이용하여 Local Oscillator인 7 GHz PLDRO를 설계 및 제작하였고 제작된 PLDRO는 알루미늄 케이스를 이용하여 외부로부터의 영향을 차폐시키고, Spectrum Analyzer와 Network Analyzer를 이용하여 특성을 측정하였다. 또한 업체에서 상용화된 PLDRO와 위상잡음 및 Harmonics 특성에 대해 비교하였다.

2. PLDRO의 설계 및 제작

2.1 PLDRO의 설계

구현하고자 하는 PLDRO(Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator)의 구조는 Fig. 1과 같으며 VCDRO, BUFFER AMP, Oscillator로 구성된 마이크로웨이브 부분과 Loop Filter, SPD(Sampling Phase Detector), AMP, TCXO로 구성된 loop 부분으로 구성되어져 있다.

PLDRO의 기본적인 동작원리는 PLL 회로와 유사하다. 높은 주파수 안정도와 우수한 위상잡음 특성을 갖는 TCXO 신호는 AMP에서 충분히 증폭된 후 SPD에 입력되어 내부의 step recovery diode에서 주기를 갖는 Harmonic 신호를 발생시킨다. 이러한 신호들은 SPD 내부에 있는 schottky barrier diode로 입력되어 COUPLER 거쳐 들어오는 VCDRO 신호를

dCollection

Sampling 하게 된다. SPD는 Sampling 된 신호와 VCDRO 신호를 비교하여 두 신호간의 위상차가 같으면 DC 전압을 출력하지만 위상차가 다르면 위상차에 대한 비트 전압을 출력하게 된다. 이 비트 전압은 Loop Filter를 거쳐 VCDRO의 주파수 컨트롤 단자로 입력되어 두 신호간의 위상차를 보정하게 된다. 결국 VCDRO 신호는 TCXO 신호에 항상 phase lock 되어 높은 주파수 안정도와 우수한 위상잡음 특성을 갖게 된다. 본 과제에서는 TCXO의 신호는 Signal Generator를 사용하였다.

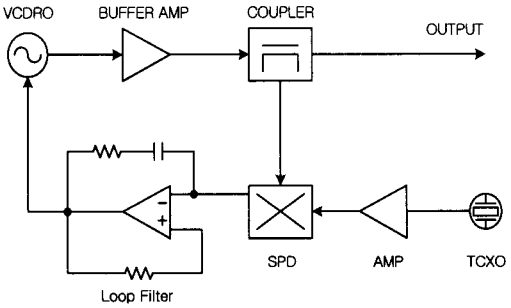


Fig. 1 Block diagram of PLDRO

7 GHz에서 공진하는 유전체 공진기를 설계하기 위하여 원통형 유전체 공진기의 구조와 유전체 공진기와 마이크로스트립라인 간의 구조를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

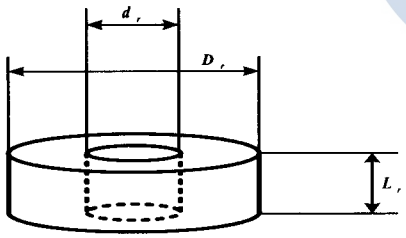


Fig. 2 Structure of cylinder type dielectric resonator

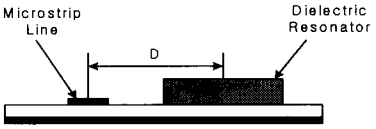


Fig. 3 Structure between dielectric resonator and microstrip line

Table 1은 유전체 공진기를 설계하기 위한 각 parameter 값을 나타내고 있다. Fig. 4는 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 설계한 유전체 공진기의 회로도이고 Fig. 5는 앞에서 구한 유전체의 각 parameter값을 적용하여 시뮬레이션한 출력 특성이다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 유전체 공진기의 출력 특성은 대역저지여파기(Band-Stop Filter)의 특성이 나타남을 알 수 있다.

Table 1 Parameter of dielectric resonator.

Parameter	값
Dr (직경)	8.25 mm
Lr (높이)	3.71 mm
dr (내경)	2.11 mm
ε_r	30
Q	10000 이상
D (거리)	1.0 mm
Microstrip ε	2.5
Microstrip 두께	0.5 mm

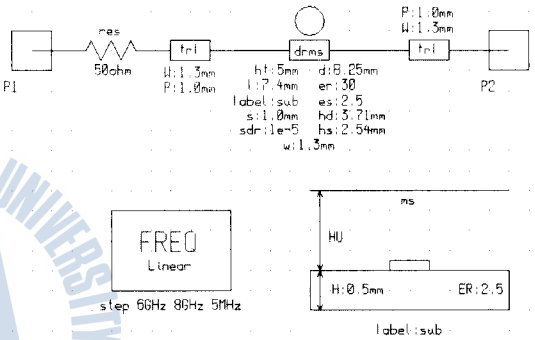


Fig. 4 Schemetic of 7 GHz dielectric resonator

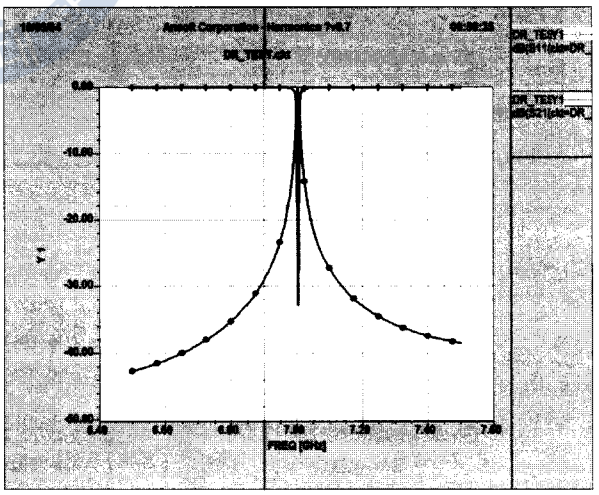


Fig. 5 Output characteristic of 7 GHz dielectric resonator

Fig. 6과 Fig. 7은 사용한 유전체 공진기와 마이크로스트립 라인의 거리에 따른 특성을 나타내고 있다. Fig. 6에서 유전체 공진기와 마이크로스트립 라인의 거리가 멀어짐에 따라 결합 계수가 작아짐을 알 수 있고 Fig. 7에서 유전체 공진기와 마이크로스트립 라인의 거리가 멀어짐에 따라 부하 Q가

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교
dCollection

커짐을 알 수 있다.

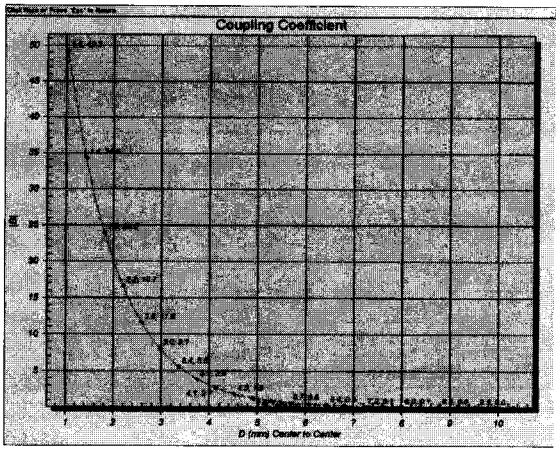


Fig. 6 Coupling coefficient characteristic by distance of dielectric resonator

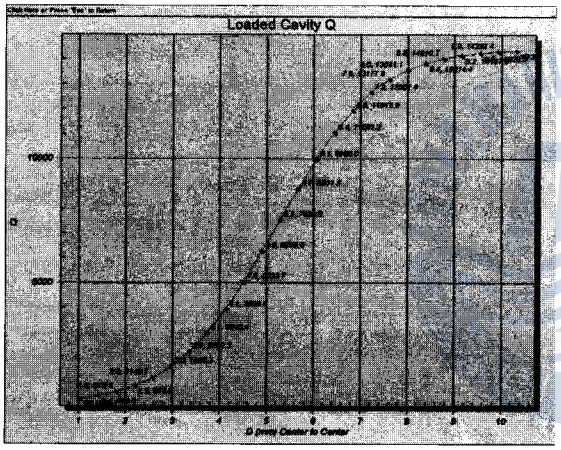


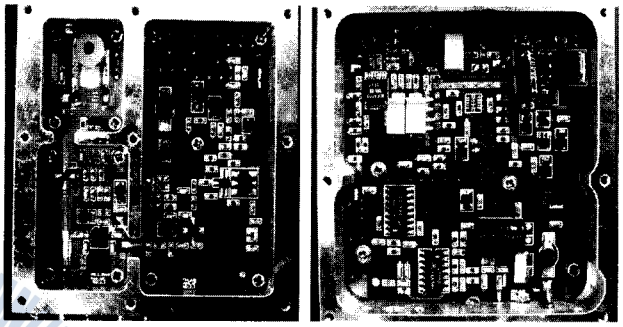
Fig. 7 Loaded Q characteristic by distance of dielectric resonator

2. 2 제작

제작에 사용된 기판은 Metcrade (ε = 2.5, h = 0.5 mm)와 FR-4 (h = 0.6 mm)이고 능동 소자는 ATF-34143 FET(HP)와 ATF-54143 FET(HP), 주파수 동조용 Varactor 다이오드는 MGV-100-23-E28X (Metelics), DR은 C8733-0325-146-083 (Transtech), SPD는 MSPD1002-E50(Metelics), 그리고 RF용 칩 콘덴서와 저항 등을 실장한 후 알루미늄 케이스로 차폐하여 제작하였다. 설계된 발진기의 레이아웃을 Fig. 8에 나타내었으며 Fig. 9는 PLDRO를 구성하는 Microwave Circuit 부분과 RF Circuit 부분을 제작한 실물 사진이다. Fig. 10은 기계적인 튜닝을 하기 위한 Tuning Screw의 모습을 보여주고 있다.

(a) (b)

Fig. 8 Layout (a) M/W circuit part ; (b) RF circuit part



(a) (b)

Fig. 9 Fabricated PLDRO
(a) M/W circuit part ; (b) RF circuit part.

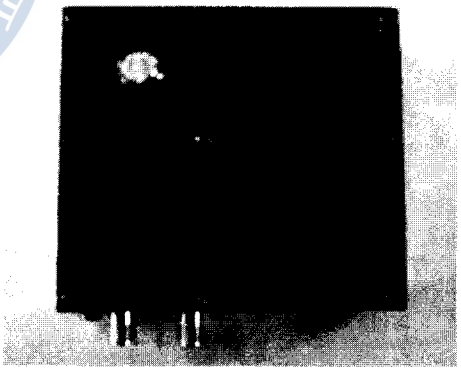


Fig. 10 Tuning screw

3. 측정 및 결과

본 논문에서 제작한 PLDRO는 알루미늄 케이스를 이용하여 외부로부터의 영향을 차폐시켰으며, 특성은 Spectrum Analyzer (HP 8564E)와 Network Analyzer (HP N3383A)를 이용하여 측정하였다. Fig. 11은 PLDRO를 측정하기 위한 계측기 구성도이다.

dCollection

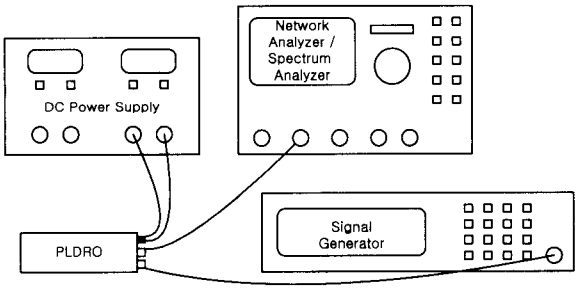


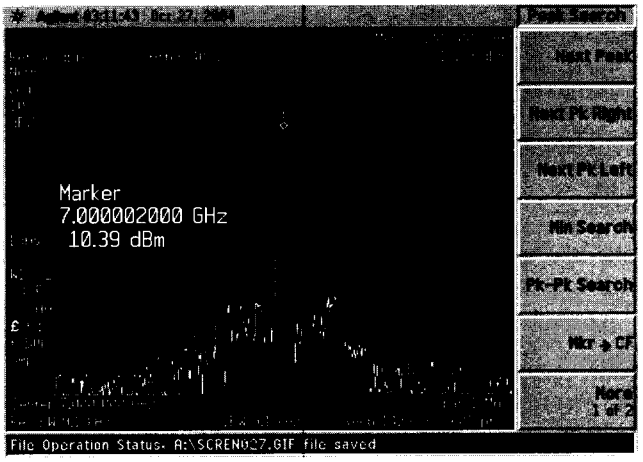
Fig. 11 Equipment block diagram for measurement PLDRO

Fig. 12는 PLDRO의 출력 주파수 특성을 측정한 것을 나타내고 있다. Fig. 12(a)는 Spectrum Analyzer의 span을 1 MHz로 주었을 때의 PLDRO의 출력 파형으로 중심주파수 7.00 GHz에서 10.39 dBm의 출력을 얻었고 Fig. 12(b)는 Spectrum Analyzer의 Span을 10 MHz로 주었을 때의 PLDRO의 출력 파형으로 중심주파수 6.99 GHz에서 10.93 dBm의 출력을 얻었다. Fig. 13은 PLDRO의 Harmonics 특성을 측정한 것이다. Fig. 13(a)는 PLDRO의 반송주파수 7 GHz에서 10.18 dBm의 출력을 보여주고 있고 Fig. 13(b)는 2차 Harmonic 주파수 14 GHz에서 -41.09 dB의 출력을 보여주고 있다. 따라서 PLDRO의 반송주파수와 2차 Harmonic 주파수의 차이는 -51.27 dBc임을 알 수 있다. Fig. 14는 PLDRO의 위상잡음 특성을 측정한 그림이다. Fig. 14(a)는 Offset 주파수가 10 kHz 일 때의 위상잡음으로 -98.61 dBc/Hz를 얻었고 Fig. 14(b)는 Offset 주파수가 100 kHz 일 때의 위상잡음으로 -102.03 dBc/Hz를 얻었다.

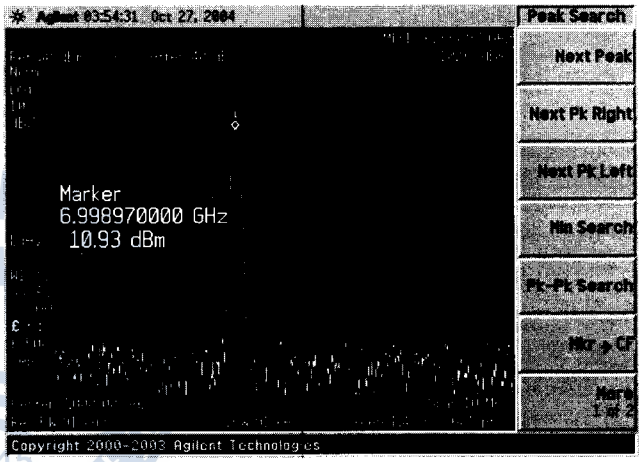
본 논문에서 설계 및 제작한 PLDRO와 일부 업체에서 상용화된 PLDRO의 위상잡음과 Harmonics 특성을 비교해 보았다. Table 2에 업체와 본 논문에서 설계 및 제작한 PLDRO의 위상잡음과 Harmonics를 나타내었다.

Table 2 Comparison of phase noise of various PLDRO.

제조회사	Frequency (GHz)	Phase Noise @ 100 kHz(dBc/Hz)	Harmonics (dBc)
A사	6.1	-124	-25
B사	7~13	-120	-20
C사	6.1~10	-113	-20
D사	8~12	-110	-20
E사	9~12	-101	-25
Proposed	7	-102	-51.27

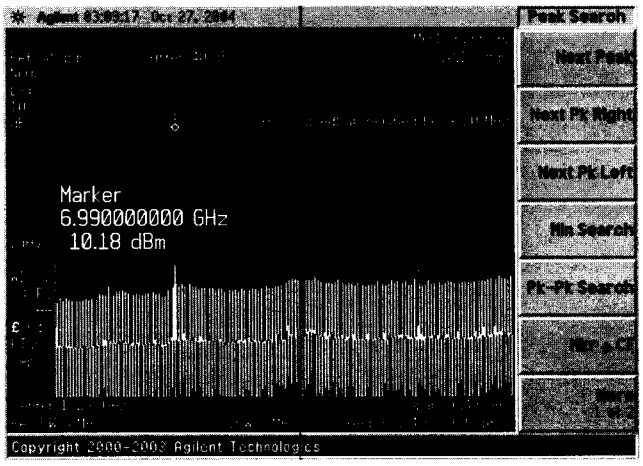


(a)



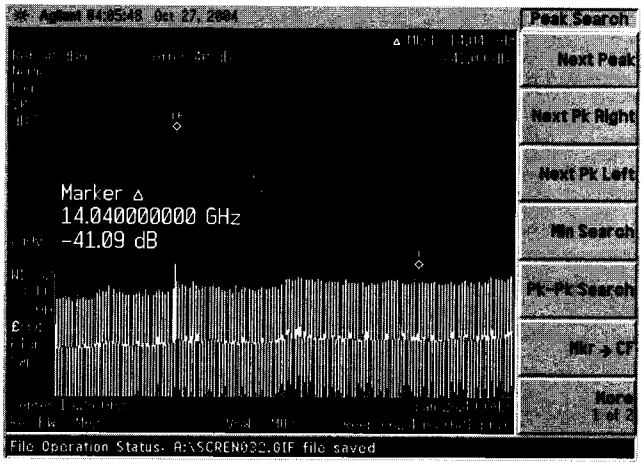
(b)

Fig. 12 Output frequency measurement of PLDRO
(a) span 1 MHz ; (b) span 10 MHz



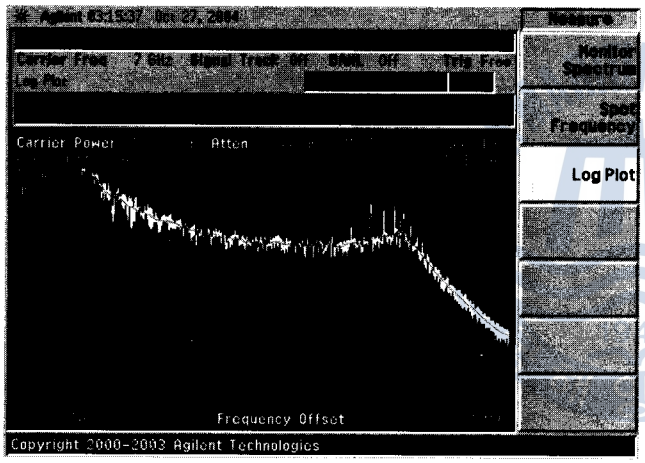
(a)

dCollection

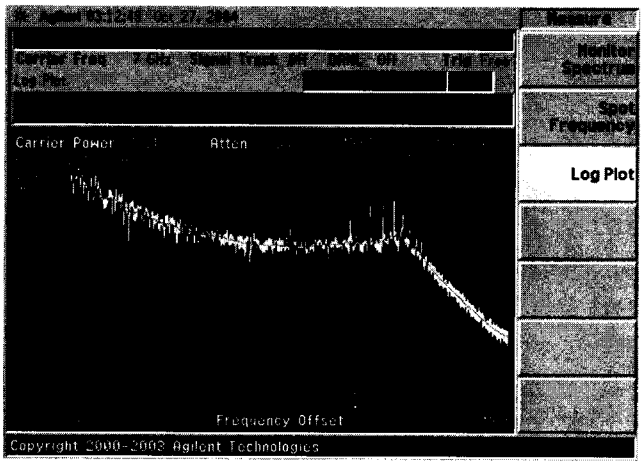


(b)

Fig. 13 Harmonics characteristic measurement of PLDRO (a) Output frequency of PLDRO(7 GHz) ; (b) 2nd harmonic(14 GHz).



(a)



(b)

Fig. 14 Phase noise characteristic measurement (a) 10 kHz offset ; (b) 100 kHz offset.

4. 결 론

이동통신의 발달은 음성 통화를 기반으로 하는 Cellular 및 PCS 이용자가 유선전화 가입자를 앞지르고 있으며, 이와 같은 시장을 기반으로 초고속 이동인터넷을 구현하기 위한 CDMA-1X EVDO 서비스를 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 그 동안 Cellular 및 PCS의 음영지역 개선을 위한 많은 종류의 중계기를 개발하였다. 그러나 기존의 중계기는 이미 상용화가 진행 중인 가변 변조 방식의 EVDO 서비스에 적용할 때, 데이터 전송율을 저하시키는 문제점이 있다. 이동통신에 사용되었던 여러 가지 형태의 중계기 가운데 광중계기, 인빌딩중계기, M/W중계기가 있는데 M/W대역을 이용한 중계장치는 광중계장치, RF 중계장치보다 구축이 빠르고 유지 보수가 간편하며 광선로 임대비나 유지비용이 월등히 낮을뿐만 아니라 RF 중계장치와 같은 발진의 위험이 없다는 장점을 가지고 있다. 따라서 18 GHz를 사용하여 가변변조방식의 EVDO 신호를 음영지역까지 양질의 전파특성과 높은 데이터 전송율을 유지하여 전송할 수 있는 18 GHz 중계기의 개발이 필요하고 또한 18 GHz 중계기의 개발을 위해선 위상잡음 및 위상흔들림 특성이 개선된 Local Oscillator 개발이 필요하다.

본 논문에서는 18 GHz대역 Microwave 중계기의 송수신부에 사용되는 높은 주파수 안정도와 낮은 위상 잡음특성을 갖는 Local Oscillator를 구현하기 위하여 높은 Q값을 갖는 유전체 공진 발진기(DRO)를 사용하였다. 유전체 공진 발진기를 구현하기 위하여 먼저 원통형 유전체 공진기(Cylindrical DR)를 이용하여 중심 주파수 7 GHz의 유전체 공진 발진기를 설계·제작하였다. 이렇게 설계된 유전체 공진 발진기에 튜닝을 위하여 Varactor 다이오드를 부착하여 VCTDRO를 설계하였고 VCTDRO에 높은 주파수 안정도를 갖는 PLL을 이용하여 Local Oscillator인 7 GHz PLDRO를 설계 및 제작하였고 제작된 PLDRO는 알루미늄 케이스를 이용하여 외부로부터의 영향을 차폐시키고, Spectrum Analyzer와 Network Analyzer를 이용하여 특성을 측정하였다. 또한 업체에서 상용화된 PLDRO와 위상잡음 및 Harmonics 특성에 대해 비교하였다.

본 논문에서는 18 GHz Microwave 중계기의 송수신부에 사용되는 높은 주파수 안정도와 낮은 위상 잡음특성을 갖는 Local Oscillator를 구현하기 위하여 먼저 중심 주파수가 7 GHz인 DRO(Dielectric Resonator Oscillator)를 구현하고 Varactor 다이오드를 사용하여 VCTDRO를 설계하였고 PLL을 사용하여 PLDRO를 설계 및 제작하여 측정하였다.

측정결과에서 살펴봤던 것처럼 주파수 7 GHz에서 출력전력 10 dBm을 얻었고 Harmonics 특성은 반송주파수 7 GHz에서 10.18 dBm, 2차 Harmonic 주파수 14 GHz에서 -41.09 dB의 출력을 보여주어 2차 Harmonic 특성 -51.27 dBc를 얻었

dCollection

다. 또한 위상잡음 특성은 Offset 주파수가 10 kHz, 100 kHz 일 때 각각의 위상잡음 -98.61 dBc/Hz와 -102.03 dBc/Hz를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 설계 및 제작한 PLDRO를 일부 업체의 PLDRO와 비교한 결과 위상잡음 특성은 업체의 위상잡음 특성보다 비슷하거나 낮은 특성을 보여주었고 Harmonics 특성은 업체의 Harmonics 특성보다 월등히 뛰어남을 알 수 있다.

향후 PLDRO의 위상잡음 특성을 좀 더 개선하여 높은 주파수 안정도와 낮은 위상 잡음특성을 갖는 Local Oscillator로서 주파수합성기에 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Kenneth V Buer and El-Badawy El-sharawy, "A Novel Technique for Tunning Dielectric Resonators", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, MTT-43: pp.36-41, Jan., 1995.

[2] Eric Holzman, Solid State Microwave Power Oscillator Design, Artech House, 1992.

[3] D. Kajfez and Pierre Guillon, DIELECTRIC RESONATORS, Artech House, 1986.

[4] Robert Soarse, GaAs MEDFET circuit design, Artech House, 1998.

[5] Sweet, MIC & MMIC Amplifier and Oscillator, Artech House, 1990.

[6] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice Hall, 1997.

[7] 황선화, "유전체 공진기를 이용한 마이크로파 발진기 설계에 대한 연구", 석사학위 논문, 조선대학교, 2000.

[8] 권헌국, "유전체 공진기를 이용한 전압 제어 발진기의 설계 및 제작", 석사학위 논문, 충남대학교, 1999.

원고접수일 : 2008년 2월 11일
원고채택일 : 2008년 2월 18일

Collection

Collection