

## 바이어스 동조를 이용한 위상고정 유전체 공진 발진기에 관한 연구

準會員 柳根官\*, 正會員 李斗漢\*, 正會員 洪義錫\*\*

### A Study on the Phase-locked Dielectric Resonator Oscillator using Bias Tuning

Keun Kwan Ryu\*, Du Han Lee\*, Ui Seok Hong\*\*, *Regular Members*

#### 要 約

본 논문에서는 PLL(Phase Locked Loop)의 폐환 성질을 이용한 Ku-band (10.95-11.70GHz)용 위상고정 유전체 공진 발진기를 설계 및 제작하였다. 유전체 공진 발진기에 인가되는 바이어스 중 게이트 바이어스의 변화에 대한 중심 주파수의 변화를 이용하여 전압제어 주파수 변화부를 제거하였고 위상 s비교를 위해서는 샘플링 위상 비교기를 이용하였다. 위상고정 유전체 공진 발진기는 X-band 주파수 대역의 유전체 공진 발진기 신호를 샘플링 위상 비교기에 인가하여 VHF 대역의 기준 신호에 위상고정시켜 높은 주파수 안정도를 얻는 것으로 유럽형 FSS(Fixed Satellite Service)를 위한 10.00GHz로 구현하였다. 측정 결과 본 논문의 위상고정 유전체 공진 발진기는 유전체 공진 발진기보다 높은 주파수 안정도를 보였으며, 10.00GHz 에서 출력전력 8.67dBm과 2차 고조파는 -42 dBc이하이었고, carrier로 부터 10kHz 벗어난 점에서 -81 dBc/Hz 이하의 위상 잡음을 얻었다.

#### ABSTRACT

We implemented a PLDRO(Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator) using the concept of the feedback property of PLL(Phase Locked Loop) for Ku-band(10.95-11.70 GHz). The conventional approaches to a PLDRO design use varactor diode tuning method.. But in this paper, the PLDRO has the advantage of the frequency sensitivity to changes in the supply voltage of the oscillating device without the frequency-variable part by varactor diode voltage-control. and uses a SPD(Sampling Phase Detector) for phase-comparison. The PLDRO is composed of the DRO phase locked to the reference signal of UHF band by using a SPD for high frequency stability and can be available for European FSS(Fixed Satellite Service) at 10.00GHz.

The PLDRO generates the output power of 8.67 dBm at 10.00 GHz and has a phase noise of -81 dBc/Hz at 10 kHz offset from carrier. The harmonic and spurious characteristics have -42.33 dBc and -65

\* 光云大學校 電子通信工學科  
Dept. of Electronic Communication Eng., Kwang Woon University

\*\* 光云大學校 電波工學科  
Dept. of Radio Science and Eng., Kwang Woon University  
論文番號 : 94164  
接受日字 : 1994年 6月 18日

dBc respectively. This PLDRO has much better frequency stability, lower phase noise, and more economical effect for a satellite system than conventional DRO.

## I. 서 론

모든 통신 시스템에 필수적으로 사용되는 발진기는 통신용량이 증가함에 따라 보다 높은 발진주파수를 필요로 하고 있으며, 주위 온도 변화에 안정하고 낮은 위상잡음을 가지며 소형화된 발진기가 요구된다. 마이크로웨이브 통신 시스템은 신호의 IF 변환이나 RF 변복조를 위한 기준 발진기를 필요로 하며 마이크로웨이브 장치내의 국부 발진기는 직접위성방식(DBS: Direct Broadcasting Satellite) 수신부, 레이다, 위성통신용 중계기, 군용기 등과 같은 모든 마이크로웨이브 시스템에서 중요한 신호원으로 작용한다.

최근에는 Ku band에서 통신위성을 이용하여 데이터 신호, 음성, 영상 등의 디지털 신호를 송수신하고 있다. 이러한 디지털 통신 시스템, 특히 위상 변조 방식(PSK: Phase Shift Keying)을 사용하는 통신 시스템에서는 마이크로웨이브 장치내의 국부 발진기의 주파수 안정도 및 위상잡음 특성이 전체 시스템의 데이터 오율특성에 중대한 영향을 끼친다.

마이크로웨이브용 발진기의 공진회로를 구성하는 수동소자로 유전체 공진기가 있어 도파관에 비하여 부피가 작고 온도 변화에 따른 공진 주파수 변화가 매우 적을 뿐만 아니라 가격이 저렴하여 안정화를 요구하는 MIC(Microwave Integrated Circuit) 발진기의 주파수 결정 소자로 직접 사용되고 있다. 그러나 일반적으로 유전체 공진기의 주파수 안정도는 수 ppm/°C이므로 데이터 신호의 송수신용으로는 부적합하다. 따라서 데이터 신호의 송수신을 위해서는 발진 주파수가 보다 안정하고 위상 잡음을 줄여야 할 필요가 있다. 이에 고안정도를 얻기 위해서는 높은 Q값을 가진 유전체 공진기와 마이크로웨이브 주파수대역에서의 바랙터 다이오드를 이용한 유전체 공진 발진기를 만들고 샘플링 위상 비교기를 이용하여 VHF대역의 수정 발진기 신호에 위상을 고정시키는 위상고정 유전체 공진 발진기가 있다 [1][2].

본 논문에서는 부성저항 특성을 갖는 발진기 이론을 적용하여 직렬 레환형 유전체 공진 발진기를 구성하였고 바랙터 다이오드를 삽입하여 전압 제어 유전체 공진

발진기를 제작하는 것과는 달리 유전체 공진 발진기에 인가되는 바이어스 전압에 대한 출력 주파수의 변화를 그대로 이용하였으므로 바랙터 다이오드를 포함한 전압제어 주파수 변화부가 필요없다. 이와같이 제작된 유전체 공진 발진기에 샘플링 위상비교기와 루프 필터를 결합한 PLL방식을 도입하여 고안정 주파수 발생기인 위상고정 유전체 공진 발진기를 제작하였다.

이상과 같이 제작된 위상고정 유전체 공진 발진기는 free-running형 유전체 공진 발진기보다 주파수 안정도 및 위상 잡음이 월등히 향상되었음을 알 수 있다.

## II. 유전체 공진 발진기의 주파수 동조

유전체 공진기를 사용한 발진기는 같은 주파수의 다른 형태의 발진기에 비해 저가이고 크기가 작고 간단해 MIC 회로에서 우수한 집적성을 갖는다. 또한 주파수 안정성과 효율이 높고 주파수 튜닝도 가능하며 낮은 전원으로 동작이 가능하고 온도변화에 비교적 안정하다 [3][4].

유전체 공진기의 주파수 동조에는 크게 기계적 동조방법과 전기적 동조방법이 있다. 특히, FMCW 레이다 소오스, 협대역 변조 통신 시스템이나 PLL시스템과 같은 응용에서는 전기적 튜닝 대역폭이 필요하며 빠른 튜닝 속도, 낮은 튜닝 전력, 낮은 위상 잡음을 요구한다. 또한, 동작상태에 있는 유전체 공진 발진기의 주파수 흐림(drift) 범위를 초과하는 튜닝 영역이 요구된다. 이러한 전기적 튜닝 방법에는 페라이트 튜닝, 광학 튜닝, 바랙터 다이오드 튜닝, 바이어스 튜닝 등이 있다 [5][6][7].

보통은 그림 1-(a)와 같이 바랙터 다이오드를 사용한 동조방법을 이용한다. 이러한 경우 주파수 튜닝 영역은 바랙터 다이오드와 유전체 공진 회로와의 결합에 의해 튜닝 영역이 변화할 수 있으며, 최대 결합을 할수록 튜닝 영역은 증가하지만 Q값의 저하로 위상잡음 증가의 원인이 된다. 특히, 밀리미터웨이브 주파수에서는

튜닝 캐패시턴스로 수 pF 정도만을 요구하게 되는데 바랙터 다이오드 칩의 기생(parasitic) 캐패시턴스가 너무 높아 사용하기에 곤란하다. 또한 두 마이크로스트립 라인과 공진회로 사이의 적당한 자기적 결합이 일어나도록 전압제어 유전체 공진 발진기의 설계를 설정하기가 어렵다.

그러나 본 논문에서 이용한 그림 1 (b)와 같은 바이어스 전압 튜닝은 발진 회로의 FET에 공급하는 바이어스 전압( $V_i$ )의 변화로 인한 주파수 민감도를 이용하는 것이므로 그림 1 (a)에서 보이는 전압제어 주파수 변화부가 필요없다. 발진기는 바이어스 전압의 변화에 의해 중심 주파수의 0.1%까지 튜닝 영역을 얻을 수 있으며, 이러한 튜닝 영역은 발진기의 부하변동, 주위 온도변화, 소자 수명에 의한 주파수 흐름(drift)을 보상해 주기에 충분하다. 뿐만 아니라, 바이어스 튜닝 발진기는 하나의 마이크로스트립 라인과 결합하므로 두개의 마이크로스트립 라인과 동시에 결합하여 Q값의 손실을 가져오는 바랙터 다이오드 튜닝 발진기보다 좋은 위상 잡음 특성을 얻을 수 있다.

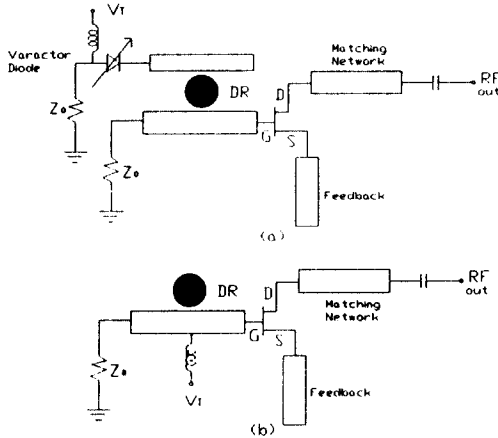


그림 1. 전기적 동조방법의 예  
 (a) 바랙터 다이오드를 이용한 동조방법  
 (b) 게이트 다이오드를 이용한 동조방법  
 Fig. 1. Examples of electric tuning method  
 (a) tuning method of varactor diode  
 (b) tuning method of gate bias

### III. PLDRO의 구성

위상고정 유전체 공진 발진기는 기준 신호의 위상과 유전체 공진 발진기의 출력 신호 위상을 동기시키는

회로로서, 유전체 공진 발진기의 발진 주파수를 안정화시키기 위한 위상고정 유전체 공진 발진기는 다음과 같은 4가지 요소로 구성되며 시스템 구성도는 그림 2와 같다[1][2][8].

- Reference Oscillator
- Sampling Phase Detector
- Loop Filter
- Dielectric Resonator Oscillator

기준신호는 TCXO(Temperature Compensation Crystal Oscillator)와 같은 높은 주파수 안정도와 우수한 위상 잡음 특성을 갖아야 한다. 본 논문에서는 100 MHz의 수정발진기를 사용하였고 이는 VHF 대역의 증폭기에 의해 증폭하여 샘플링 위상비교기에 입력된다. 샘플링 위상비교기의 대부분은 고조파를 발생하는 SRD(Step Recovery Diode)가 있어 100 MHz 기준 신호의 100번째 고조파 성분과 유전체 공진 발진기에서 발생한 마이크로웨이브 신호가 샘플링 위상비교기에 인가되어 위상비교하게 된다. 유전체 공진 발진기가 기준신호에 위상고정되었을 때 일정한 DC 전압을 출력하다가 위상고정이 풀렸을 때 두 신호간의 위상차에 대한 에러(terror) 전압이 출력된다. 이 에러 전압은 루프 필터에서 RC 시정수에 의해 filtering된 후, 유전체 공진 발진기의 게이트 바이어스에 연결되어 유전체 공진 발진기의 신호를 100 MHz 기준신호에 위상고정되도록 한다.

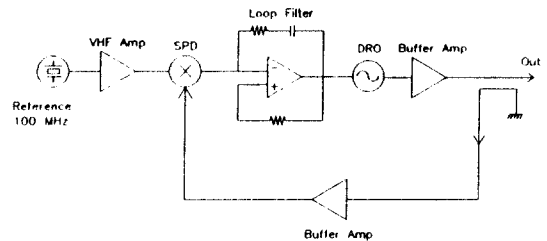


그림 2. 위상고정 유전체 공진 발진기의 시스템 구성도  
 Fig. 2. Block diagram of the phase-locked DRO

### IV. 설계 및 제작

위상고정 유전체 공진 발진기를 구현하기 위해서는

우선적으로 마이크로웨이브 주파수 대역의 유전체 공진 발진기를 설계하는 것이다. 유전체 공진 발진기의 주파수 케환을 위해 결합기를 설계하고 위상 비교를 위한 샘플링 위상비교기 회로에서는 최대 위상 비교 전압이 얻어지도록 한다. 루프 필터의 RC시정수 값을 결정하여 최종적으로 유전체 공진 발진기의 신호가 위상 고정되도록 한다.

1. 유전체 공진 발진기의 설계 및 제작

일반적으로 마이크로웨이브 발진기를 설계하는 과정은 제조회사가 주는 S parameter로부터 Smith chart 상에서 부성저항을 갖는 발진기의 설계로 시작된다. 본 논문에서도 이러한 이론을 적용하는 한편, CAD 프로그램 LINMIC+을 이용하여 device modeling을 통하여 S-parameter값을 구한 다음 유전체 공진 발진기를 설계 및 시뮬레이션하였고 최적화를 하여 원하는 마이크로스트립 폭과 길이를 얻었다.

유전체 공진 발진기를 만드는데 있어 사용한 소자들은 기본적으로 기관, 유전체 공진기, FET 등이 있다. 각각의 소자의 사양은 표 1과 같다. FET는 Mitsubishi사에서 개발된 MGF 1302를 사용하였다.

발진기의 구조는 회로구성이 간단하고 부하변동에 따라 발진 주파수 변화 및 출력의 변화가 적은 직렬 케환형으로 결정하였다. 그림 3은 본 논문에서 구현한 직렬케환형 유전체 공진 발진기의 구조이다.

그림 4와 그림 5에서는 유전체 공진 발진기의 시뮬레이션 결과를 보였다. 그림 4에서 허수부분이 "0"인 점을 교차하는 경우가 많이 존재하나 발진조건을 만족하는 부분인 부성저항 특성을 나타내는 곳은 10.00 GHz와 4.00 GHz 부근이며 그림 5와 같이 10.00 GHz에서 발진 가능성이 가장 높다.

표 1. 유전체 공진 발진기의 제원  
Table 1. Specification of the DRO

기관	Teflon	$\epsilon r : 2.45$ 두께:0.7874 mm
유전체	Murata	Dimension 직경:5.50mm 두께:2.44mm
공진기	D055U 024	Temperature Coefficient (ppm/°C):2 Q-factor:6000 min $\epsilon r : 37.7 \pm 0.5$ Q-factor

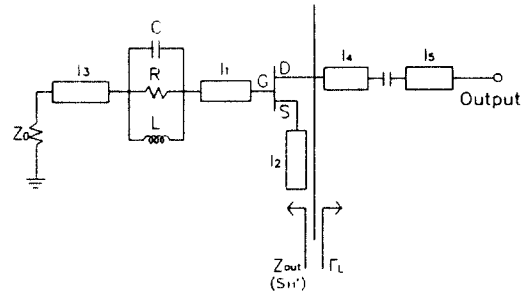


그림 3. 직렬케환형 유전체 공진 발진기의 구조  
Fig. 3. Configuration for series feedback DRO

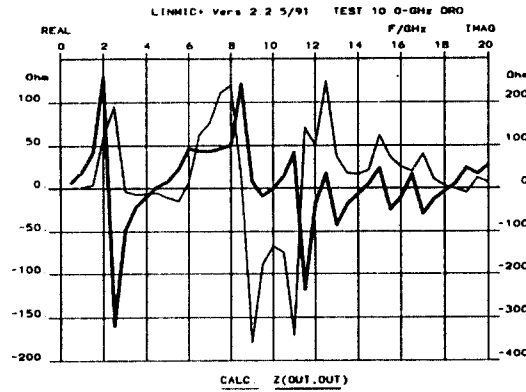


그림 4. 유전체 공진 발진기의 발진조건  
Fig. 4. Oscillation condition of the DRO

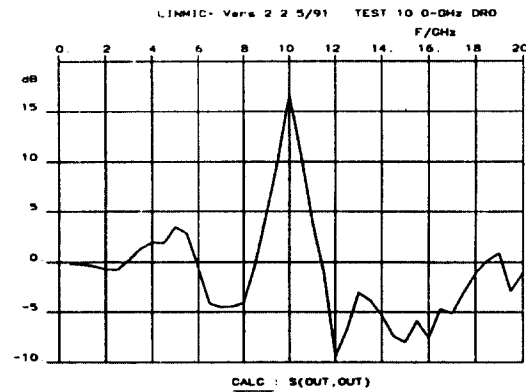


그림 5. 유전체 공진 발진기의 발진 가능성  
Fig. 5. Oscillation possibility of the DRO

2. 위상고정 유전체 공진 발전기의 설계 및 제작

위상고정 유전체 공진 발전기의 기준 신호는 100 MHz의 수정 발전기를 사용하였고, 그 출력 신호가 작아 샘플링 위상비교기에 직접 사용할 수 없으므로 VHF 대역의 증폭기를 2단으로 구성하였으며 ferrite core를 이용한 balun을 제작하여 수정발전기 부분과 샘플링 위상비교기 부분을 연결하였다. 한편, 유전체 공진 발전기의 출력단에 10 dB 방향성 결합기(directional coupler)를 연결하여 유전체 공진 발전기의 신호중 일부분을 분리해 내어 샘플링 위상비교기에 연결하였다.

샘플링 위상 비교기에서는 10 dB 방향성 결합기에서 얻은 마이크로웨이브의 출력 신호와 balun으로 연결된 기준 신호가 입력된다. 샘플링 위상비교기 내부의 SRD(Step Recovery Diode)에서 발생하는 100 MHz 기준 신호의 100번째 고조파성분과 유전체 공진 발전기에서 발생한 마이크로웨이브 신호가 샘플링 위상비교기에 인가되어 위상비교하게 된다. 본 부분에서는 위상 비교기로서 부족화 되어 있는 Alpha사의 SPD 3465 012를 사용하였다. 샘플링 위상비교기는 마이크로웨이브 입력과 기준 신호가 동시에 존재하는 경우에만 두 신호의 위상차인 IF출력 전압이 얻어진다.

유전체 공진 발전기가 기준신호에 위상 고정되었을때 일정한 DC 전압을 출력하다가 위상고정이 풀렸을때 두 신호간의 위상차에 대한 에러 전압이 출력된다. 이 에러전압은 루프 필터에서 RC 시상수에 의해 인터그랄된 후, 유전체 공진발전기의 캐피트 마이어스에 연결된다. 루프 필터에서는 OP Amp 부재한 단지의 RC시상수를 위상고정 유전체 공진 발전기의 위상 잡음이 최소화 되도록 하였다.

유전체 공진 발전기와 샘플링 위상비교기 사이에 완충 증폭기를 삽입하여 일정한 전력을 샘플링 위상비교기에 공급하여 위상비교기 이득(phase detector gain)을 일정하게 유지하였다. 또한, 최종 출력단쪽에 완충 증폭기를 연결하여 출력 전력을 일정하게 유지시킬 수 있었다. 이 두 개의 완충 증폭기에 이용한 GaAs FET 소자는 AVANTEK사의 ATF 13736을 사용하였다.

기구는 aluminum으로 제작하였으며 전체 크기를 줄이기 위해서 기구의 윗면, 아랫면의 양쪽면을 사용하였다. 한 쪽에는 수정 발전기, VHF 대역의 증폭기, 샘플링 위상비교기 및 루프 필터의 RF 부분을 구성하였고 반대편에는 유전체 공진 발전기와 2개의 완충 증폭기, 방향성 결합기의 마이크로웨이브 부분 및 마이어스 내

트위터를 구성하였다.

V. 측정 결과 및 고찰

1. 유전체 공진 발전기의 측정 및 고찰

앞에서 서술한 바와 같이 설계하고 최적화시킨 10.00 GHz 유전체 공진 발전기 및 위상고정 유전체 공진 발전기를 사진 분석 방법에 의하여 테프론 기판 위에 제작하였다. 그림 6은 위와 같은 방법으로 제작된 유전체 공진 발전기 및 위상고정 유전체 공진 발전기의 스펙트럼(spectrum) 측정을 위한 시스템 구성도이다.

제작된 유전체 공진 발전기는 캐피트 마이어스 전압이 0.2 V를 중심으로 0.4 ~ 0V 변화할때 그 발전 주파수가 10.00 GHz를 중심으로 약 1.8 MHz 변화 하였다. 그림 7은 유전체 공진 발전기의 캐피트 마이어스 전압이 0.4 ~ 0V 변화할때 발전 주파수의 변화를 보여 준다.

그림 8은 이때의 주파수 변화와 출력 변화를 그래프 상으로 나타낸 것이다. 발전 주파수의 변화는 평균 0.9 MHz/V의 기울기를 나타낸다. 상당부분에서 기울기가 일관 되어지고 있으나 중심부분 내에서는 선형 특성을 보이고 있어 위상고정 유전체 공진 발전기에 이용할 수 있음을 알 수 있다.

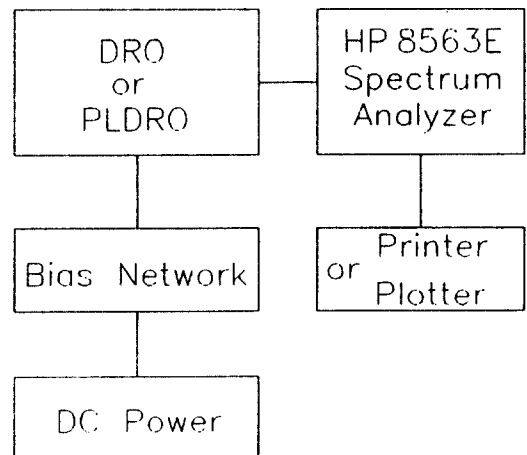


그림 6. 스펙트럼 측정 구성도  
Fig. 6. Measurement diagram of spectrum

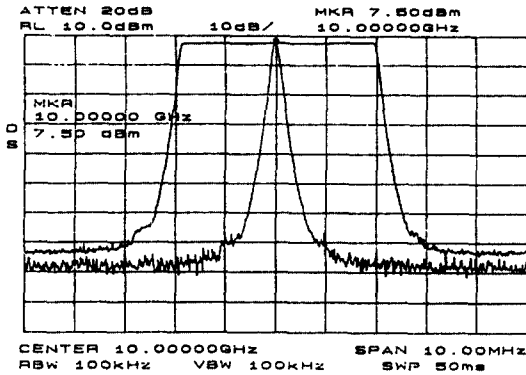


그림 7. 게이트 바이어스에 의한 유전체 공진 발진기의 스펙트럼

Fig. 7. Spectrum of the DRO by gate bias

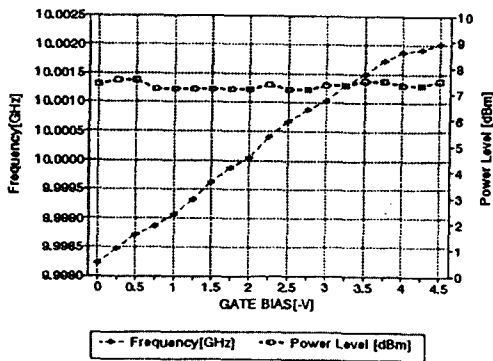


그림 8. 게이트 바이어스에 대한 출력 전력과 주파수 응답

2. 위상고정 유전체 공진 발진기의 측정 및 고찰

그림 9는 위상고정 유전체 공진 발진기 시스템의 측정장치를 본 것이다.

그림 10은 위상고정 유전체 공진 발진기의 Span 100 MHz에서 측정된 것이다. 위상고정 유전체 공진 발진기의 출력 신호의 전력은 8.67 dBm의 성능을 나타내고 있다.

그림 11과 그림 12는 free-running하는 유전체 공진 발진기와 위상고정 유전체 공진 발진기의 100 kHz Span시 출력 스펙트럼을 각각 비교하였다. 그림 11에

서 알 수 있듯이 free-running하는 유전체 공진 발진기의 주파수 안정도는 매우 나쁘다. 그러나, 그림 12는 100 MHz 수직 발진기에 위상고정된 위상고정 유전체 공진 발진기의 스펙트럼으로서 중심 주파수가 매우 안정하다.

그림 13은 Span 5 kHz일때 위상고정 유전체 공진 발진기를 측정할 것으로 여기에서도 마찬가지로 주파수 안정도가 중심 주파수에서 매우 우수하며 발진 주파수 역시 10,000,000,000 Hz임을 보여준다.

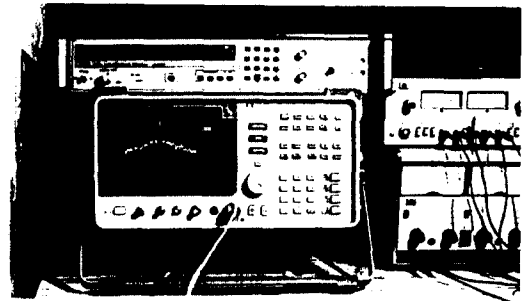


그림 9. 위상고정 유전체 공진 발진기의 측정장치

Fig. 9. Measurement instrument of the PLDRO

그림 14는 위상고정 유전체 공진 발진기의 고조파를 측정할 것이다. 기본 주파수와 2차 고조파와의 -42.33 dBc의 성능을 보이고 있다. 또한, 스펙트럼 특성은 백색잡음(white noise) 이외의 잡음을 보이지 않고 있다. 표시(marker)부분은 10.00 GHz를 가리키는 것이며 그림에서 보듯이 9.98 GHz로 표시되는 것은 기기상의 분해능 때문이다.

그림 15는 스펙트럼 분석기로 측정된 위상고정 유전체 공진 발진기의 위상 잡음을 그래프상으로 나타낸 것으로 외국의 상용제품과 비교하여 보았다.

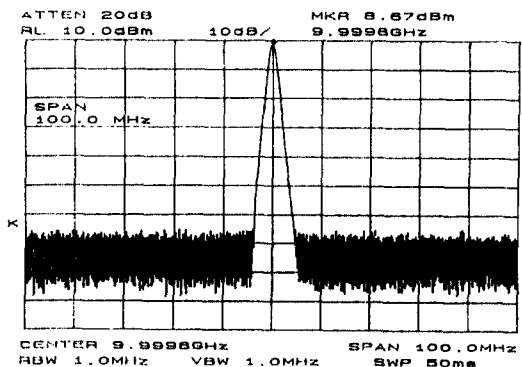


그림 10. 위상고정 유전체 공진 발진기의 주파수 응답 (Span=100 MHz)

Fig. 10. Frequency response of the PLDRO(Span 100 MHz)

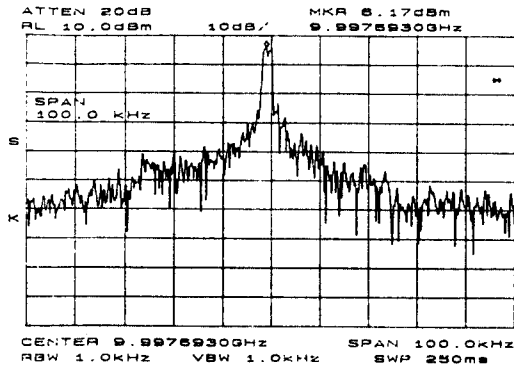


그림 11. 유전체 공진 발전기의 주파수 응답(Span 100 kHz)  
Fig. 11. Frequency response of the DRO(Span 100 kHz)

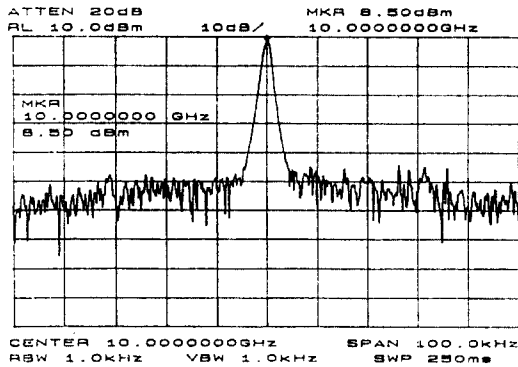


그림 12. 위상고정 유전체 공진 발전기의 주파수 응답 (Span 100 kHz)  
Fig. 12. Frequency response of the PLDRO(Span 100 kHz)

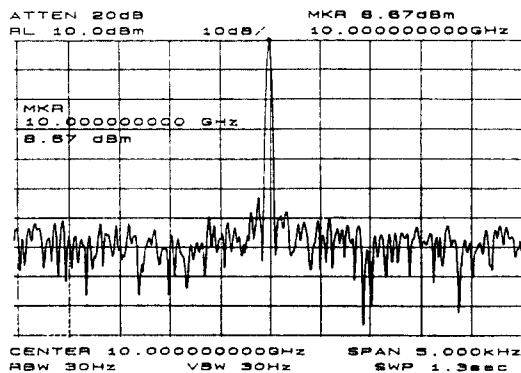


그림 13. 위상고정 유전체 공진 발전기의 주파수 응답 (Span 5 kHz)  
Fig. 13. Frequency response of the PLDRO(Span 5 kHz)

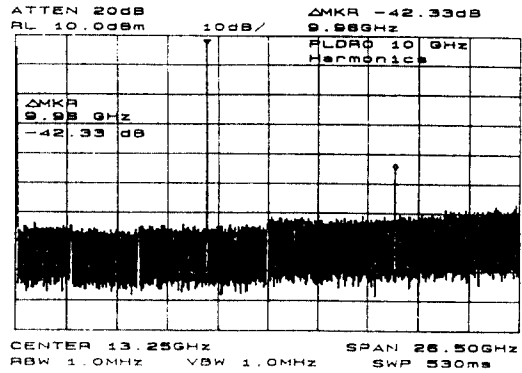


그림 14. 위상고정 유전체 공진 발전기의 고조파와 스퓨리어스 특성  
Fig. 14. Harmonic and spurious characteristics of the PLDRO

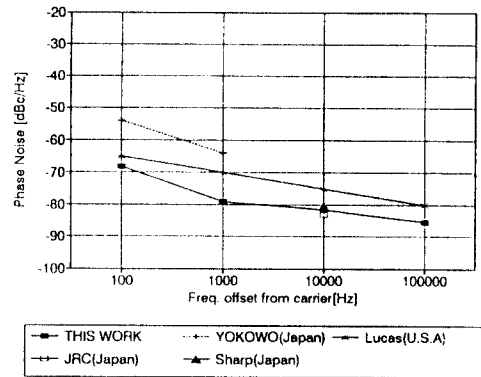


그림 15. 위상고정 유전체 공진 발전기의 위상 잡음 특성  
Fig. 15. Phase noise characteristic of the PLDRO

## VI. 결 론

본 논문에서는 유전체 공진 발전기의 게이트 바이어스 전압에 대한 중심 주파수의 민감도를 이용하여 낮은 위상잡음 특성을 가지면서 매우 안정한 주파수 발생기인 위상고정 유전체 공진 발전기를 설계 및 제작하였다. 바이어스 및 내부에 이용하였으므로 유전체 공진기의 Q값 손실의 원인이 되는 전압제어 주파수 변화부가 필요하지 않다. 그러므로 회로의 크기를 줄일 수 있으며 주파수 변화부에 사용되는 소자 등을 사용하지 않으므로 제작시 비용을 절감할 수 있다.

위상고정 유전체 공진 발전기 시스템을 구현하기 위

하여 각각 부분회로로 유전체 공진 발진기, 완충 증폭기, 방향성 결합기, 샘플링 위상비교기 주변회로와 능동 저역통과 필터, VHF 대역의 증폭기, Ferrite Balun 등을 개별적으로 설계 및 측정한 후 집적시켰다. 각각 회로의 설계 및 실장에 있어서 상용 M/W용 CAD인 Jansen Microwave사의 LINMIC+을 사용하였다.

본 논문에서 제작한 위상고정 유전체 공진 발진기는 설정 주파수 10.00 GHz에서 출력 8.67 dBm, 데이터 전송시 오율특성에 영향을 미치는 위상 잡음은 carrier로부터 10 kHz 벗어난 점에서 -81 dBc/Hz를 얻었다. 또한 스퓨리어스 특성은 백색잡음 이외의 잡음이 없고 고조파 특성은 -42 dBc 이하의 우수한 특성을 나타내었다. 이와같은 특성은 종전의 free-running하는 유전체 공진 발진기로서는 불가능한 것이다.

이러한 위상고정 유전체 공진 발진기는 LNB(Low Noise Block), VSAT용 저속 단말기용 발진기, point-to-point 무선중계장치의 고정장 발진기 또는 이동통신 지구국 등에 응용할 수 있으며, 유전체 공진 발진기 부분의 발진 주파수만 바꾸어주면 향후 무궁화용 FSS 수신기용으로도 이용할 수 있겠다.

참 고 문 헌

[1] Gamma Microwave Inc., "Ruggedized Phase-Locked Oscillator for Military Application," Microwave Journal, pp.197-199, June, 1988.

[2] Gamma Microwave Inc., "18 to 23 GHz Phase-Locked Oscillator," Microwave Journal, pp. 182-183, January, 1988.

[3] A. Okaya and L. F. Barush, "The Dielectric Microwave Resonator," Proc. IRE, pp. 2081-2091, Oct., 1962.

[4] J. C. Sethares, "Design of Microwave Dielectric Resonators," IEEE, VOL. MTT-14, January, 1966.

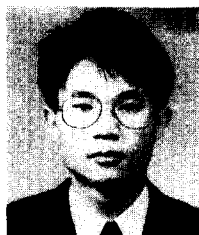
[5] A. P. S. Khanna, "Understand DRO Design Methods and Operation," Microwave & RF, pp. 120-124, April, 1992.

[6] A. P. S. Khanna, "A Highly Stable 36 GHz GaAs FET DRO with Phase-Lock Capability," Microwave Journal, pp. 117-122, July, 1989.

[7] Cheh-Ming Liu and Chen Y. Ho, "On the Design of a Voltage-tuned Push-Push Dielectric Resonator Oscillator," Microwave Journal, pp. 165-174, June, 1990.

[8] Floyd M. Gardner, Phase-lock Techniques, Jhon Wiley & Sons, 1979.

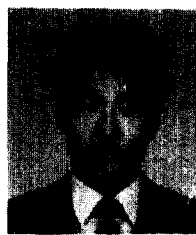
[9] 남상민, 최형모, 서정수, "Ku-band 위성통신 시스템 위상고정 유전체 공진 발진기의 구현," 한국통신학회 1990년 하계학술발표회 논문집, 1990.



柳根官(Keun Kwan Ryu)준회원  
1969년 2월 16日生  
1992년 2월 : 光云大學校 電子通信工學科 卒業(工學士)  
1994년 2월 : 光云大學校 大學院 電子通信工學科 卒業(工學碩士)

1994년 3월 ~ 現在 : 光云大學校 大學院 電子通信工學科 博士課程 在學中

\* 주관심분야 : MIC 및 MMIC 회로 설계, 이동 및 위성통신



李斗漢(Du Han Lee) 정회원  
1963년 6월 5日生  
1988년 2월 : 光云大學校 電子通信工學科 卒業(工學士)  
1990년 2월 : 光云大學校 大學院 電子通信工學科 卒業(工學碩士)

1991년 3월 ~ 現在 : 光云大學校 大學院 電子通信工學科 博士課程 在學中

\* 주관심분야 : MIC 및 MMIC 회로 설계, ANTENNA & WAVE PROPAGATION 이동 및 위성통신



- 洪義錫(Ui Seok Hong) 정회원  
1968年 2月 : 光云大學校 電子通信 工學科 卒業(工學士)  
1973年 9月 : 延世大學校 大學院 電氣工學科 卒業(工學碩士)  
1982年 11月 : 獨逸 Aachen 工大 電子工學科 卒業(工學博士)
- 1973年 9月 ~ 1976年 5月 : 光云大學校 應用電子工學科 專任講師  
1976年 10月 ~ 1982年 12月 : 獨逸 Aachen 工大 電磁波 研究所 研究員
- 1983年 1月 ~ 1986年 2月 : 光云大學校 電子通信工學科 副教授  
1986年 2月 ~ 1987年 2月 : 美國 University of Texas(Austin) 客員教授  
1987年 3月 ~ 1992年 2月 : 光云大學校 電子通信工學科 教授  
1989年 1月 ~ 1991年 12月 : 對韓電子工學會 編輯委員  
1984年 3月 ~ 現在 : 韓國通信學會 資格理事  
1991年 1月 ~ 現在 : 韓國電磁波技術學會 評議員  
1992年 3月 ~ 現在 : 光云大學校 電波工學科 教授
- \*주관분야 : MIC 및 MMIC 회로 설계, ANTENNA & WAVE PROPAGATION 이동 및 위성통신