

위상고정 회로를 이용한 X-band DRO 설계 및 제작에 관한 연구

A Study on the Design and Fabrication of X-band Dielectric Resonator Oscillator using Phase Looked Loop

성혁제* · 손병문** · 최근석*

Hyeok-Jea Sung* · Byong-Moon Son** · Kun-Seog Choi*

요 약

본 논문에서는 X-band(8 GHz)용 위상고정 유전체 공진 발진기를 설계 및 제작하였다. 직렬 케환형 구조로 높은 선택도(Q)를 가지는 유전체 공진기와 주파수 동조를 위하여 바랙터 다이오드, loop filter와 10 GHz까지 동작하는 prescaler를 이용하여 구성하였으며, 전압제어 발진기의 신호와 수정 발진기의 신호를 위상 검출기에 넣어 두 신호의 위상을 검출·고정함으로써 높은 안정도의 신호원을 얻을 수 있도록 구현하였다.

측정 결과 본 논문의 위상고정 유전체 공진 발진기는 8 GHz에서 2.5 dBm의 출력과 -26 dBc의 고조파 억압과 중심주파수에서 10 KHz offset 에서 -64.33 dBc의 위상잡음을 얻었으며, 전압제어 유전체 공진 발진기에 비하여 높은 주파수 안정도를 가지는 것을 볼 수 있었다.

Abstract

In this paper, the PLDRO is designed and implemented for X-band. It is comprised of tunable high Q resonator with a varactor diode for frequency tuning, loop filter and a 1/8 prescaler which operates up to 10 GHz. Also, it is implemented a TCXO and a VCO signal into the phase detector and achieved a highly stable signal source. From the measurement, the designed PLDRO has the output power of 2.5 dBm at 8 GHz and a phase noise of -64.33 dBc at 10 KHz offset from carrier. Its harmonic characteristic is 26 dBc. This PLDRO has much better temperature stability

I. 서 론

통신 수요의 증가로 보다 높은 주파수를 이용한 대용량의 데이터 전송이 필요하게 되고, 이에 따라 최근 초고속화를 위한 점진적인 망진화 전략으로 유·무선 복합망인 B-WLL(Broadband-Wireless Local Loop)의 계획이 그 대안으로 추진 중이다.

B-WLL의 서비스에 의하여 데이터, 음성, 영상 신호 등이 디지털 신호가 위상 변조 방식(Phase-Shift-

Keying)에 의해 Ka-band 대역에서 송·수신되고, 이러한 통신시스템에서는 데이터 오율에 가장 큰 영향을 끼치는 주파수 안정도와 위상잡음 특성이 좋은 국부발진기가 요구되어진다.

마이크로웨이브용 발진기로는 마이크로스트립 기판 위에 능동소자와 부피가 작고 저렴한 유전체 공진 발진기가 사용되고 있다. 그러나 이러한 발진기는 일반적으로 주위 온도에 비해 안정도가 낮아 데이터 신호의 송·수신용으로는 부적합하다. 따라서,

* (주)팬택(Pantech Co.)

** 홍익대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Hong-ik University)

· 논문 번호 : 20000128-013

· 수정완료일자 : 2000년 5월 30일

이러한 단점을 보완하기 위하여 높은 선택도(Q)의 유전체 공진 발전기의 출력과 안정도가 높은 수정 발전기의 출력의 위상을 검출, 고정하여 높은 주파수 안정도를 얻는 위상 고정 유전체 공진 발전기가 있다.

본 논문에서는 바랙터 다이오드를 삽입하여 X-band (8 GHz)용 직렬 케환형 유전체 공진 발전기를 구현하고, 여기에 수정 발전기 신호와 분주된 발전기 신호의 위상을 검출, 고정하는 PLL방법을 사용하여 위상고정 유전체 공진 발전기를 설계·제작하였다. 제작된 위상고정 유전체 공진기는 사용된 pre-scaler의 주파수 사용 한계에 따라 8 GHz에서 제작되었으며, 주파수 체배기를 이용하거나, 고조파 성분을 이용할 경우 B-WLL 주파수인 24 GHz ~ 26 GHz의 대역에서 국부발전기로 이용할 수 있다^[1].

II. PLDRO의 설계 및 제작

2-1 PLDRO의 설계

유전체 공진 발전기(DRO)는 유전체 공진기의 결합위치에 따라 크게 병렬 케환 발전기, 반사형 발전기, 직렬 케환 발전기로 나눌 수 있으며, 출력단에 유전체 공진기를 결합하는 병렬 케환형이나 반사형은 능동소자의 자체 케환 없이도 발진하는 장점이 있으나, 발전기의 전체적인 성능 저하나 주파수의

변화를 일으키는 단점이 있으므로 본 논문에서는 직렬 케환형 발전기를 설계하였다. 또한, 발전기의 주파수 동조 방법에는 기계적 동조와 전기적 동조로 나눌 수 있으며, PLL과 같은 시스템에서는 빠른 튜닝이 필요하기 때문에 전기적 동조 방법을 사용하고 있다. 또한 전기적 동조 방법에도 바이어스 동조와 바랙터 다이오드를 이용한 방법이 사용된다. 바랙터 다이오드 동조방법은 발전기의 공진부에 바랙터 다이오드를 연결하여 공진되는 주파수를 변화시켜 동조하는 방법이며, 바이어스 동조는 소자에 인가되는 전압을 조절하여 동작점을 변화시켜 주파수를 동조하는 방법으로 비선형 소자인 다이오드가 사용되지 않는 장점이 있으나, 정확한 동조 범위를 예측할 수 없고 전압의 큰 변화에 불안한 특성을 갖는 단점이 있다. 본 논문에서는 바랙터 다이오드를 사용한 동조 방법을 사용하였다. 이때 바랙터 다이오드가 소자의 직렬 또는 병렬로 직접 연결되어지면 발전기의 위상잡음 특성이 감소하므로 직렬 케환 형태를 가지는 발전기의 유전체 공진기에 바랙터 다이오드가 연결된 마이크로스트립 전송선로를 결합시켜 공진주파수를 변화시킴으로써 주파수 동조를 얻는 방법을 사용하여 위상잡음을 줄이도록 하였다. 그림 1은 바랙터 다이오드가 연결된 유전체 공진기 동조부의 등가모델을 나타낸다^{[2],[3]}.

그림 1의 모델링에서 L_c 는 바랙터 다이오드가 연결된 전송선로의 등가 인덕턴스로서

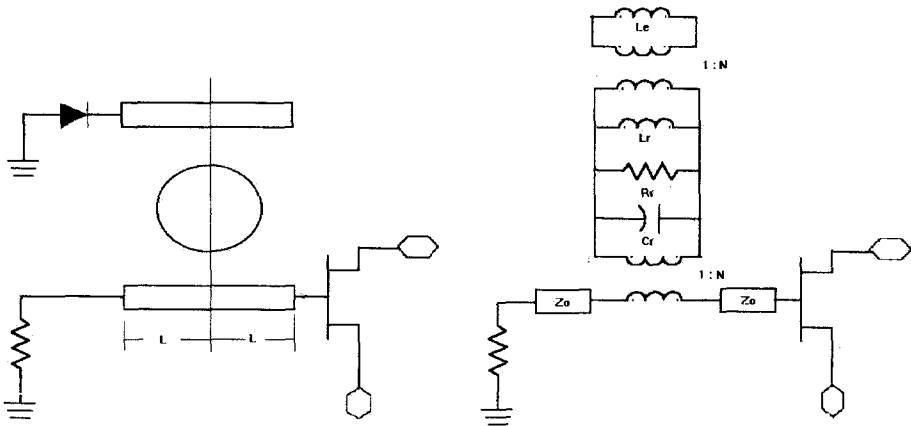


그림 1. 바랙터 다이오드가 결합된 유전체 공진기 등가모델
Fig. 1. A equivalent model of the dielectric resonator with a varator diode.

$$L_e = \frac{Z_0^2 C_v}{2} \quad (1)$$

이고, 공진기와 결합된 인덕턴스의 값은

$$L_{er} = \frac{L_e}{N^2} \quad (2)$$

이다. 따라서 공진기의 전체 인덕턴스는

$$L_{r1} = L_{er} / L_r = \frac{L_{er} L_r}{L_{er} + L_r} \quad (3)$$

이다. 이때 공진 주파수는

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{r1} C_r}} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 마이크로스트립 전송선로와 유전체 공진기의 거리에 따른 결합계수는 다음과 같이 표현되며, 여기서 N 은 이상적인 변압기의 권선비이다.

$$\left(\frac{1}{N}\right)^2 = \frac{2Z_0}{Q} \left(\frac{1 - |S_{21}|}{|S_{21}|}\right) \quad (5)$$

이고, 바랙터 다이오드의 캐패시턴스 C_v 는

$$C_v = \frac{C_{jo}}{(1 + V_r/V_j)^M} + C_p \quad (6)$$

이다. 여기서

C_{jo} : zero-bias 접합 캐패시턴스

C_p : 기생 캐패시턴스

V_r : 확산 포텐셜

V_j : 접합 포텐셜

M : PN 접합 계수

이다. 또한 능동소자부와 유전체 공진기의 정합을 위하여 능동 소자에서 바라본 유전체 공진기의 반사계수를 알아보면 능동소자와 유전체 공진기의 중심 사이의 거리를 θ 로 나타낼 때, 반사계수 Γ_R 는

$$\Gamma_R = |\Gamma_{R1}| \exp(-2jL) = \frac{\beta}{\beta+1} \exp(-2j\theta) \quad (7)$$

가 되고, 발진조건에 의해

$$\Gamma_{IN} \Gamma_R = 1 = \Gamma_{IN} |\Gamma_{R1}| \exp(-2j\theta) \quad (8)$$

이 된다. 위 조건에서

표 1. 전압제어 유전체 공진 발진기의 제원

Table 1. Specification of the VCDRO.

기 관	Teflon	비유전율: 2.52 두께: 0.508 mm
유전체 공진기	Kyocera MKU980201	두께: 2.14 mm 직경: 8.08 mm 비유전율: 38 Q 값: 6000
바랙터 다이오드	M/A-COM MA46470	2V: 0.814 pF 20V: 0.248 pF
능동소자	NEC NE325S01	N-CHANNEL HJ-FET

$$L = (\theta/2\pi) \lambda_m \quad (9.a)$$

$$\theta = (1/2) \arg(\Gamma_{IN}) + n\pi \quad n = 0, 1, 2 \dots \quad (9.b)$$

로 구해진다. 여기서 λ_m 은 발진 주파수에서 마이크로스트립의 관내 파장이다^[4].

구해진 Γ_R 을 이용하여 입,출력 정합회로를 구현하고, 위상고정 회로에 사용되는 소자들과 같은 전압원을 사용하기 위해 5V에서 동작하도록 설계하였고, HP-EEsof사의 ADS로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 발진주파수는 그림 3과 같이 8.008 GHz이었으며, 출력은 4.64 dBm이었다.

2-2 PLDRO의 제작

위상검출기를 사용하는 PLDRO는 수정발진기(Crystal Reference), 주파수 분주기(1/N 1/R), Prescaler(1/8), 위상 검출기(Phase frequency Detector: PD), 루프 필터(loop filter), 전압제어 유전체 발진기(Voltage Controlled Dielectric Resonator Oscillator)로 구성되며, 구성도는 그림 4와 같다.

위상고정 회로는 저주파수대의 안정된 수정발진기 신호와 전압제어 발진기신호의 위상을 동기시켜 상대적으로 불안한 고주파수대의 전압제어 발진기를 안정화시키는 회로이다. 그림 4에서 수정발진기의 신호는 분주기에 의하여 1/R 배로 분주되고, 이것을 검출 주파수라고 한다. 이 검출 주파수는 1/N배로 분주된 전압제어 발진기의 신호와 같이 위상 검출기에 입력되고, 위상 검출기를 통하여 두 신호의 위상차는 전류 또는 전압으로 출력되는데, 출력이

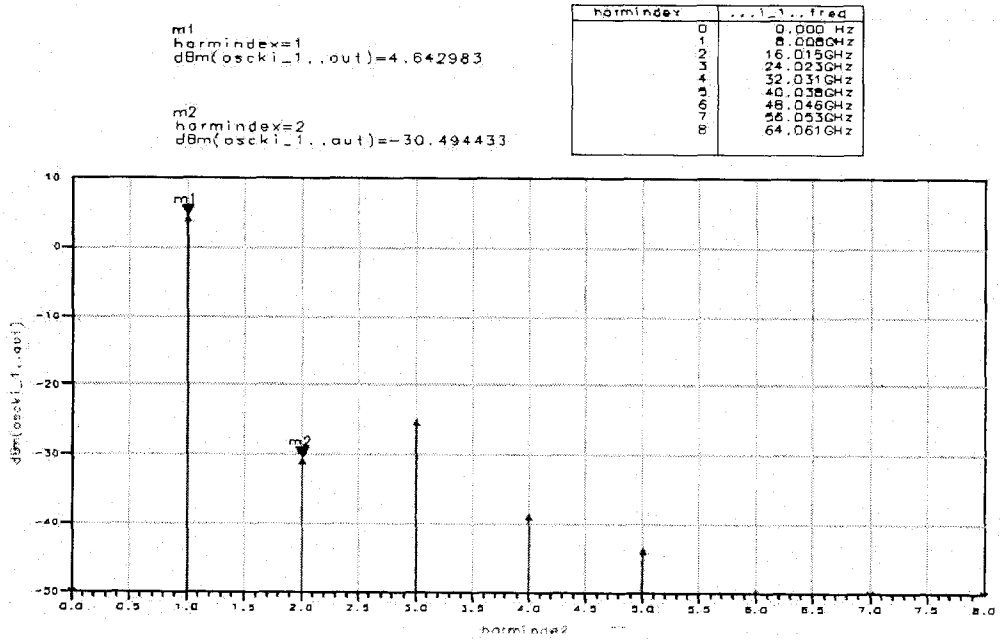


그림 2. VCDRO의 발진 스펙트럼 시뮬레이션

Fig. 2. Simulation of VCDRO spectrum.

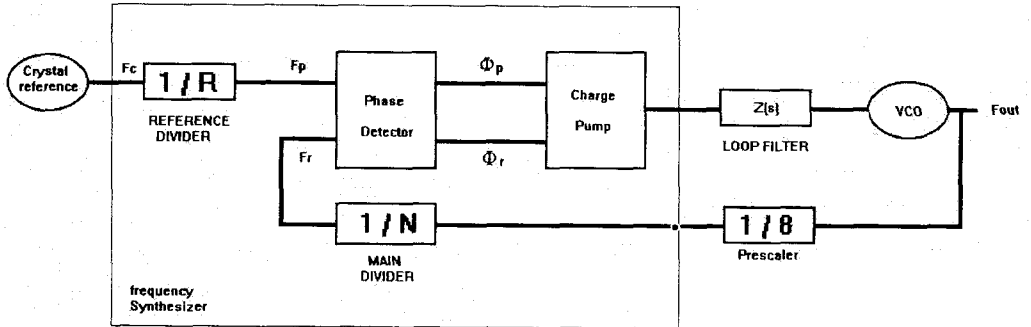


그림 3. PLL 구성도

Fig. 3. Blockdiagram of PLDR0.

전류일 때는 루프필터의 임피던스의 곱에 의하여 전압으로 출력되고, 전압일 때는 저주파 필터로 작용하는 루프필터에 의해 전압제어 발진기의 주파수 동조를 제어하여 두 신호의 위상을 고정시키게 된다^[5].

(전압제어 발진기 주파수) = $(N/R * \text{수정발진기 주파수})$ 로 나타나며, 위상 검출기에 입력되어 분주된 두 신호는 기본적으로 동일 주파수를 가지는 상태가 되어야 한다. 따라서 전압제어 발진기의 주파수가

너무 큰 폭으로 변화하거나 위상 검출기로 입력되는 두 주파수가 큰 차이를 보이면 위상고정은 발생하지 않는다^[6].

본 논문에서는 19.625 MHz 수정발진기와 National사의 LMX2325를 주파수 합성기로 사용하였다. 주파수 합성 소자인 LMX2325는 수정 발진기의 신호를 1/R배로 분주하는 기준 분주기와 전압제어 발진기를 1/N배로 분주하는 메인 분주기를 포함하며, 또한 분주된 두 신호의 위상을 검출하는 위상검출기와

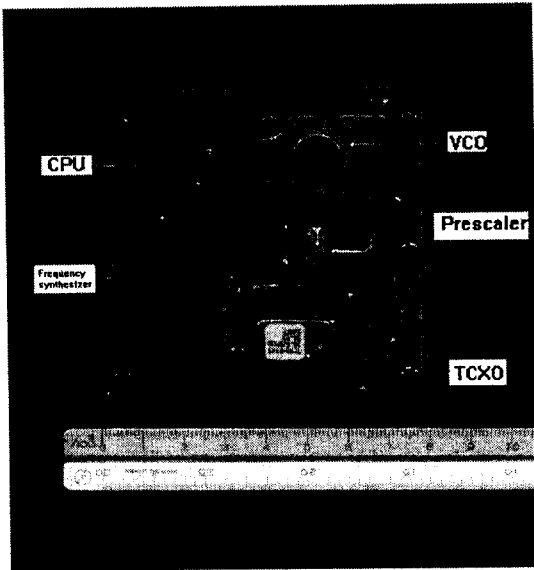


그림 4. 제작한 PLDRO 사진
Fig. 4. The photograph of the designed PLDRO.

두 신호의 위상차를 전류로 출력하는 charge pump로 구성되어 있다. 기본적으로 위상 검출기에 입력되는 두 신호는 동일 주파수이어야 하므로, 주파수 합성기 소자가 가지는 조건에 의하여 N과 R값을 조절해 주어야 한다. 또한 본 논문에서 사용한 주파수 합성기는 2.5 GHz까지 동작하므로, 전압제어 발진기의 출력신호인 8 GHz를 1/8로 분주하는 prescaler에 연결하여 메인 분주기에 1 GHz의 신호가 입력되도록 하였다^{[7],[8]}.

위상고정 유전체 공진 발진기의 제작은 전압제어 발진기에서 출력되는 신호의 전송을 위하여 전압제어 발진기에 사용된 비유전율 2.52인 Arlon사의 Cuclad-250 기판 위에 구성하였다. 전압제어 발진기의 신호를 분배기를 통하여 위상고정 회로단과 출력단으로 나누어지게 하였으며, 전체 전원은 레귤레이터를 통하여 5V가 공급되게 하였고, 전원 공급선로에 커패시터를 연결하여 전원잡음을 줄이도록 하였다.

Prescaler는 FUJITSU사의 FMM110VJ을, 수정 발진기는 19.625 MHz의 발진 주파수를 가지는 SUNNY사의 TCXO-6TA3을, 주파수 합성기는 National사의 LMX2325을 사용하였다. 주파수 합성기는 CPU 8051에 의하여 제어되도록 하였고, 전압제어 유전체 공

진 발진기는 tuning 스크류가 달린 금속으로 밀봉하여 보다 안정된 신호를 발생하도록 하였으며, tuning 스크류를 조절하여, 8 GHz에서 발진하도록 하였다. 그림 5는 제작된 발진기의 사진이며, 75 mm × 80 mm의 크기를 갖는다^{[9],[10]}.

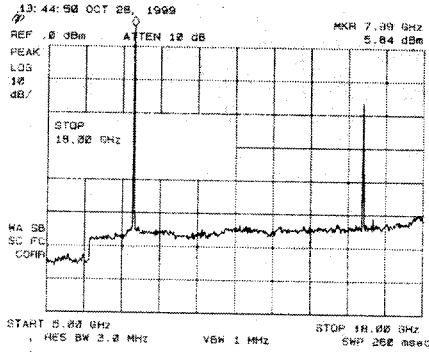
Ⅲ. 측정 및 검토

본 논문에서는 제작된 전압제어 유전체 공진 발진기와 위상고정 유전체 공진 발진기를 HP8593A와 HP8565E 스펙트럼 분석기로 측정하였다.

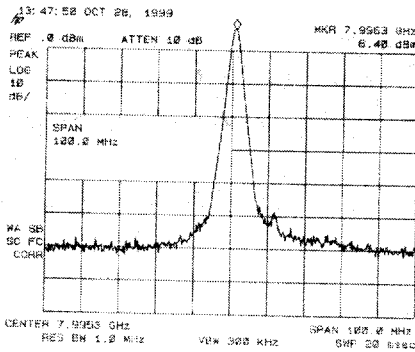
측정 결과 전압제어 유전체 공진 발진기의 출력은 5.84 dBm이고, 8 GHz에서 발진하였으며, 주파수 동조부인 바랙터 다이오드의 전압을 0 V에서 5 V까지 변화시킨 결과 4 MHz/V의 주파수 변화를 나타내었다.

위상고정 유전체 공진 발진기의 측정 결과 8 GHz에서 2.20 dBm의 출력 -64.33 dBc의 위상잡음 특성과 25 dBc의 2차 고조파 억압을 나타내었다. 전압제어 유전체 공진 발진기와 위상고정 유전체 공진 발진기와의 출력 레벨의 차이가 있으나 이것은 위상고정 회로에서 출력의 분배에 의한 감소현상으로 보여진다. 또한 전압제어 유전체 공진 발진기는 주위 환경변화에 따라 민감한 주파수 변화를 일으키는 것을 볼 수 있었으나, 위상고정 유전체 공진 발진기에서선 공급전원 4.5V에서 5.5V까지의 변화에선 고정된 출력과, -30°C에서 60°C의 온도 변화에서 약 5 KHz의 변화만을 나타내는 안정된 온도특성을 나타내었다. 일반적으로 유전체 공진 발진기의 주파수 안정도가 수 ppm/°C인데 비해 제작된 위상고정 유전체 공진 발진기의 주파수 안정도가 10⁻³ppm/°C 정도의 안정된 출력을 보였다.

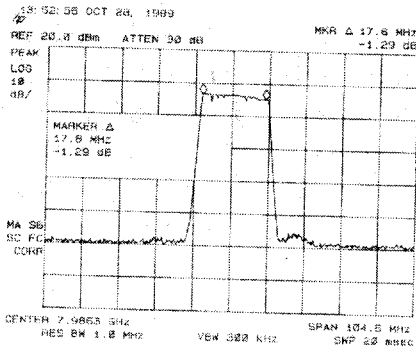
그림 6은 전압제어 유전체 공진 발진기를 HP-8539A로 측정한 결과이며, 그림 7은 위상고정 유전체 공진 발진기를 HP8565E로 측정한 결과이다. 그림 6(a)는 5 GHz에서 18 GHz까지의 범위에서 나타난 전압제어 유전체 공진 발진기의 스펙트럼으로 두 번째 고조파 성분까지 나타내며, 5.84 dBm의 출력과 약 25 dBc의 고조파 억압을 나타냄을 볼 수 있다. 중심 주파수는 7.99 GHz로 나타내고 있으나 이는 계측기상의 해석문제인 것으로 보이며, 또한 금속으로



(a)



(b)



(c)

그림 5. VCDRO의 출력 특성

- (a) 전압제어 유전체 공진 발전기의 고조파 특성
- (b) 전압제어 유전체 공진 발전기 스펙트럼
- (c) 전압제어 유전체 공진 발전기의 튜닝 특성

Fig. 5. Output characteristics of VCDRO.

- (a) Harmonic characteristics of VCDRO
- (b) Spectrum of VCDRO
- (c) Tuned spectrum of VCDRO

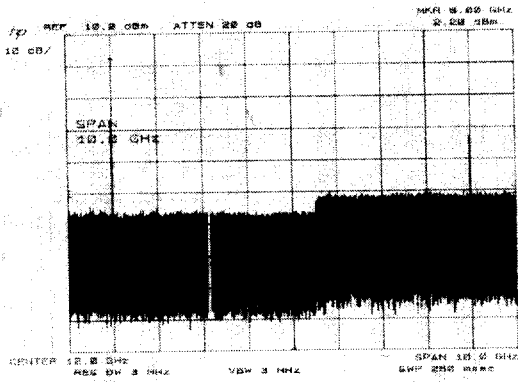
밀봉시 tuning 스크류를 통하여 공진기의 공진 주파수 조절함으로써 중심 주파수에 맞출 수 있다. 그림 6(b)는 100 MHz span에서 전압제어 유전체 공진 발전기의 스펙트럼으로 7.996 GHz에서 6.4 dBm으로써 그림 6(a)의 출력 레벨과 차이를 보이고 있으나, 이는 계측기 상의 오류라 생각된다. 그림 6(c)는 전압제어 유전체 공진 발전기의 바랙터 다이오드 입력전압을 0 V에서 4.5 V까지 변화시켰을 때 주파수 변동에 따른 스펙트럼의 최대치를 표시한 것이다. 측정 결과 동조대역은 17.5 MHz에서 출력레벨의 변화가 거의 없으며 4 MHz/V로 변화함을 보여준다.

그림 7(a)는 위상고정 유전체 공진 발전기의 스펙트럼을 7 GHz에서 17 GHz의 범위에서 나타낸 결과이다. 중심 주파수 8 GHz에서 발진하고 2차 고조파의 억압은 26 dB로 전압제어 유전체 공진 발전기와 같은 특성을 보이나, 출력은 2.2 dBm으로 전압제어 유전체 공진 발전기와는 약 3.3 dB의 차이를 보인다. 이는 위상고정 회로를 제작시에 나타나는 출력의 분배로 인한 감소 현상으로 보여진다. 또한 B-WLL의 ODU(Out Door Unit)에 필요한 출력인 0 dBm 이상을 만족시키고 있다. 그림 7(b)는 10 KHz범위에서 위상고정 유전체 공진 발전기의 스펙트럼을 나타낸 결과이다. 중심 주파수 8 GHz와 약간의 주파수 차이를 보이나 이는 계측기의 해석 오차로 보이며, 전압제어 유전체 공진 발전기에서는 1 MHz 이하의 작은 범위에서 주파수 변동이 심하게 일어남을 볼 수 있으나 위상고정 유전체 공진 발전기에선 작은 범위안에서도 안정됨을 보이고 있다. 그림 7(c)는 -30°C에서 60°C의 온도변화에서의 주파수 변화를 나타낸 결과이다. 위상고정 유전체 공진 발전기 회로를 약 -30°C에서 60°C까지 온도 변화를 변화시켰을 때의 주파수 변동으로 7,999,991,250 Hz에서 7,999,996,250 Hz까지 5 KHz 정도의 변화를 나타내며 $10^{-3} ppm/°C$ 의 주파수 안정도를 나타낸다.

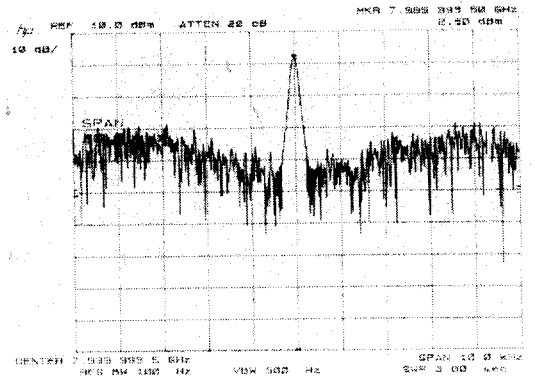
그림 7(d)는 위상잡음 특성을 로그스케일로 나타낸 결과이며, 중심 주파수에서 10 KHz 떨어진 곳에서 -64.33 dBc의 위상잡음 특성 가지고 있다.

IV. 결 론

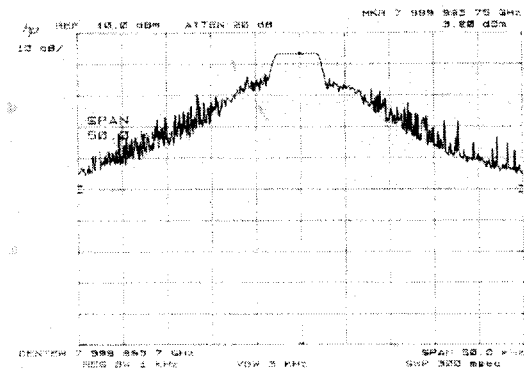
본 논문에서는 X-band용 위상고정 유전체 공진



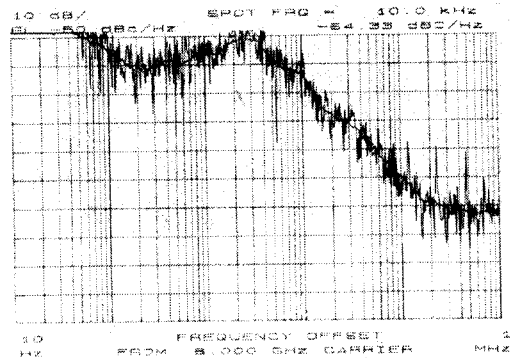
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. PLDRO의 출력 특성. (a) 위상고정 유전체 공진 발진기 고조파 특성, (b) 위상고정 유전체 공진 발진기 스펙트럼, (c) 위상고정 유전체 공진 발진기의 온도 변화 특성, (d) 위상고정 유전체 공진 발진기의 위상잡음 특성

Fig 6. Output characteristics of PLDRO. (a) Harmonic characteristics of PLDRO, (b) Spectrum of PLDRO, (c) Temperature change characteristics of PLDRO, (d) Phase noise characteristics of PLDRO.

발진기를 설계·제작하였다. 위상고정 유전체 공진 발진기는 전압제어 유전체 공진 발진기를 설계 제작한 후 여기에 위상고정 회로를 연결하여 안정된 신호의 출력을 가지도록 구현하였다.

전압제어 발진기는 CAD를 사용하여 능동소자를 모델링한 후, 이를 바탕으로 높은 Q값을 가지는 유전체 공진기를 이용하여 직렬 케환 회로를 구성하였다. 또한 PLL(Phase-Locked-Loop) 시스템에 응용을 위한 주파수 동조부에는 바랙터 다이오드를 이용하였다. 전압제어 유전체 공진 발진기의 제작 결과, 중심 주파수 8 GHz와 10 MHz의 오차를 가지는 7.99 GHz에서 5.84 dBm의 출력을 보였으며, 25 dBc의 2차

고조파 억압을 보였고, 바랙터 다이오드의 입력 전압이 0V에서 5V 사이에서 4 MHz/V의 주파수 변화를 나타내었다.

위상고정 유전체 공진 발진기는 제작된 전압제어 발진기의 신호와 안정한 수정발진기 신호의 위상차를 위상검출기와 loop filter를 통하여 전압제어 발진기의 전압을 조절함으로써 두 신호의 위상을 고정하도록 구현하였다. 제작 결과 8 GHz에서 2.2 dBm의 출력과 26 dBc의 고조파 억압 특성을 보였으며, 이는 통신 시스템에서 사용 가능한 0 dBm 이상의 출력을 나타내었다. 또한 -30°C에서 60°C의 온도 변화에서도 중심주파수를 기준으로 5 KHz의 변화만을

나타내는 높은 주파수 안정도를 보였다. 그러나 위상잡음 측정 결과 중심 주파수와 10 KHz offset인 지점에서 -64.33 dBc의 위상잡음 특성은 통신 시스템에서 원하는 위상잡음 특성인 -85 dBc 이하와는 20 dB의 차이로 향후 개선되어야 할 사항이다.

본 논문에서 설계 제작된 위상고정 유전체 공진 발진기는 주파수 체배기나 고조파 성분을 이용하면 Ka-band 대역을 사용하는 B-WLL의 극부 발진기로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Papp and Y. Y. Koyano, "An 8~18 GHz YIG-tuned FET Oscillator", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-28, no. 7, July, 1980.
 [2] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice Hall, 1997.

[3] F. M. Garden, "Charge-pump Phase-Locked Loops", *IEEE Trans. Comm.* vol. COM-28, pp. 1849-1858, Nov., 1980.
 [4] J. M. Golio, *Microwave MESFETs & HEMTs*, Artech House, 1986.
 [5] D. Kajfez and P. Guillon, *Dielectric Resonators*, Artech House, 1991.
 [6] J. Suiun and C. C. Wei, "A highly stabilized GaAs FET reflection-type oscillator with a dielectric resonator in X-band", *Microwave Journal*, April, 1992.
 [7] R. G. Winch, "Wide-band varactor-tuned oscillators", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. SC-17, no. 6, Dec., 1982.
 [8] K.V. Puglia, "Phase-locked DRO uses a sampling phase detector", *Microwave & RF*, July, 1993.
 [9] D. H. Wolaver, *Phase-Locked Loop Circuit Design*, Prentice Hall, 1991.

성 혁 제



1986년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 8월: 홍익대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 5월~1996년 4월: 한국통신

전임연구원

1997년 6월~1999년 11월: 기륭전자(주) 연구소 microwave 연구부 수석연구원

1999년 12월~현재: (주)팬택 연구소 수석연구원 IMT-2000 H/W 팀장

[주 관심분야] RF회로 설계 및 수치해석

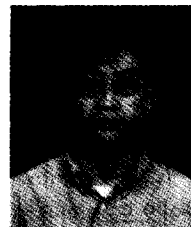
손 병 문



1989년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 3월~1994년 1월: (주) LG 정밀 연구소
 1997년 3월~2000년 4월: 홍익대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 설계 및 수치해석

최 근 석



1996년 3월: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월~2000년 1월: 기륭전자 마이크로웨이브 연구소 연구원
 2000년 2월~현재: 팬택 연구소 비동기식 단말기 RF 하드웨어 연구원

[주 관심분야] RF 회로설계 및 수치해석