

M/W 중계기용 유전체 공진 발진기 설계에 관한 연구

정회원 송 윤 원*, 윤 현 민**

A Study on Design of Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator for a Microwave Repeater

Yun-Won Song*, Hyun-min Yun** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 마이크로파 중계 시스템을 위한 PLDRO (phase locked dielectric resonator oscillator)를 설계하고 제작하였다. 유전체 공진 발진기(Dielectric Resonator Oscillator, DRO)는 유전체 공진기의 등가회로 모델을 사용하여 유전체 공진기의 등가 파라미터를 구하고 이를 바탕으로 설계 및 제작하였다. 바랙터 다이오드와 유전체 공진 발진기, 7.06GHz의 전압제어 유전체 공진 발진기(VCDRO)를 사용하여 제작하였으며, +10.88dBm의 출력전력과 -95.87 dBc/Hz @ 10KHz의 위상잡음이 측정되었다.

Key Words : DRO, PLDRO, VCDRO, Repeater, Resonator

ABSTRACT

In this paper, a phase locked dielectric resonator oscillator (PLDRO) has been designed and fabricated for microwave repeater system. A DRO has been designed and fabricated using calculated parameters of DR referred to it's equivalent circuit. Using the varactor diode and DRO, voltage controlled DRO of 7.06 GHz has been fabricated. An output power of +10.88 dBm and phase noise -95.87 dBc/Hz @ 10kHz has been measured.

I. 서 론

최근 국내외적으로 이동통신 서비스에 있어 통신 용량 및 가입자가 급증하고 있으며 이에 따라 기지국 및 중계기의 수요도 증가하는 추세이다. 따라서 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 동작하는 고주파회로의 개발이 요구되며, 특히 통신 시스템에 있어서 필수적인 발진기의 설계 및 제작이 필요하다. 마이크로파 대역에서 발진기는 소형, 경량, 저 전력 소모 및 우수한 주파수 안정도가 요구되기 때문에 도파관 공동(Waveguide Cavity) 보다 소형이면서 저 가격, 저 손실, 높은 안정도와 유전율, 그리고 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기(Dielectric Resonator)의 사용이 일반화 되고 있다^{[1][2]}.

본 논문에서는 M/W 중계기에 사용되는 높은 주

파수 안정도와 우수한 잡음 특성을 갖는 국부발진기(Local Oscillator)를 구현하기 위하여 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 중심주파수 7.06 GHz의 DRO를 선형 설계법에 의한 알고리즘을 체계화하였으며, 이를 Sampling Phase Detector(SPD)를 포함한 Loop Circuit으로 설계하였고 M/W 중계기용 시스템의 국부 발진에 이용될 수 있는 중심 주파수 7.06 GHz의 Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator (PLDRO)를 설계 및 제작하였다.

II. 유전체 공진 발진기(DRO)

2.1 유전체 공진 발진기(DRO)

그림 1에는 유전체 공진기(Dielectric Resonator)와 마이크로스트립 선로 사이의 자계 결합을 보인다.

* 재능대학 정보통신계열 (syw527@mail.jeu.ac.kr), ** 재능대학 정보통신계열 (kmk555@mail.jeu.ac.kr)

논문번호 : 09044-0801, 접수일자 : 2009년 8월 1일

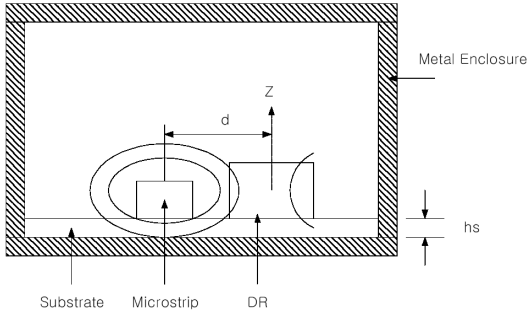


그림 1. 유전체공진기와 마이크로스트립 선로와의 결합
Fig. 1. Coupling of dielectric oscillator and microstrip line

공진기는 마이크로스트립 기판 위에 올려지며, 공진기와 마이크로스트립 도체 사이의 거리는 주로 공진기와 마이크로스트립 전송선로 간 결합의 양에 의해 결정된다. 적절하게 금속으로 차폐(shielding)하는 것은 방사 손실(radiation losses)을 최소화하여 Q값을 높이며, 또한 TE01 모드의 공진 주파수에도 영향을 준다. 공진 주파수의 변경은 공동 섭동 이론(cavity perturbation theory)으로 설명될 수 있다. 금속 벽이 안쪽으로 움직일 때, 변위계(displaced field)에 저장되는 에너지가 전계이면 공진 주파수는 내려가는 반면에, 금속 벽에 저장되는 에너지가 주로 자계이면 공진 주파수는 올라간다³⁾.

그림 2는 마이크로스트립선로에 결합된 유전체공진기의 등가회로를 보인다. 그림 2의 왼쪽은 마이크로스트립선로와 결합된 유전체 공진기를 보이고 있으며 오른쪽은 마이크로스트립 선로와 결합된 유전체 공진기의 등가모델이다. 그림에서 R, L, C는 유전체 공진기의 특성과 거리 d에 의해 결정된다^{4) 5)}.

유전체 공진기의 특성은 Metallic resonant cavity와 동일하나 높은 유전율과 낮은 손실 및 온도계수 특성이 좋으며 크기를 크게 줄일 수 있어서 각광받고 있다. 유전체 공진기의 유용한 사용 주파수 범위는 2GHz~40GHz이다. 유전체 공진기를 이용한 발

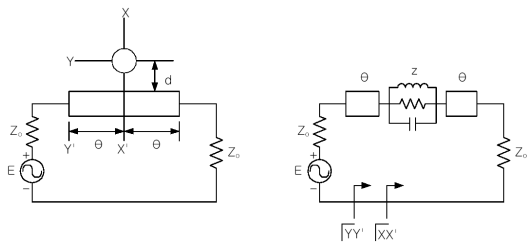


그림 2. 마이크로스트립선로에 결합된 유전체 공진기의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of microstrip line coupled dielectric oscillator

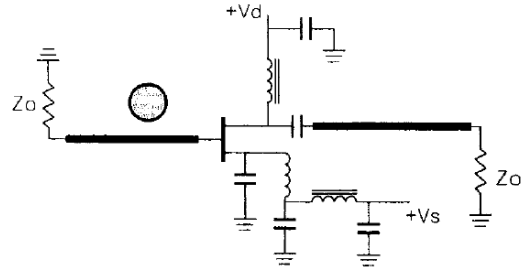


그림 3. 직렬 케환 발진기
Fig. 3. Serial feedback oscillator

진기는 그 특성이 온도에 대해 안정하며 마이크로스트립 라인을 이용할 때 구조가 비교적 간단하고 조정이 용이한 장점을 갖는다. 초고주파 회로에서 유전체 공진기를 효과적으로 사용하기 위해서는 여러 형태의 전송 선로와 유전체 공진기 사이의 결합(coupling) 형태를 정밀하게 파악해야 한다.

본 논문에서는 그림 3과 같은 직렬 케환 발진기 구조를 사용하여 유전체 공진기 발진기를 설계하였다. 직렬 케환 발진기는 gate에 부하가 50Ω이 연결된 마이크로스트립 라인과 결합되어 공진 주파수 근처에서 전력이 FET측으로 반사되어 FET는 불안정해져 발진이 일어나게 된다. 이 구조는 유전체 공진기와 마이크로스트립 라인간의 결합관계를 모델화하기 쉽고, 기생 발진을 쉽게 피할 수 있을 뿐 아니라 부하 변화에 대한 발진 주파수 및 출력 전력 변화가 적다는 장점을 가진다⁶⁾.

2.2 전압제어 유전체 공진 발진기(VCDRO)

발진기의 주파수를 가변시키는 방법으로는 공진부의 공진주파수를 이동시키는 방법과 발진부의 부성저항의 크기를 주파수에 따라 변화시키는 방법이 있다. 발진부의 부성저항의 크기를 주파수에 따라 가변시키는 방법으로는 트랜지스터의 바이어스 조건을 변화시키는 방법으로, 가변범위가 좁지만 공진부의 Q값을 변화시키지 않는다는 장점을 갖는다. 반면 공진부의 공진주파수를 이동시키는 방법으로 Optical tuning 방법과 바랙터 다이오드를 이용한 방법이 있다. Optical tuning 방법은 매우 빠른 가변속도를 가지는 반면 제작이 어렵고 바랙터 다이오드를 이용한 방법은 구조가 간단하기 때문에 가장 널리 사용된다.

본 논문에서는 VCDRO의 주파수를 가변시키기 위해 바랙터 다이오드를 이용한 방법을 사용하였다. 바랙터 다이오드는 인가되는 전압에 따라 내부 캐

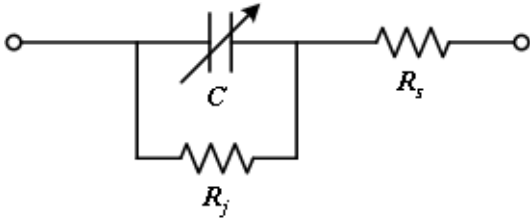


그림 4. 바랙터 다이오드 등가모델
Fig. 4. Equivalent model of varactor diode

패시턴스 값이 변하는 소자로서 등가모델은 그림 4와 같다. 전압제어 유전체 공진 발진기(Voltage Control Dielectric Resonator Oscillator, VCDRO)에 사용되는 바랙터 다이오드는 캐패시턴스의 가변범위가 넓어야 하며 내부 저항값이 작아야 한다^{7, 8)}. 바랙터 다이오드와 결합된 유전체 공진기를 그림 5에 나타내었다.

바랙터 다이오드를 유전체 공진기에서 $\lambda_g/4$ 떨어진 지점에 위치시키면 유전체 공진기에서 바라본 바랙터 다이오드의 캐패시턴스 성분은 인덕턴스 성분으로 보이게 된다. 또한 마이크로스트립 라인과 유전체 공진기의 결합은 트랜스포머로 표현 할 수 있다. 트랜스포머를 통해서 변환된 바랙터 다이오드의 임피던스가 유전체 공진기의 집중소자값을 변화시켜 공진 주파수가 이동하게 된다.

그림 5(a)에서 바랙터 다이오드의 전압을 높이면 다이오드의 캐패시턴스 값이 작아지기 때문에 유전체 공진기 등가모델의 인덕턴스 값이 작아진다. 반대로 바랙터 다이오드의 전압을 낮추게 되면 캐패시턴스 값이 커지고 등가모델의 인덕턴스값이 커진다. 따라서 바랙터 다이오드에 인가되는 전압을 낮추면 주파수가 낮아지며, 전압을 높이면 주파수가 높아지게 된다.

바랙터 다이오드와 발진기의 연결 구성은 그림 6

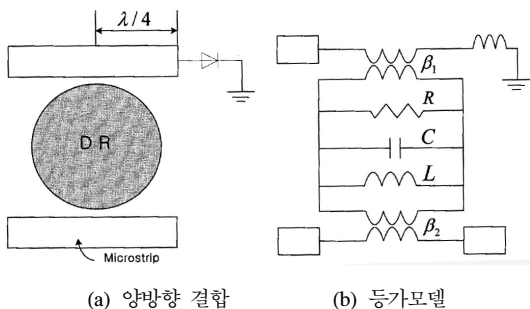


그림 5. 바랙터 다이오드와 결합된 유전체 공진기의 등가 모델
Fig. 5. Equivalent model of varactor diode and coupled resonator oscillator

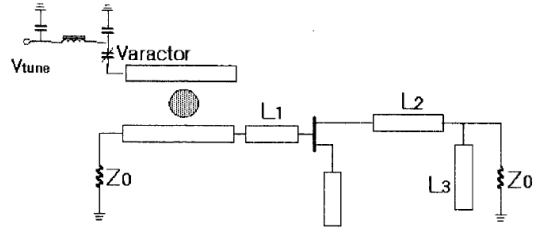


그림 6. 바랙터 다이오드와 발진기의 구성
Fig. 6. Structure of varactor diode and oscillator

에 나타내었다.

III. 위상고정 유전체 공진 발진기(PLDRO)

본 논문에서 구현하고자 하는 PLDRO의 구조는 그림 7과 같다. TCXO, Loop Filter, SPD, VCDRO가 Loop로 구성되어 있다.

PLDRO의 기본적인 동작원리는 PLL 회로와 유사하다. 높은 주파수 안정도와 우수한 위상잡음 특성을 갖는 TCXO 신호는 SPD에 입력되어 내부의 step recovery diode에서 일정 주기를 갖는 하모닉 신호를 발생시킨다. 이러한 신호들은 SPD 내부에 있는 쇼트키 다이오드로 입력되어 VCDRO 신호를 샘플링하게 된다. SPD는 샘플링된 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 제어 단자로 입력되어 두 신호간의 위상차를 보정하게 된다.

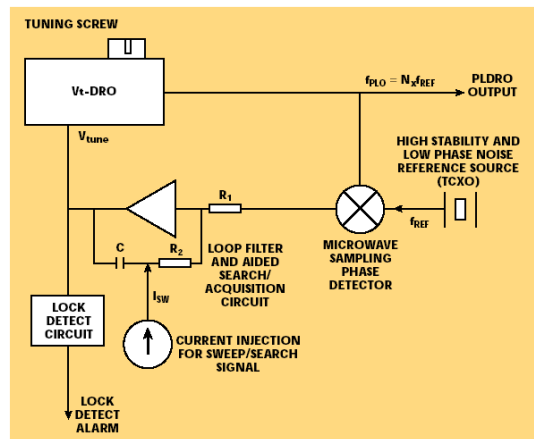


그림 7. PLDRO의 구조
Fig. 7. Structure of PLDRO

IV. PLDRO 설계 및 측정

표 1은 유전체 공진기를 설계하기 위한 각 parameter 값을 나타내고 있다. 그림 8은 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 설계한 유전체 공진기의 회로도이고 그림 9는 앞에서 구한 유전체의 각 parameter값을 적용하여 시뮬레이션한 출력 특성이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 유전체 공진기의 출력 특성은 대역저지여파기(Band-Stop Filter)의 특성이 나타남을 알 수 있다. 그림 10의 굵은 사각형 부분이 실제작된 유전체공진기이다. 제작에 사용된 기판은 Metcraide ($\epsilon = 2.5$, $h = 0.5$ mm)이고 주파수 동조용 바랙터 다이오드는 MGV-100-23-E28X (Metelics), DR은 C8733-0325-146-083 (Transtech)를 사용하였다.

그림 11과 그림 12는 각각 출력전력과 위상잡음을 설계·제작한 PLDRO를 Network Analyzer로 측정한 결과이다. 그림 11에서 보는 바와 같이 중심주파수 7.06GHz에서 출력전력이 10.88 dBm 정도로 나타났다. 그림 12는 제작한 PLDRO 출력에 대한 위상 잡음을 측정한 것으로, 발진 주파수에서

offset 주파수 10kHz 에서의 위상잡음은 -95.87 dBc/Hz가 측정되었다.

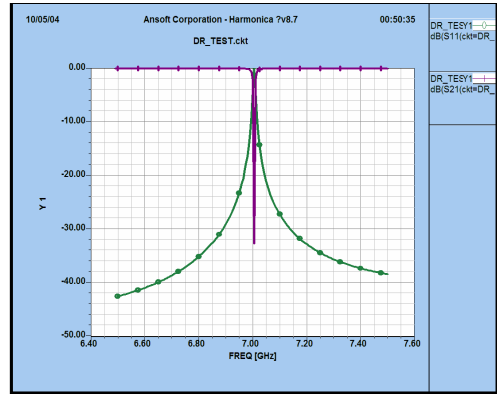


그림 9. 유전체 공진기의 출력특성
Fig. 9. Output characteristic of dielectric resonator

표 1. 유전체 공진기의 parameter 값
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

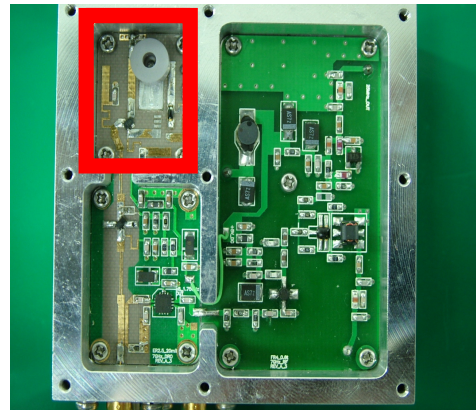


그림 10. 제작된 유전체 공진 발진기
Fig. 10. Fabricated DRO

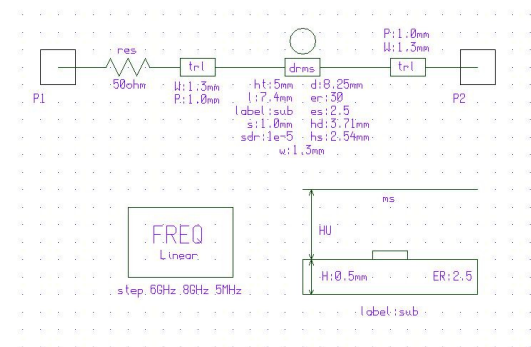


그림 8. 유전체 공진기의 회로도
Fig. 8. Schematic of dielectric resonator

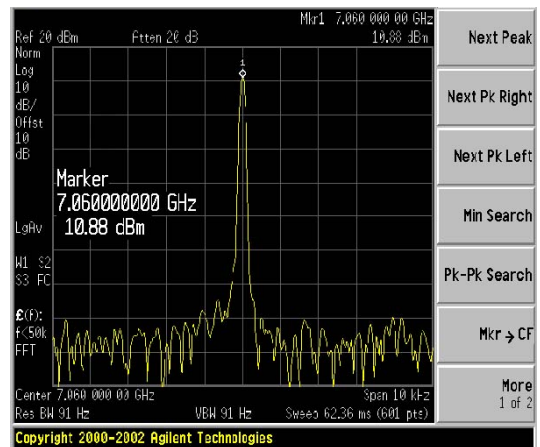


그림 11. PLDRO의 출력전력
Fig. 11. Output power of PLDRO

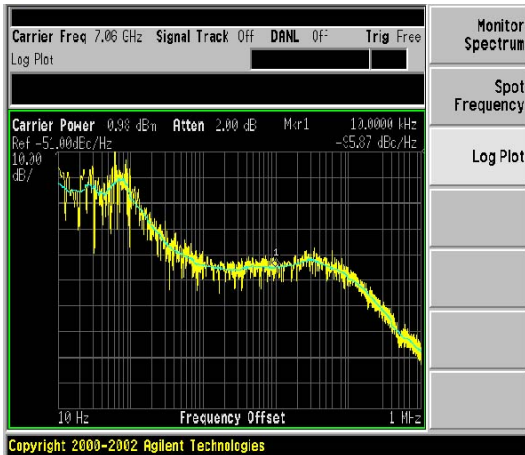


그림 12. 위상잡음
Fig. 12. Phase Noise

V. 결 론

본 논문은 M/W 중계기용 PLDRO를 설계하기 위해 유전체 공진기를 모델링하여 VCDRO의 설계를 모의실험 결과와 비교하면서 설계하였으며, Sampling Phase Detector (SPD)의 동작 특성을 이해하여 Loop Filter 및 loop 회로부를 설계·제작하였다. 측정 결과에서 보이는 것처럼 주파수 7.06GHz에서 출력 전력 +10.88 dBm과 offset 주파수 10 kHz에서 위상잡음 -95.87 dBc/Hz를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과는 M/W 중계기용 PLDRO로의 requirement를 만족하는 것으로 실제 M/W 중계 시스템에 적용 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 권한국, “유전체 공진기를 이용한 전압 제어 발진기의 설계 및 제작”, 석사학위논문, 충남대학교, 1998.
- [2] 황선화, “유전체 공진기를 이용한 마이크로파 발진기 설계에 대한 연구”, 석사학위논문, 조선대학교, 2000.
- [3] D. Kajfez and Pierre Guillon, DIELECTRIC RESONATORS : Artech House, 1986.
- [4] R. K. Mongia, “Resonant Frequency of Cylindrical Dielectric Resonator Placed in an MIC Environment”, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, MTT-38, 802-804, Jun 1990.
- [5] Guillermo Gonzalez, “Microwave Transistor

Amplifiers Analysis and Design”, Prentice Hall, 1997.

- [6] Robert Soarse, “GaAs MESFET circuit design”, Artech House, 1998.
- [7] George D. Vendelin, Anthony M. Pavio, “Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques”, Jhon Wiley & Sons, 1990.
- [8] J. Anastassiades, “Solid-state Microwave Generation”, Champman & Hall, 1992.

송 윤 원 (Yun-Won Song)

정회원



1983년 제주대학교 통신공학과 졸업
1985년 인하대학교 전자공학과 (석사)
1997년 2월 인하대학교 전자 공학과 (박사)
1992년 3월~현재 재능대학 정보통신과 교수

<관심분야> 광통신, 광집적회로

윤 현 민 (Hyun-min Yun)

정회원



1986년 원광대학교 전자공학과 졸업
1988년 인하대학교 대학원 전자공학과(석사)
2006년 2월 인하대학교 전자 공학과(박사)
1988년 1월~1991년 2월 LG반도체연구소 근무

1991년 3월~현재 재능대학 정보통신계열 교수

<관심분야> 반도체소자 및 VLSI회로설계