

논문 2003-12-4-06

**마이크로파 레이더 센서 응용을 위한 발진기 설계 및 제작**

김강욱

**Implementation of A Dielectric-Resonator Oscillator for the Microwave Radar Sensor Applications**

Kang Wook Kim

**요 약**

최근 적외선이나 초음파, 전자기파 등을 이용해 자연의 신호를 검출해 내는 센서들이 여러 가지 응용분야에서 널리 사용되고 있다. 더욱이 어떤 대상물이 가지고 있는 정보를 감지하는 고성능의 단일 센서뿐만 아니라 이를 시스템적으로 개발하고 응용하는 것의 필요성도 높아져 왔다. 본 논문에서는 마이크로파를 이용한 레이더 센서 시스템을 설명하였고, 그 중 CW (Continuous Wave) 도플러 레이더를 이용한 마이크로파 센서 시스템의 동작 및 응용을 살펴보았다. 또한 이러한 시스템에 사용될 수 있는 고안정 주파수원으로 유전체 공진 발진기를 설계·제작 하여 상용 시스템으로의 적용 가능성을 보였다. 제작된 유전체 공진 발진기는 12.67 GHz에서 동작하고, 출력전력이 +5.33 dBm, 위상잡음은 100 kHz 오프셋주파수에서 -108.5 dBc/Hz를 얻었다.

**Abstract**

Recently, sensors which use the infrared light, supersonic waves, and electromagnetic waves have been used for many applications to detect information of the object. For these sensors, the accompanying system which utilizes the sensor should be systematically developed. In this paper, a general microwave radar sensor system is briefly described, and then basic applications of a CW doppler radar sensor system are introduced. For the CW doppler radar sensor applications, a highly-stable, low-cost Dielectric Resonator Oscillator (DRO) has also been designed and implemented, which can be used for commercial microwave sensor systems. The implemented DRO has output power of +5.33 dBm at 12.67 GHz and phase noise of -108.5 dBc/Hz at the 100 kHz offset frequency.

**Key Words** : microwave, radar, sensor, dielectric resonator oscillator

**1. 서 론**

일반적인 센서는 감지하는 대상에 따라 여러 가지 종류로 분류할 수 있다. 기존의 센서는 인간이 감각으로 느낄 수 있는 시각, 미각, 후각과 같은 인식이나 행동 측면에서의 감각기능에 의존

하는 아주 기본적인 센서를 주로 다루었으나, 최근 들어서는 적외선이나 초음파, 전자기파 등을 이용해 신호를 검출해 내는 시스템들이 많이 선보이고 있다.

이러한 센서들은 어떤 대상물이 가지고 있는 정보를 감지하는 고성능의 단일 센서의 기능뿐만 아니라, 시각, 미각, 후각과 같은 생물기능까지 접목시키기 위하여, 시스템적으로 개발하고 응용하는 것이 필요하게 되었다. 그 중의 하나가 마이크로파 센서 시스템이다.<sup>(1)</sup>

대부분의 마이크로파 센서 시스템은 C-band (4-8 GHz), X-band (8-12 GHz), Ku-

경북대학교 전자 전기 컴퓨터 학부 (School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

<접수일자 : 2003년 5월 30일>

band (12-18 GHz) 에서 주로 사용 되고 있다. 지금까지의 마이크로파 센서 시스템은 손실이 많으며, 그 부품이 고가인 단점으로 인하여 주로 군사, 우주 및 위성 통신 시스템 (DBS), 과학 기술 응용분야의 극히 일부 제한된 분야에서만 이용되어 왔었다. 그러나 최근 전자재료 기술 및 고주파 회로 설계 기술의 발달과 함께 그 생산 가격이 낮아지면서 상용적인 용도로서도 많이 사용되어 있고, 이로 인해 마이크로파 센서 시스템의 요구가 증가하고 있는 추세이다.

본 논문에서는 이러한 마이크로파 주파수를 이용한 대표적인 레이더 센서 시스템중의 하나인 CW (Continuous Wave) 도플러 레이더의 동작원리 및 그 응용 분야들을 설명하였다. 이러한 CW 도플러 레이더는 안정된 주파수원이 있어야 대상의 움직임을 정확히 파악할 수 있다. 따라서 이 논문에서는 이러한 마이크로파 도플러 레이더를 이용한 센서 시스템에 쓰일 수 있는 안정적인 발진기로서, 온도 및 주파수 안정성이 뛰어난 유전체 공진 발진기 (Dielectric Resonator Oscillator - DRO)를 설계·제작 하였다. 그 결과 12.67 GHz의 마이크로파 대역에서 +5.33 dBm의 출력 전력과 100 kHz 오프셋 주파수에서 -108.3 dBc/Hz의 비교적 우수한 잡음 특성을 나타내어 상용 마이크로파 도플러 레이더 센서 모듈(module)의 주파수원으로 사용되어질 수 있음을 보였다.

## II. CW (Continuous Wave) 도플러 레이더(Doppler Radar)

일반적인 마이크로파 센서 시스템은 측정하고자 하는 대상으로부터 정보를 추출하는 안테나부와 추출된 미세한 정보를 전기 신호로 변환·증폭하고, 잡음을 줄이는 기능의 신호처리부, 데이터를 기억장치에 기억시키고 표시하는 출력부로 구성되어진다(그림 1). 또한 대상을 제어하기 위한 귀환(feedback) 기술도 필요하다.<sup>(1)</sup>

이러한 센서 시스템은 그 구현의 특성에 따라 능동형 시스템과 수동형 시스템으로 크게 나눌 수 있다. 수동형 시스템은 수동 라디오미터 (radiometer) 등과 같이 구조가 간단하고 소비 전력이 적은 전파 수신기 등을 말하며, 대기 관측 시스템, 영상 및 의료 관측 시스템, 물체 탐지

센서 등이 이에 속한다. 이와는 달리 레이더와 같은 능동 시스템은 전자파를 송신하고 그 반사파를 수신하는 송수신 시스템을 갖춘 것으로 목표물 탐지 센서와 일반적인 레이더 및 통신 시스템등이 능동형 센서 시스템에 속한다.<sup>(1)</sup>

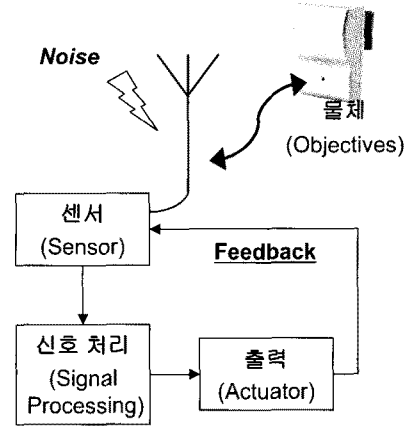


그림 1. 센서 응용시스템의 구조.

Fig. 1. The structure of applied sensor system.

레이더 (radar)는 전자파를 통하여 목표물의 거리 및 단면적, 이동 속도와 방향등을 탐지하는데 사용되는 시스템이다. 레이더는 크게 펄스레이더 (pulse radar)와 CW 레이더로 구분된다. CW 도플러 레이더 센서는 도플러 원리 (Doppler principle)를 이용하여 목표물을 감지해 내는 시스템으로 간단하고 변조가 필요 없는 구조이므로 저가의 상용 감지기로 많이 사용되어 지고 있다. 그림 2는 이러한 CW 도플러 레이더의 블록도를 나타내었다.<sup>(2)</sup>

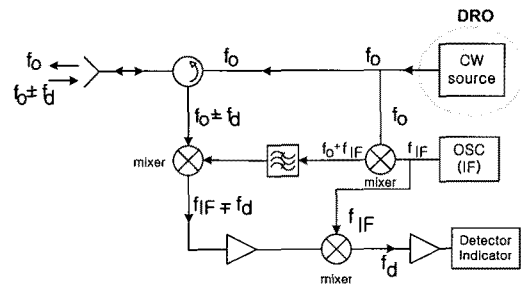


그림 2. CW 도플러 레이더의 블록도

Fig. 2. The Block diagram of CW doppler radar.

위의 그림과 같은 CW 도플러 레이더의 기본

동작 원리는 다음과 같다. 신호 발생기에서 발생된 신호는( $f_0$ ) 안테나를 통해 방사 된다. 송신 안테나를 통해 송신된 전자파의 주파수가 움직이는 물체에 의해 반사되어 도플러 천이 현상으로 주파수가  $fd$  변화되어 되돌아온다. 되돌아온 신호는 송신된 주파수 성분과 혼합과정을 거쳐 고유의 천이된 주파수  $fd$  를 얻게 되어 표시장치를 통해 표시하거나 검출된 신호는 저주파 전압을 발생시켜 외부의 회로를 제어하게 한다. 이때 서큘레이터 (circulator)를 이용하면 하나의 안테나로 송?수신 모두 가능하게 시스템을 구현할 수 있다. 또한 송신?수신 두개의 안테나로 분리하여 이용할 수도 있다. 이때  $fd$  의 값은 1 MHz 이하이므로 심한  $1/f$  노이즈를 가질 수 있다. 따라서 감도 (sensitivity) 를 높이기 위해 중간 주파수 블록이 사용되었다.<sup>(2)(3)</sup>

이때 사용되는 안테나는 집적화를 위하여 소형의 마이크로스트립 안테나로 구현 하게 되며, 어느 특정 방향을 감지할 수 있도록 설계 되어야 한다.

이러한 도플러 레이더의 특성을 이용한 마이크로파 센서의 용도 중 대표적인 응용 분야에는 군사용, 원격 탐사 및 기상 관측시스템, 차량 충돌 방지 센서 시스템, 경비 및 보안 시스템, 마이크로파 I.D 시스템, 이미지 검출 시스템 등이 있다. 또한 최근에는 장애자를 위한 스피치 분석시스템이나 radar mouse 등에서의 응용을 위해 연구되고 있다. 최근에는 여러 가지 센서를 복합적으로 접합시킨 형태의 보안 및 안전 센서 시스템이 등장하고 있으며, 기존의 하드웨어적인 측면의 접근에서 더 나아가 소프트웨어적으로 여러 가지 성능을 제어할 수 있는 센서의 개발도 급성장 하고 있다.

### III. 마이크로파 발진기 이론

일반적인 마이크로파 대역의 발진기는 요구하는 주파수와 온도에서 안정한 동작을 가져야 한다. 대부분의 발진기는 능동 소자의 불안정한 특성을 이용하여 DC 전력을 고주파 신호의 전력으로 변환 시켜 안정된 정현파를 얻는 회로이다. 이러한 발진을 위해서는 능동 소자는 반드시 부정저항(negative resistance)을 가져야 한다.

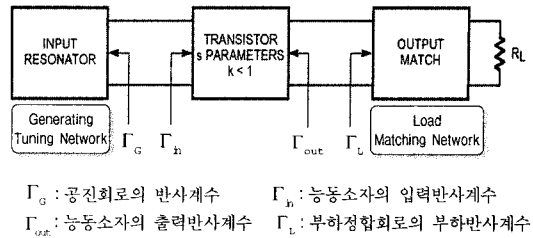


그림 3. 능동소자를 이용한 2-port 발진기 모델.  
Fig. 3. Two-port oscillator model.

그림 3은 일반적인 발진기의 모델을 나타내었다. 발진을 위해서는 안정화 계수  $K$ 가 1보다 항상 작아야 하며 아래와 같은 초기 발진 조건과 정상상태의 발진 조건을 만족하여야 한다.

$$|\Gamma_G| \cdot |\Gamma_{in}| > 1 \quad \angle \Gamma_G + \angle \Gamma_{in} = 0$$

$$|\Gamma_G| \cdot |\Gamma_{in}| = 1 \quad \angle \Gamma_G + \angle \Gamma_{in} = 0$$

입력 정합회로는  $|\Gamma_{out}| > 1$  이 되도록 설계하여야 하며, 발진 주파수는 입력 공진기(input resonator)에서 결정하게 된다. 출력 정합 회로는 부하에 전달되는 전력을 최대가 되도록 설계하여야 한다.<sup>(4)</sup>

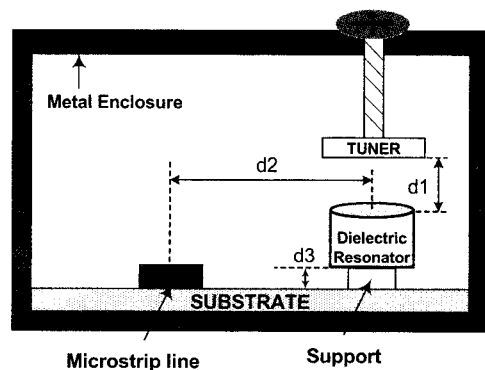


그림 4. 유전체 공진 발진기의 구성도.  
Fig. 4. The Structure of dielectric resonator oscillator.

유전체 공진기는 일반적으로 20~40의 비교적 높은 상대 유전율을 가지는 유전체를 사용하기

때문에, 기존의 공진기에 비해 작고 가벼운 공진기를 제작할 수 있다. 또한, 온도 안정성이 뛰어나고, 높은 Q(quality factor)를 가지기 때문에 마이크로파 대역의 집적회로의 발진기에 널리 사용되고 있다.<sup>[4]</sup>

유전체 공진 발진기의 구성은 그림 4와 같이 전송선, 주파수를 동조하는 튜닝 스크류, 그리고 지지대(support)로 구성된다.

유전체 공진기를 전송선과 일정 거리에 위치시키면 전송선과 자기적인 결합이 일어나게 되고, 그때 유전체 공진기는 R-L-C 병렬 대역저지 필터와 같은 특성을 가져 높은 Q값을 가지는 공진기로 사용 가능하다. 그림 4에서 d2와 d3가 작아지면 결합도가 증가하여 출력 전력이 증가하며, Q값이 작아져, 위상 잡음 특성이 악화 된다. 반대로 결합 계수가 낮아지면 위상잡음 특성은 좋아지나 출력 파위가 감소하고 발진이 일어나지 않는 결과를 초래한다. d1은 그 간격이 좁을수록 주파수가 높게 튜닝 된다. 공진기 선정에 있어서는 불요특성을 막기 위해 직경 대 높이의 비가 2.2 ~ 3인 공진기를 선정하는 것이 좋다. 또한 설계에 있어서 유전체 공진기는 제작 환경에 따라 많은 변화를 가지는 부품이므로 제조사의 등가모델을 가지고 직접 모델링 할 수도 있으나, 직접 측정을 통해 최적의 설계가 가능하다.<sup>[5]</sup>

### IV. 12.67 GHz 마이크로파 센서용 유전체 공진 발진기의 제작

공진기 설계에 있어서는 전송선과 유전체 사이의 거리를 적절히 조절하여 충분한 전력을 얻는 동시에 부하 Q 값을 높게 하여 위상 잡음 특성을 최적화해야 한다. 본 논문에서는 이러한 특성들을 얻기 위하여 직렬 공진형 유전체 공진기 형태를 사용하였다.

전송선과 공진기 사이의 거리에 따른 반사계수와 QL 값은 사용 수식 계산 Tool인 MathCAD를 이용하여 도출 하였고,<sup>[6][7]</sup> 이를 통해 추출된 반사계수는 측정을 통하여 확인하였다. 이를 토대로 최적화 시킨 병렬 공진기에 사용되는 소자들의 값은 R이 207 Ω, L값이 1.54 pH, 그리고 C값은 102.4 pF 를 각각 얻었고, 이 값을 토대로 전체 발진기 회로를 시뮬레이션

하였다. 그리고 그 때의 공진기 외곽과 전송선 사이의 거리는 약 30 mil 이었다. 또한 그림 5의 나머지 전송선들의 길이 즉, 발진 주파수를 선정하는 전송선 길이 A와 최적의 부성 저항을 얻는 B, 그리고 최대 전력을 얻기 위한 길이 C와 D를 구하면 유전체 공진 발진기의 설계가 완성된다.<sup>[8]</sup> 그림 5은 위의 설계된 값으로부터 구한 발진기의 layout이며, 표 1은 전체 유전체 공진 발진기 설계의 제원을 나타내었다.

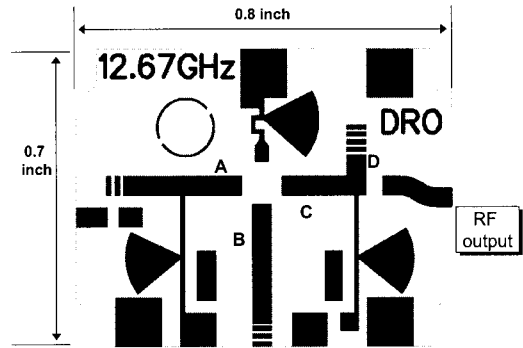


그림 5. 발진기의 패턴도.

Fig. 5. The layout of oscillator.

표 1. 유전체 공진 발진기의 제원.

Table 1. The specifications of oscillator.

PCB	Rogers 4003	Er = 3.38, H = 20 mil T = 0.669(Cu) Tan δ = 0.0027
oscillator	SG-Tech	Diameter : 188 mil Thickness : 39 mil
	PN : SG-45R12667 T30D2-48R15 Support	ε <sub>r</sub> : 45 Qu > 3000 Temp.Coefficient : 1 ppm/°C Diameter : 126 × 59 mil
Active device	NEC NE325S01	N-channel HJ-FET

제작된 발진기는 그림 6에서와 같이 전체 크기는 1 × 0.8 inch 의 소형이며, 발진기의 전원은 V<sub>ds</sub>=1.6 V, I<sub>d</sub>=14 mA로 저전력 발진기를 구현하였다.

제작된 발진기의 주파수 특성은 Agilent사의 8563E spectrum analyzer를 이용하여 측정하였다. 제2 고조파 억압 특성은 그림 7에서와 같이 -25 dBc의 비교적 좋은 harmonic 억압 특성을 보였으며, 출력 스펙트럼은 그림 8에서와

같이 span이 1 MHz 일 때 중심 주파수에서 +5.33 dBm의 전력을 얻었다.

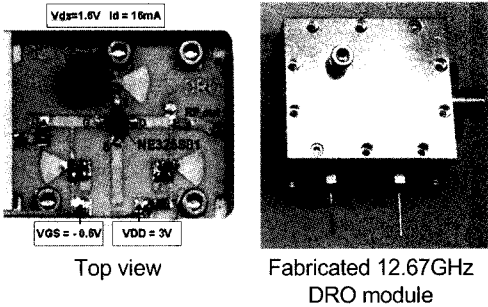


그림 6. 제작된 12.67 GHz DRO 모듈.  
Fig. 6. Fabricated 12.67 GHz DRO module.

위상 잡음 특성은 그림 9에서와 같이 옴셋 주파수 100 kHz에서 -108.5 dBc/Hz의 비교적 우수한 특성을 잡음 특성을 나타내었다.

따라서 제작된 유전체 공진 발진기는 저가의 낮은 전력 소모와 높은 주파수 안정 특성을 가져 상용 마이크로파 도플러 센서의 주파수원으로 사용할 수 있다. 더 큰 전력이 필요할 경우, 이 유전체 공진기의 출력단에 증폭기를 달아서 출력을 높일 수 있다. 출력단의 증폭기를 사용함으로써 발진기의 pulling 현상을 줄일 수 있다.

## V. 결론

최근 기존의 감각 센서의 개발과 함께 여러가지 센서의 기능을 갖춘 응용 센서 시스템이 등장하고 있다. 특히 안전 시스템, 보안 시스템 및 현대의 생체분석에 적용 가능한 마이크로파 센서 시스템의 성장이 두드러진다. 본 논문에서는 마이크로파 대역의 주파수를 이용하는 CW 도플러 레이더를 이용한 센서 시스템을 간략하게 소개하였고, 마이크로파 센서의 주파수원으로 사용 가능한 고안정 상용 유전체 공진 발진기를 설계·제작하였다. 마이크로파 센서의 응용 분야는 앞으로 큰 성장을 나타낼 것으로 보이며, 마이크로파를 이용하는 고성능의 다기능 상용 센서 시스템의 양산은 지속적으로 성장할 것으로 예상된다.

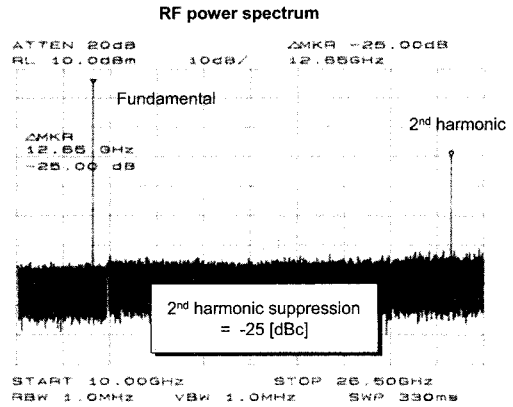


그림 7. DRO의 2차 고조파 억압 특성.  
Fig. 7. The characteristic of 2nd harmonic suppression.

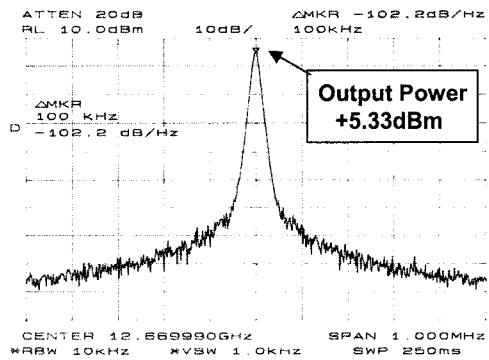


그림 8. DRO의 출력 스펙트럼.  
Fig. 8. Output spectrum of DRO.

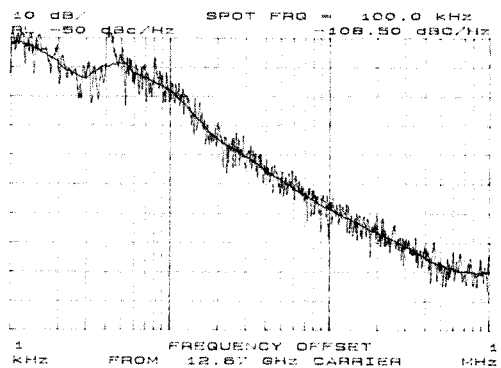


그림 9. DRO의 위상잡음 특성.  
Fig. 9. The characteristics of phase noise of DRO.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 경북대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

- [1] 김용훈, 강금실, “마이크로웨이브, 밀리미터웨이브 센서시스템”, 전자공학학회지, 제 28권, 제10호, pp. 1095-1105
- [2] Kai Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, John Wiley & Sons, pp. 212~222, 2000.
- [3] H. Ruser, V. Magoru, “Sweep linearization of a microwave FMCW doppler sensor by an ultrasonic reference”, *IEEE frequency control symposium.*, pp. 1~6, 1997.
- [4] 정재권, 박승욱, 김인석, “K 대역 Push-Push 유전체 공진기 발진기 설계 및 제작”, *한국 전자파학회논문집*, 제 13권 7호, pp. 613~623, 2002.
- [5] 조인귀, 정재호, 최현철, “소신호 산란계수를 이용한 3.2GHz 저잡음 유전체 공진 발진기 설계 및 제작”, *한국 전자파학회논문집*, 제 10권 2호, pp. 187~195, 1999.
- [6] David M. Pozar, *Microwave and RF Wireless systems*, John Wiley & Sons, 2001.
- [7] George D. Vendelin, Anthony M. Pavio, *Microwave Circuit Design using Linear and Nonlinear Techniques*, John Wiley & Sons, 1990.

---

## 著 者 紹 介

---

### 김강욱(金岡昱)

1984년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)  
 1996년 University of california, LA(박사)  
 1996.7-1998.8 University of california, LA  
 1998.8-1999.9 P-Com, INC.  
 1999.10-2001.8 Narda DBS Microwave  
 2001.8-현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수