

論文95-32A-2-5

# 유전체 공진기를 이용한 MIC Gunn 발진기의 설계

## (Design of MIC Gunn Oscillator Using a Dielectric Resonator)

鄭宗哲\*, 全聖根\*\*, 朴承模\*, 李文秀\*\*\*

(Jong Chul Jung, Seong Keun Jeon, Seong Mo Park, and Mun Soo Lee)

### 요약

유전체 공진기를 이용하여 X band 에서 높은 주파수 안정도를 갖는 MIC Gunn 발진기를 제작했다. 변분법에 의해 공진주파수를 구하여 발진특성에 영향을 미치는 인자들에 대해 고찰했다. 이들 인자들을 최적화하여 발진주파수 10 GHz에서 효율이 5-7 %이고 출력이 250 mW인 안정된 발진기를 구현할 수 있었다. 온도변화가 0-70 °C일때 주파수 변화율은 70 KHz/°C이고 출력전력의 변화는 3 dB이내로 양호한 특성을 얻었다.

### Abstract

An X-band highly frequency-stabilized MIC Gunn oscillator using a dielectric resonator is fabricated. Resonant frequency is obtained by a variational method and it is studied how the oscillating characteristics can be affected by several factors. By the optimizing these factors, we can realize the stabilized oscillator output of 250 mW with 5-7 percent efficiency at 10 GHz. It has the favorable characteristics with frequency variation of 70 KHz/°C and the output variation within 3 dB over the temperature range from 0 to 70 °C.

### I. 서론

마이크로파 집적회로(MIC) 기술이 출현됨에 따라 마이크로파 회로소자의 소형화, 고성능화, 저가격화가

요구되고 있다. 이러한 추세에 따라 크고 값비싼 도파관이나 동축선로를 사용한 마이크로파 부품이 마이크로 스트립, 슬롯(Slot), 코플래너(Coplanar)와 같은 집적화가 가능한 평면형 전송선로를 사용한 마이크로파 부품으로 대체되고 있다. 전송선로, 저항, 커패시터, 인덕터와 같은 수동소자와 다이오드, 트랜지스터, FET, HEMT등의 능동소자를 수 mm 정도의 한 칩 상에 동시에 집적화할 수 있는 MIC 및 MMIC 기술이 급속도로 발전되고 있다.

그러나 여파기와 발진기 등과 같은 마이크로파 회로를 MIC화하기 위해서는 유전율이 높고 손실이 적은 공진기를 사용해야 하고, 높은 주파수에서도 안정된 동작을 할 수 있어야 한다.<sup>1)</sup>

유전체 공진기는 공동 공진기보다 크기가 작아 마이

\* 正會員, 國防研究所

(Agency for defense Development)

\*\* 正會員, 統營水産專門大學 通信科

(Dept. of Telecomm., Tongyeong Fisheries Junior College)

\*\*\* 正會員, 慶尙大學校 自動化 및 컴퓨터 應用技術 研究所

(Dept. of Research Institute of Automation and computer Engineering, Gyeongsang Univ.)

接受日字 : 1994年 5月 20日

크로와 집적회로나 평면형 전송선로와의 결합이 용이할 뿐 아니라 Q값이 매우 높고 조정용 금속판을 이용하여 공진주파수를 가변시킬 수 있다.

일반적으로 Gunn이나 IMPATT 다이오드를 이용한 초고주파 대역의 반도체 발진기는 취급이 간단하고 잡음특성이 좋기 때문에 비교적 낮은 전력으로 운용되는 근거리용 무선통신이나 레이더 분야 등에 주로 사용되고 있다.<sup>[2]</sup>

Okean 등의 마이크로 스트립 공진기는 Gunn 다이오드의 온도 안정성과 공진기의 낮은 Q 때문에 주파수 특성에 문제가 있었다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 Takayama 등에 의해 발표된 유전체 공진기<sup>[4,5,6]</sup>와 Gunn 다이오드를 이용하여 유전체 공진기의 높은 Q에 의해 발진특성이 안정되고 저손실 특성을 갖는 MIC 발진기를 제작하였다. 이 발진기는 유전체 공진기와 마이크로 스트립 선로간의 거리(S), 공진기의 중심위치와 Gunn 다이오드와의 거리(l), 공진기와 조정 금속판간의 공극(d) 및 Gunn 다이오드의 구동전압과 같은 회로 파라미터에 의해 발진 특성을 조절할 수 있음을 확인하고 온도 변화에 대한 주파수 안정도에 영향을 주는 인자들의 최적조건을 구하여 효율이 높고, 최대 출력을 갖는 안정된 발진기를 실현하였다.

## II. 이론 및 설계

### 1. DRO의 구성 및 동작원리

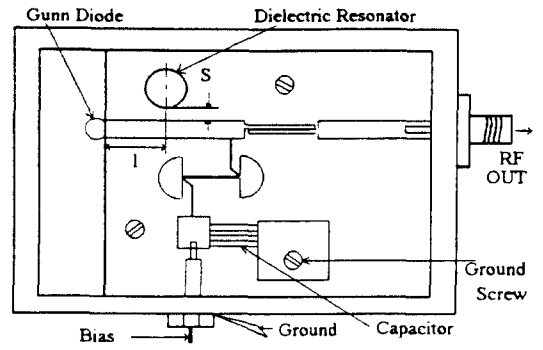
DRO(Dielectric Resonator Oscillator)의 구조 및 등가회로는 그림 1과 같다.

다이오드의 부성저항 특성을 이용하여 안정된 발진 회로를 구성하기 위하여 본 연구에서는 유전체 공진기(dielectric resonator)를 이용하였다.

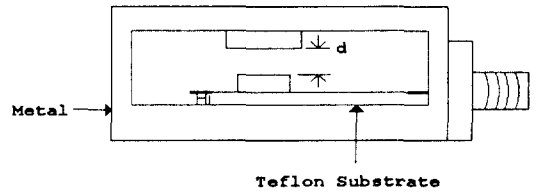
Gunn 다이오드로부터 50 Ω의 마이크로 스트립 전송선로를 따라 발진주파수의 1/4 파장이 되는 위치에 유전체 공진기를 두어 전송선로와 전자파 결합을 시킴으로서 원하는 주파수에서 매우 높은 Q값(Quality factor)을 얻도록 하였다. 그림 1에서 공진조건을 안정시킬 수 있는 방법 중의 하나는 유전체 공진기의 위치와 공간상태를 달리하여 공진조건을 변화시키는 것이며, 또 다른 방법은 Gunn다이오드의 구동전원을 조정하여 다이오드의 부성저항을 변화시키는 방법이다.

유전체 공진기는 유전율이 크기 때문에 높은 Q값을 갖게 되므로 전송선로와 결합을 할 때 안정된 공진조건이 이루어진다. 이때 간격 S에 따라 결합계수(coupling coefficient)<sup>[7]</sup>가 달라지게 되어 발진조건

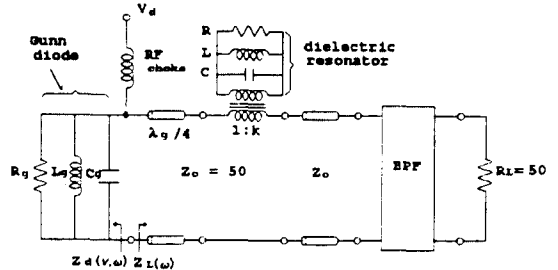
이 변화하므로 공진주파수가 변하게 된다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. DRO의 구조

(a) 배치도 (b) 단면도 (c) 등가회로

Fig. 1. Structure of the DRO.

(a) Layout (b) Cross-sectional view  
(c) Equivalent circuit

또한 다이오드와 유전체 공진기 사이의 거리  $l$ 의 변화에 따라 공진주파수가 변화하게 된다. 특히 공진 주파수를 광범위하게 조절할 수 있는 방법은 유전체 공진기와 조정 금속판 간의 공극  $d$ 를 조정하므로써 Q값을 변화시켜 줄 수 있으므로 대부분의 DRO의 주파수 조정방법으로 사용된다. 또 구동전원에 의해 다이오드

의 부정저항 특성이 변화되는 것을 이용하여 구동전압을 조정하는 방법이 있다. 이때 다이오드의 임피던스 변화는 발진주파수에 큰 영향은 주지 않지만 Gunn 다이오드의 최대 출력이 제한되기 때문에 효율과 밀접한 관계를 갖는다.

이러한 변수들을 활용하여 본 논문에서는, 효율이 높고 최대 출력전력을 갖는 안정된 발진기를 실현하기 위해 먼저 원통형 유전체 공진기의 공진주파수를 계산하고 길이 l를 결정하여 공진조건이 만족되도록 하였으며, S와 d는 실험을 통하여 최적치를 찾았다.

2. 원통형 유전체 공진기의 공진 주파수 해석

공진기의 특성을 정확히 해석하기 위해서는 그림 1과 동일한 구조를 경계조건으로 적용하여야 하지만 매우 복잡하므로 약간의 오차는 실험을 통하여 간단히 해결할 수 있기 때문에, 여기서는 유전체 공진기 자체만의 공진 주파수를 계산하였다.

1) 자장벽으로 가정(Magnetic wall approximation)한 해석

원통형 유전체 공진기에 존재하는 기본모드(Dominant Mode)는 TE<sub>01δ</sub>이며 자유공간에서는 그림 2(a)와 같다. 이때의 자장은 실질적으로 이론해석이 쉬운 그림 2(b)로 가정할 수 있다.

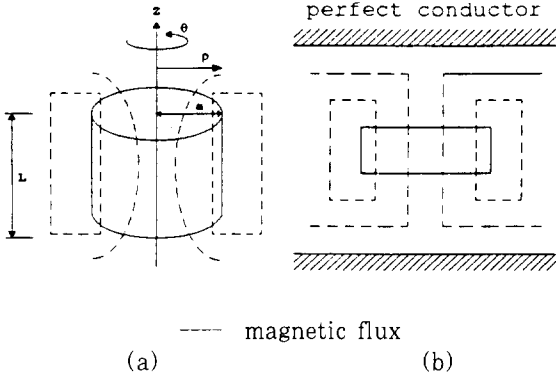


그림 2. 자장벽으로 가정할 때 유전체공진기에 존재하는 TE<sub>01δ</sub> Mode

- (a) 자유공간 일 때
- (b) 자장벽으로 가정할 때

Fig. 2. Magnetic flux for TE<sub>01δ</sub> mode of dielectric resonator.

- (a) In free space
- (b) Near the magnetic wall

따라서 유전체와 외부 공간이 접하는 부분을 자계벽이라 할 경우 공진 주파수는 다음과 같이 표시 된다.<sup>[8]</sup>

$$K_z \tan(K_z L/2) = \alpha \tag{1a}$$

$$J_0(K_\rho a) = 0 \tag{1b}$$

$$K_\rho^2 - \alpha^2 = K_0^2, \quad K_0 \omega_0 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \tag{1c}$$

여기에서  $\alpha$ 는 자장이 유전체 내에서 공간으로 향할 때 유전체 밖에서의 감쇄정수(attenuation factor)를 나타내며,  $K_z$ 와  $K_\rho$ 는 각각 유전체 내에서 z와  $\rho$ 방향의 파수(wave number)이다. 식(1a,b,c)을 만족하는  $\omega_0$ 가 바로 유전체 공진기의 공진주파수를 의미하며, 이 값은 유전체 공진기의 유전율이 자유공간보다 클수록 잘 일치한다.

2) 변분법(Variational Method)으로 해석  
유전체 공진기의 유전율이 낮을수록 자장벽으로 가정한 방법은 오차가 증가하게 되므로, 그림 3과 같은 자유공간에 유전체가 존재할 때의 그린함수 해를 영역 I의 유전체 내에서  $\phi_{Id}$ , 유전체 밖에서는  $\phi_{Ia}$ 라 할 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

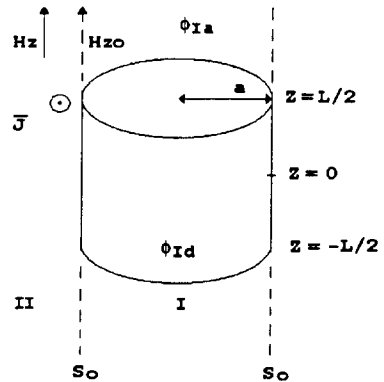


그림 3. 3자유공간에서 자장의 경계

Fig. 3. A boundary of the magnetic flux in free space.

$$\phi_{Id} = J_0(K_\rho \rho) \cos(K_z Z) \tag{2a}$$

$$\phi_{Ia} = \exp(\alpha L/2) \cos(K_z L/2) J_0(K_\rho \rho) \exp(-\alpha |Z|) \tag{2b}$$

식(2a,b)를 만족하는 공진주파수  $\omega_0'$ 는 앞의 자장벽으로 가정했을 때의 주파수인  $\omega_0$ 와의 주파수 차를  $\Delta\omega$ 라 할 때 다음의 관계를 갖는다.

$$\omega_0' = \omega_0 + \Delta\omega \tag{3}$$

$\omega_0$ 에 대한  $\Delta\omega$ 의 비율  $\Delta\omega/\omega_0$ 는 다음과 같다.<sup>[9,10]</sup>

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = F(K_z, \alpha, K_0, L, a, \epsilon_r)$$

$$H = \frac{-2(K'_2 + K'_a)\eta \int_0^\infty (K_0'^2 - K^2) H A^2 dK}{K'_2 K_0'^2 \epsilon \eta \left[ \zeta + \frac{\sin(2K_2 \zeta)}{2K_2} + \frac{\cos^2(K_2 \zeta)}{K_a} \right]} \quad (4a)$$

여기에서

$$A = \frac{K'_a \sin(K'_2) \cos(K'_2 \zeta)}{K'_2 - K^2} + \frac{K'_a \cos(K'_2) \cos(K'_2 \zeta)}{K'_2 + K^2} - K \sin(K'_2) \cos(K'_2 \zeta) \frac{K'_2 + K^2}{(K'_2 - K^2)(K'_a^2 + K^2)} \quad (4b)$$

이며,  $K'_2 = K_2 a$ ,  $K'_a = K_a a$ ,  $K_0' = K_0 a$ ,  $K'_s = K_s a$ ,  $\zeta = L/2a$  이고  $H$ 는 자계이고  $\eta$ 는 자유공간 임피던스이다.

Alpha사의 D8512타입 유전체에 대해 공진주파수를 계산한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 유전체공진기의 공진주파수  $\epsilon_r = 38.6 \pm 1.5$  % Alpha Trans-Tech, INC. No 49978, Type D8512

Table 1. Resonant frequencies of dielectric resonators.

L (mm)	2a (mm)	Resonant Frequency (GHz)	
		Magnetic Wall Approx.	Variational Method
2.54	6.35	7.73	8.40
2.24	5.59	8.78	9.54
1.88	4.75	10.82	11.75
1.27	3.05	15.92	17.30
1.14	2.86	17.17	18.67
0.91	2.29	21.46	23.33
0.82	2.04	24.04	26.13
0.71	2.79	27.48	29.88
0.64	1.59	30.90	33.60
0.51	1.27	38.63	42.00

표 1에서 보면 자장벽으로 가정 했을 때 보다 변분법으로 계산 했을 때가 약 8.7% 높은 값을 나타내고 있다.

### 3. 부하 임피던스<sup>12)</sup>

그림 1에서 부하쪽을 등가회로로 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 정규화 부하 임피던스  $z_L$ 는 식 (5a)로 표시된다.

$$z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = 1 + \frac{R'/Z_0}{1 + j2Q_0 \delta} = 1 + \frac{2\rho'}{1 + j2Q_0 \delta}$$

$$= \frac{\rho + j2Q_0 \delta}{1 + j2Q_0 \delta} \quad (5a)$$

여기서  $\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$  (5b)

$$\rho = \frac{R'}{R_{external}} = \frac{R'}{2Z_0} \quad (5c)$$

$$\rho = 1 + \frac{R'}{Z_0} = 1 + \frac{K^2 R}{Z_0} \quad (5d)$$

이며,  $K$ 는 결합비이고,  $\rho'$ 는 결합계수(Coupling coefficient),  $\rho$ 는 공진주파수에서의 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)을 의미한다.

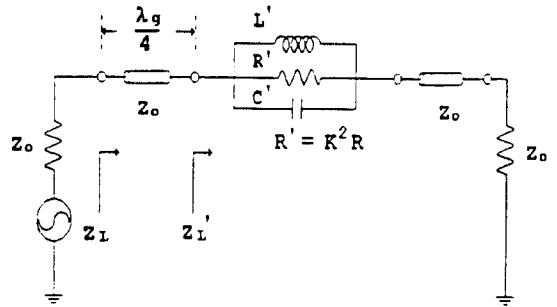


그림 4. 부하단의 등가회로

Fig. 4. Equivalent circuit of the load.

따라서 부하 임피던스  $z_L$ 은

$$z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{z_L' + j \tan \beta \ell}{1 + j z_L' \tan \beta \ell} \quad (6)$$

로 표현 되므로  $\ell$ 이  $\lambda g/4$  일때는 다음과 같다.

$$z_L = 1/z_L' = r_L + jx_L \quad (7a)$$

여기에서

$$r_L = 1 - \frac{(\rho - 1)\rho}{\rho^2 + (2Q_0 \delta)^2} \quad (7b)$$

$$x_L = \frac{(\rho - 1)2Q_0 \delta}{\rho^2 + (2Q_0 \delta)^2} \quad (7c)$$

이다. 이것을 주파수에 대해 그림으로 나타내면 그림 5와 같다.

### 4. 발진 조건

그림 1의 등가회로에서 Gunn 다이오드는 공진주파수 부근에서 부정저항(Negative Resistance)을 갖기

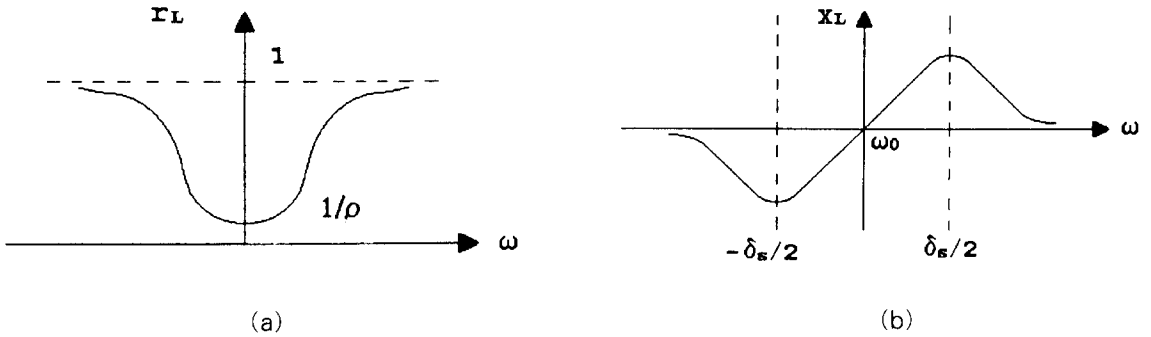


그림 5. 부하단의 임피던스  
 (a) 부하저항 (b) 부하리액턴스  
 Fig. 5. Load impedance.  
 (a) Load resistance (b) Load reactance

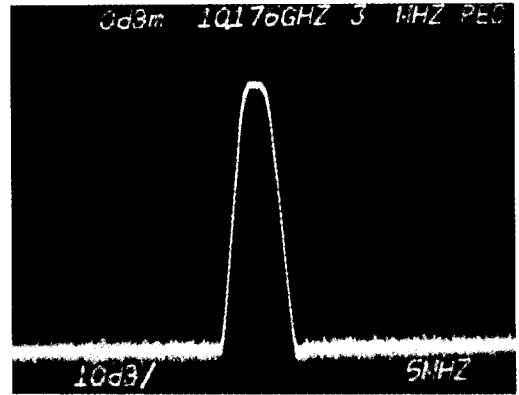
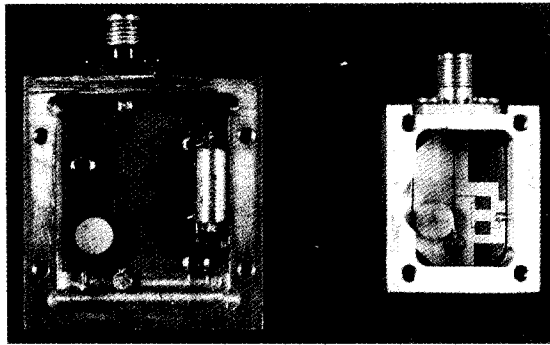


사진 1. 제작된 DRO와 측정된 스펙트럼  
 Photo.1. Fabricated DROs and measured spectrum.

때문에 부하 임피던스  $Z_L$ 과 다이오드의 임피던스  $Z_d$ 가 다음의 조건을 만족할 때 발진이 일어나게 된다.

$$Re[Z_d(V, \omega) + Z_L(\omega)] < 0 \quad (8a)$$

$$Im[Z_d(V, \omega) + Z_L(\omega)] = 0 \quad (8b)$$

여기서  $Z_d(V, \omega)$ 는 전압과 주파수에 따라 변화하는 값이며  $Z_L(\omega)$ 는 일반적으로 수동소자를 사용하므로 주파수에 의한 함수이다. 다이오드가 부성저항 특성을 갖는 구동전압  $V$ 에 대하여 식(8a,b)을 만족하는 부하 임피던스에서 공진이 일어나게 된다. 그러나 이 때의 공진주파수  $\omega_0$ 에서 식(8b)는 구동전압  $V$ 의 변화에 따라 만족되기 어려우므로 식(8a,b)을 안정된 발진조건이라 할 수 없다. 일반적으로  $Z_d(V, \omega)$ 의 변화는  $\omega_0$ 부근에서 거의 무시할 수 있으므로 다음의 발진조건이 필요하다. [11]

$$\left[ \frac{\partial r_d(V, \omega)}{\partial V} \Big|_{V=V_s} \cdot \frac{dx_L(\omega)}{d\omega} \Big|_{\omega=\omega_s} - \left[ \frac{\partial x_d(V, \omega)}{\partial V} \Big|_{V=V_s} \cdot \frac{dr_L(\omega)}{d\omega} \Big|_{\omega=\omega_s} \right] > 0 \quad (9)$$

그림 5에서 보면 공진주파수 부근에서 부하저항  $r$ 은 주파수에 대하여 변화가 거의 없으므로 식(9)의 오른쪽 항은 다음의 조건을 만족하게 된다.

$$\frac{dr_L(\omega)}{d\omega} = 0 \quad (10)$$

또한 다이오드의 임피던스  $Z_d(V, \omega)$ 는 구동전압이 변화할 때 부하에 비하여 변화폭이 매우 적으므로 식(9)의 오른쪽 항은 공진주파수 부근에서 무시할 수 있다. 한편 그림 5에서  $x_L$ 은 공진주파수  $\omega_0$ 에서 기울기가 양수이며, 다이오드의 부성저항  $r_d$ 는 Gunn 다이오드의 특성상 전압에 대한 기울기가 양수이다. 따라서 식(9)의 조건이 만족되므로 안정된 발진이 이루어진다.

### III. 실험 및 결과

#### 1. 제작 및 실험

제작에 사용된 마이크로 스트립 양면기판은 유전율이 2.45이고 두께가 30mil인 3M사의 Cu-Clad Lx타입이며, 유전체 공진기는 Alpha사의 유전율  $38.6 \pm 1.5\%$  인 D8512원통형 캔모양으로 지름이 5.59 mm, 높이가 2.24 mm, 온도계수는 3.5 ppm/°C인 제품이며, GaAs-Gunn다이오드는 Plessey사의 TEO-103P3이며, 케이스는 알루미늄 재질로 하였다.

실험에 사용된 장비는 TEK7L18 스펙트럼 분석기, HP436A 전력측정기, HP779D 20 dB Coupler 및 20 dB Coaxial 감쇄기 등이며 사진1은 제작된 DRO 중 대표적인 것과 측정된 스펙트럼을 나타낸 것이다.

#### 2. 결과 및 고찰

##### 1) 구동전압에 대한 발진 특성

DRO의 발진특성에 영향을 주는 요소는 그림 1에서 길이  $l, d$  및  $S$ 와 구동전원, 그리고 온도변화 등이다. 먼저 구동전원의 변화에 대한 발진주파수 특성은 그림 6과 같다. 여기서 사용된 유전체의 공진주파수는 표1과 같이 9.54 GHz로 계산되었다. 그러므로  $l$ 의 길이는 약 5.4 mm가 되도록 하였으며,  $d$ 는 4.35 mm이고,  $S$ 는 0 mm로 하였다.

그 결과 그림6(a)에서 구동전압이 10-20 V사이 일 때 발진이 일어나며, 공진주파수는 약 10.02-10.09

GHz로 계산치보다 약 5 % 높은 값으로서 그 이유는 유전체 공진기를 해석할 때 자유공간에 존재한다고 가정을 했기 때문이다. 그림1과 같은 상태의 경계조건으로 해석하면 더욱 정확한 일치를 얻을 수 있을 것이다.

출력전력은 10V일 때 최대로서 25 dBm( 330 mW)를 얻었으며, 구동전압이 높아질수록 그 값은 적어짐을 알 수 있다. 그 이유는 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 구동 전압이 증가할수록 공급전류는 낮아져서 부성저항 값이 점점 작아지게 된다. 따라서 전압이 10 V일때 부성저항이 가장 크므로 최대 출력이 되며 효율이 최대가 된다.

##### 2) $l$ 과 $d$ 의 변화에 대한 발진 특성

$l$  과  $d$ 의 변화는 결국 부하 임피던스의 변화를 의미하므로 공진주파수의 이동과 Q값이 변화하고 이때 유전체 공진기의 공진주파수에서 최대 Q값을 갖게 되고, 이때 출력 전력이 최대가 된다.

본 논문에서는 유전체 공진기에 의한 공진주파수를 공진기 자체의 값만을 계산하였기 때문에 이 공진기를 마이크로 스트립기판 위에 설치하면 공진주파수의 이동이 생기게 된다. 그림 7(a)에서 보면  $l$  이 약 5.2 mm일때 최대 전력을 나타내며, 그 이하에서는 출력전력은 높지만 실제 측정 결과 제 2의 공진주파수가 나타나서 최적길이를 선택할 수 없음을 확인하였다.

그림 7(b)는  $d$ 의 변화에 대한 특성을 측정한 결과로서  $d$ 의 값이 클수록 공진주파수는 감소하게 되며, 약 3.5 mm에서 최대 전력을 나타내고 있다.

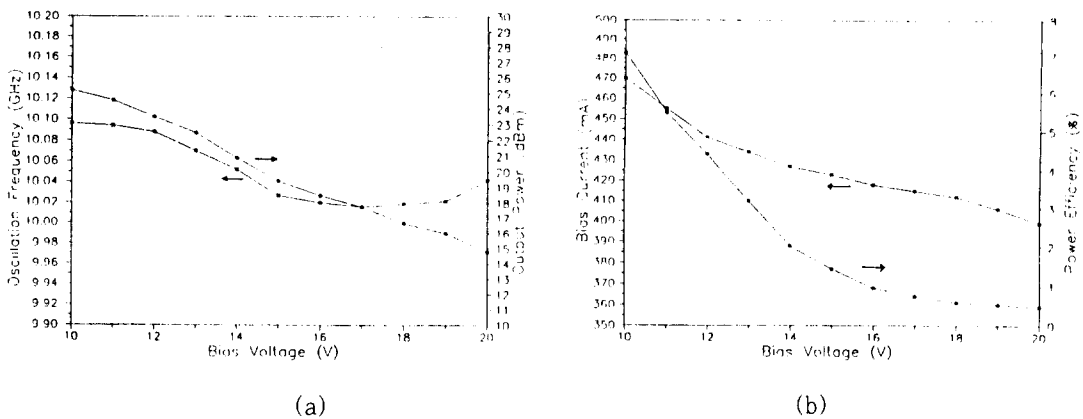
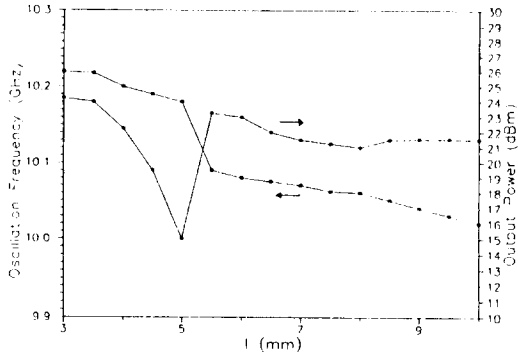


그림 6. 구동전원에 대한 발진특성 ( $l=5.434$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0$ )

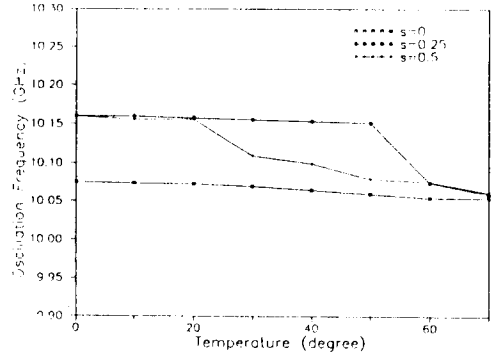
- (a) 발진주파수 및 출력전력
- (b) 구동전류 및 발진효율

Fig. 6. Oscillating characteristics as a function of the bias voltages.

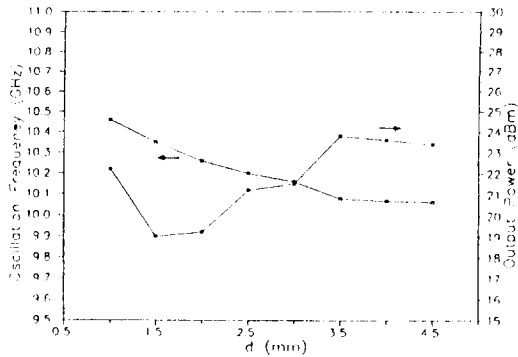
- ( $l=5.434$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0$ )
- (a) Oscillation frequency and output power
- (b) Bias current and oscillation efficiency



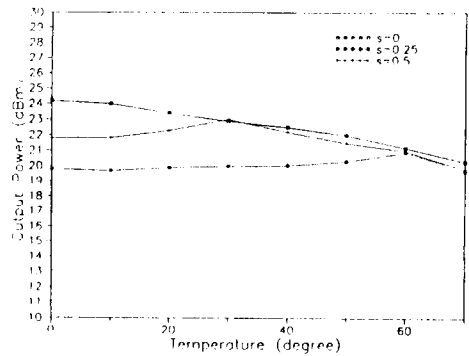
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7.  $l$  과  $d$ 의 변화에 대한 발진특성

(a)  $l$  이 3-10 mm 변화할 때 (b)  $d$ 가 1-4.35 mm 변화할 때

Fig. 7. Oscillating characteristics as a function of  $l$  and  $d$ .

(a)  $l$ 's variation as 3-10 mm  
(b)  $d$ 's variation as 1-4.35 mm

그림 8.  $l$  이 5.4 mm일때  $S$ 의 변화에 대한 발진특성 ( $V_d=12$  V,  $d=4.35$  mm)

(a) 공진주파수 (b) 출력전력

Fig. 8. Oscillating characteristics as a function of  $S$  for  $l = 5.4$  mm.

( $V_d=12$  V,  $d=4.35$  mm)

(a) Resonant frequency (b) output power

3) 온도의 변화에 대한 발진 특성

그림 8와 그림 9은 전송선로와 유전체 공진기 간의 간격  $S$ 가 변할 때 온도에 대한 발진특성을 측정한 결과이다.

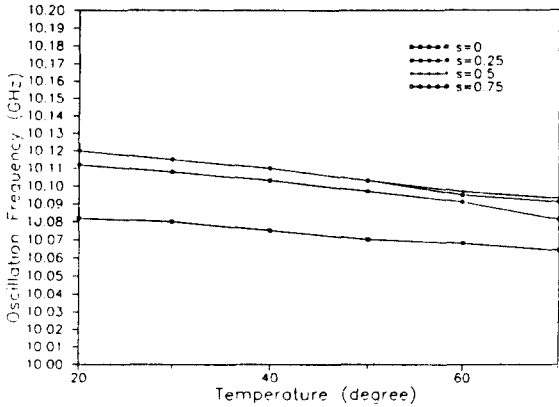
그림 8은  $l$ 의 길이가 약 5.45 mm일 때의  $S$ 의 변화에 대한 발진 특성을 나타낸 것으로서 그림 8(a)의 공진주파수 특성을 보면  $S$ 가 0보다 클 때는 온도의 변화에 대하여 공진주파수의 급격한 이동이 있음을 알 수 있다. 이것은 그림 7(a)에서 보는 바와같이  $l$ 이 약 5.4 mm근방에서 급격한 공진주파수의 이동이 있으며, 이것은  $l$ 이  $\lambda_g/4$  부근에서 부하 임피던스( $z_L'$ )의 급격한 변화가 있음을 의미한다.

따라서 그림 7(a)에서도  $l$ 이 약 5.45 mm일 때,  $S$ 가 0보다 클 때는 온도가 증가함에 따라 급격한 임피던스의 변화가 나타나게 된다. 같은 이유 때문에 출력 전력도 그림 8(b)에서 보면 동일위치에서 급격한 변화가 있음을 알 수 있다.

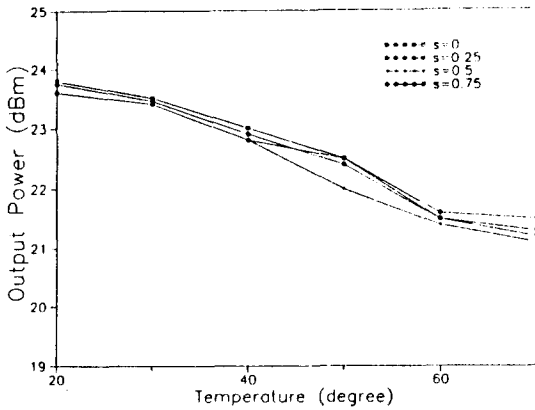
그림 9는  $l$ 이 6 mm일 때의  $S$ 의 변화에 대한 발진 특성으로 이 때에는 온도가 0-70 °C에 대하여 공진주파수와 출력전력이 급격한 변화가 없이 비교적 안정된 특성을 보이고 있다.

4) 최적 발진 조건

지금까지 결과를 종합해 볼 때 최적 발진 조건은 온



(a)



(b)

그림 9.  $\ell$  이 6 mm 일 때 S의 변화에 대한 발진특성 ( $V_d=12$  V,  $d=4.35$  mm)  
(a) 공진주파수 (b) 출력전력

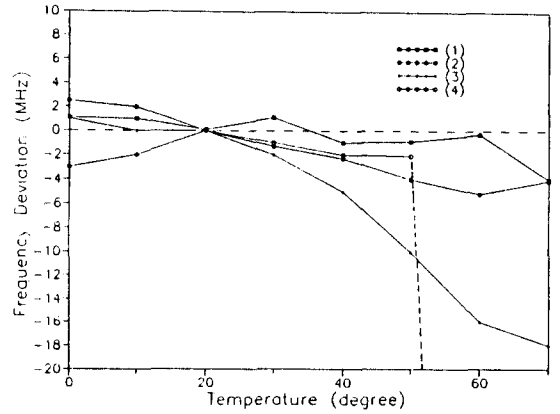
Fig. 9. Oscillating characteristics as a function of S for  $\ell=6$  mm ( $V_d=12$  V,  $d=4.35$  mm)  
(a) Resonant frequency (b) output power

도의 변화에 따라 공진주파수와 출력전력의 특성이  $\ell$ ,  $d$ ,  $s$  및 구동전압 등과 관계가 있음을 알 수 있다.

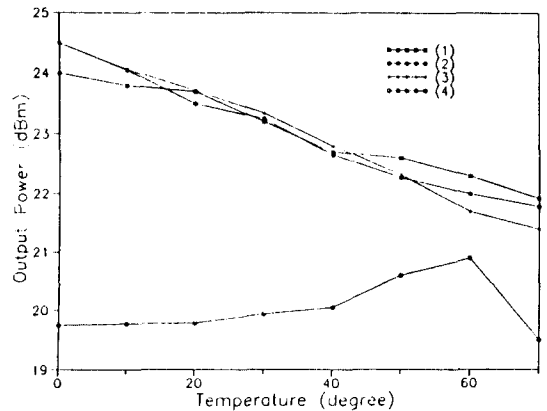
그림 10은 4가지의 서로 다른 조건에 대한 발진 특성을 나타낸 것이다.

그림 10의 결과를 보면 1, 2 그래프는 구동전압이 약 11 V,  $d$ 는 4.35 mm,  $S$ 는 0이고  $\ell$ 이 5.4 mm와 5.2 mm일 때의 결과인데 이때는 Gunn 다이오드의 부정저항이 최대치 부근이며 온도에 따라 임피던스의 갑작스런 변화가 없는 조건이다. 즉 온도가 0-70 °C

변화할 때 공진주파수의 변화폭은 약 5 MHz이고, 출력전력의 변화폭은 3 dB이내인 안정된 공진 특성을 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 10. 온도변화에 따른 발진특성  
(a) 공진주파수 (b) 출력전력

1.  $V_d=11$  V,  $\ell=5.4$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0$  mm,  $f_0=10.082$  GHz
2.  $V_d=11$  V,  $\ell=5.2$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0$  mm,  $f_0=10.096$  GHz
3.  $V_d=12$  V,  $\ell=6.0$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0$  mm,  $f_0=10.82$  GHz
4.  $V_d=12$  V,  $\ell=5.4$  mm,  $d=4.35$  mm,  $S=0.25$  mm,  $f_0=10.159$  GHz

Fig. 10. Oscillating characteristics depending on temperature variation  
(a) Resonant frequency (b) Output power

그러나 3번 그래프는  $\ell$  이 6 mm일 때의 결과인데



온도가 증가함에 따라 공진주파수의 감소가 매우 심하다. 또한 4번 그래프는 출력전력의 변화는 매우 적지만 50 °C 이상의 온도에서는 공진주파수의 갑작스런 이동이 생겨서 대체로 불안정한 특성을 보여주고 있다.

결론적으로 Gunn다이오드의 부성저항이 최대인 구동전압보다 약간 높은 11 V 부근에서, 그리고  $l$  의 길이는 유전체 공진기의 공진주파수에 대하여  $\lambda/4$  떨어진 5.4 mm 정도에서 가장 안정된 특성을 나타내고 S는 클수록 최대 전력은 감소하지만 온도에 대한 출력전력의 변화가 적어짐을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

GaAs - Gunn 다이오드를 이용하여 X-대역의 DRO를 제작 실험하였다. 발진특성을 안정화하기 위하여 원통형 유전체 공진기의 결합위치에 따른 발진특성을 조사하여 여러 회로 파라미터가 조정되어야 함을 밝혔다.

또한 온도 변화에 따라서 주파수 안정도에 영향을 주는 요소들을 고찰했고, 온도에 의한 주파수 변이 특성은 근본적으로 Gunn 다이오드 자체의 특성에 기인되지만 회로 파라미터가 주파수 안정에 현저하게 이바지한다는 것을 보였고 실험에 의해 발진특성을 안정화하기 위한 최적 조건을 구했다.

그결과 약 10 GHz에서 250 mW 출력을 갖는 안정된 발진기를 구현할 수 있음을 보였다. 또한 구동전압이 11 V에서 효율은 약 5-7 %이며, 온도의 변화가 0-70 °C 일때 공진주파수 변화는 약 5 MHz이고 출력전력의 변화는 3 dB 이내인 양호한 특성을 얻었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김응수, "마이크로파 유전체 재료 및 응용," Telecomm.Rev., 제3권 8호, pp.48-73, 1993
- [2] T.Makino and A.Hashime, "A Highly Stabilized MIC Gunn Oscillator Using a Dielectric Resonator," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech., vol. MTT-27, No.7, pp.633-638, Jul. 1979.
- [3] H.C. Okean et al., "Microwave Integrated Oscillators for Broad-band High Performance Receivers," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-20, pp.155-163, Feb.1972.
- [4] H.Abe, Y.Takayama et al., "A Highly Stabilized Low-noise GaAs FET Integrated Oscillator with a Dielectric Resonator in the C Band," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech. MTT-26, No.3, pp.156-162, Mar.1978.
- [5] O.Ishihara, T.Mori et al., "A highly Stabilized GaAs FET Oscillator Using a Dielectric Resonator Feedback Circuit in 9-14 GHz," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-28, No.8, pp.817-824, Aug.1980.
- [6] C.Tsironis, "Highly Stable Dielectric Resonator FET Oscillator," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-33, No.4, pp.310-314, Apr.1985.
- [7] 강중순, "유전체 공진기와 마이크로스트립 선로의 결합계수 산출방법," 한국통신학회지, 제16권, 제10호, pp.1019-1025, Oct.1991
- [8] David M.Pozar, "Microwave Engineering," Addison Wesley, New York, pp. 354-358, 1993.
- [9] Y.Konishi, N.Hoshino, and Y.Utsumi, "Resonant Frequency of a TE<sub>01</sub>  $\delta$  Dielectric Resonator," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech., pp.112-114, Feb.1976.
- [10] M.Tsuji, H.Shigesawa, and K.Takiyame, "On the Complex Resonant Frequency of Open Dielectric Resonators," IEEE Trans.on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-31, No.5, pp.392-396, May, 1983.
- [11] K.Kurokawa, "Some Basic Characteristics of Broadband Negative Resistance Oscillator Circuits," *The Bell System Technical Journal*, July, 1969.

## — 저 자 소 개 —

**鄭宗哲(正會員)**

1948年 2月 26日生. 1970年 2月 : 한국항공대학 통신공학과 졸업(공학사). 1980年~1982年 : 전국대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1971年~1974年 : 고려대학교 전자공학과 조교 1974年~1978年 : 통영수산전문대학 전자과 조교수 1978年 : 대전공업전문대학 전자과 조교수 1979年~현재 : 국방연구소 근무

**朴承模(正會員)**

1962年 10月 14日生. 1985年 2月 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987年 2月 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987年 2月~현재 : 국방연구소 근무

**全聖根(正會員)**

1947年 2月 15日生. 1971年 2月 : 한국항공대학 통신공학과 졸업(공학사). 1982年 8月 : 전국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1991年 3月~현재 : 경상대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정 재학중. 1979年~현재 : 통영수산전문대학 통신과 교수

**李文秀(正會員)**

1947年 12月 29日生. 1970年 : 한국항공대학 통신공학과(공학사). 1980年 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사). 1984年 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사). 1981年 3月~1986年 2月 : 제주대학교 통신공학과 부교수. 1986年 9月~1987年 8月 : 미국 COMSAT연구소 연구원. 1986年 3月~현재 : 경상대학교 전자공학과 교수