

24 GHz 공진기 안정화 Gunn 발진기 개발

Development of a Cavity Stabilized Gunn Oscillator at 24 GHz

김 종 년 · 김 인 석

Jong-Nyeon Kim · Ihn S. Kim

요 약

본 논문에서는 WR-42 직각도파관을 이용하여 안정적인 출력을 제공하는 구조를 HFSS 시뮬레이션을 통해 설계하여 24 GHz에서 동작하는 공진기 안정화 Gunn 발진기를 개발하였다. 제작된 Gunn 발진기는 아이리스와 캡구조로 공진기 안정화를 이루기 위한 최적의 구조를 구현하였으며 4.5 V의 전압과 1.2 A의 전류를 인가했을 때 24.0675 GHz에서 최고출력 +21.27 dBm을 얻을 수 있었다.

Abstract

A cavity stabilized Gunn oscillator at 24 GHz has been developed with WR-42 waveguide structure by HFSS simulation. The oscillator has been optimized by using a circular iris and cap resonator structure. This oscillator needs 4.5 V DC voltage / 1.2 A current and produces a maximum +21.27 dBm RF power at 24.0675 GHz.

I. 서 론

Gunn 다이오드는 마이크로파와 밀리미터파대역의 RF 전력을 발생시키는데 많이 사용되어지는 소자이다. Gunn 다이오드를 이용한 발진기는 간단한 2 단자소자여서 트랜지스터에 비해 쉽게 작동하며 낮은 가격과 소자의 수명에 있어서 신뢰성이 뛰어나고 높은 출력과 좋은 위상잡음 특성을 가진다^[1]. Gunn 다이오드의 Bulk 특성은 ESD(Electro Static Discharge), EMI(Electro Magnetic Interference), 높은 RF 신호와 부하의 부정합 등에서 야기되는 발진기의 손상으로부터 좋은 내성의 특성을 가진다^[1]. HEMT와 PHEMT MMIC와 같은 3 단자소자는 저잡음과 중간전력 증폭기에 빠른 주파수대역의 발전을 보이고 있으나 준밀리미터파와 밀리미터파 대역에서 트랜지스터형의 3 단자 소자의 가격은 매우 고가이다. 이에 비하여 현재는 Gunn 다이오드가 140

GHz까지 RF 전력을 발생할 수 있도록 상용화 되어 있으며 소량 주문생산도 가능한 장점을 가지고 있다.

준밀리미터파와 밀리미터파 대역에서 Gunn 발진기의 상업적 적용을 위한 연구개발이 이루어지는 중요한 2 가지 분야가 있는데 상업용 밀리미터파 통신시스템과 차량용 레이더이다. 그 외에도 군용 레이더의 신호원, 속도와 거리 및 유체레벨의 감지를 위한 센서, 무선 랜, 지능형 교통시스템 등 매우 다양한 목적으로 사용되고 있지만 기타 필수적인 신호원으로도 응용될 수 있다^[1].

공진기 안정화 Gunn 발진기는 높은 Q 공진기 회로를 이용하여 좋은 위상잡음 특성을 나타낸다^[2]. 준밀리미터파와 밀리미터파 대역의 발진기에 있어서 좋은 위상잡음특성을 가지기 위한 가장 큰 요인은 반도체소자에 있으며 본 논문에서는 Gunn 다이오드 소자를 이용하여 좋은 위상잡음을 얻으려고

경희대학교 전자정보학부 전자파공학연구소(EM Wave Eng. Lab., School of Electronics & Information, KyungHee Univ.)

· 논문 번호 : 20000630-073

· 수정완료일자 : 2001년 2월 2일

시도하였다.

Gunn 발진기의 연구는 1962년에 J. B. Gunn이 발견한 Gunn 효과를 기초하여 1969년도 Kurokawa에 의하여 부정저항 발진기에 대한 이론적 해석^[3]이 이루어지면서 시작되었다. 1971년에는 Eisenhart가 4~6 GHz대의 적용될 수 있는 도파관형태의 공진기내의 포스트 갭에 대하여 연구^[4]하였고, 1983년에 Haydl은 도파관내 포스트의 여러 캡 형태의 디스크 공진기 구조에 따른 발진구조를 연구^[5]하였다. 1990년에는 Bates가 도파관내의 여러 캡 공진기 구조에 대한 모델분석을 시도^[6]하였다.

본 논문에서는 Gunn 발진기의 공진기 안정화를 이룰 수 있고 출력 향상을 기대할 수 있도록 하기 위하여 HFSS 시뮬레이션을 통한 최적 공진기 안정화 구조를 제시하였고 안정된 공진 주파수를 얻기 위한 Gunn 발진기 구조에 대하여 상기한 연구결과를 종합적으로 연구하였으며 이를 실험평가하였다.

본 논문은 4개의 장으로 구성된다. 제 II장에서 Gunn 발진기 설계방법을 소개하였고, 제 III장에서는 발진기의 구조, 즉, 원형 Iris와 Cap 공진기 구조변화에 대한 S-parameter와 출력레벨에 관한 측정결과를 포함하였다. 제 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺고, 앞으로 연구하여야 할 연구방향을 제시하였다.

II. Gunn 발진기 설계

2-1 발진기 이론

고체상태의 정현파 발진기는 보통 DC 에너지를 RF 에너지로 변환하는 능동고체상태의 소자와 공진 회로로 구성되어진다. 공진기회로는 능동소자의 리액턴스 성분을 보상하는 리액티브성분을 저장하는 기능을 제공한다. 발진은 공진주파수에서 전체회로의 리액턴스성분이 완전히 제거될 때 발생하게 된다. 어떤 자유작동(free-running), 정상상태 발진기에 대하여 소자의 발진작동점에서 전체회로의 임피던스(Z_c)와 소자의 임피던스(Z_d)의 합은 반드시 영이 되어야 한다. 일반적으로 정상상태에서 발진기는 식 (1)의 발진조건을 만족시켜야 한다^[7].

$$Z_d(V_{dc}, I_{dc}, \omega_n, I_{rf}, T, \dots) + Z_c(\omega_n) = 0 \quad (1)$$

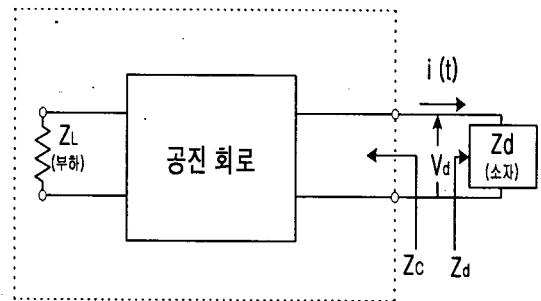


그림 1. 부정저항 발진기 회로의 기본 구성도^[7].

Fig. 1. Basic schematic diagram of negative resistance oscillator circuit^[7].

여기서, 회로의 임피던스는 $Z_c = R_c + jX_c$ 이며, 회로의 저항 R_c 는 양의 값이어야 하고, 소자의 저항은 부정저항을 가져야 한다. 식 (1)에서 회로의 임피던스는 주파수에 의해서만 변화되고 소자의 임피던스는 DC 작동점(V_{dc}, I_{dc}), 작동주파수성분(ω_n), RF 전류 크기(I_{rf}), 온도(T) 등의 함수이다. 그림 1은 부정저항 발진기의 구성도를 나타내고 있다.

2-2 Gunn 발진기 구성

Gunn 발진기는 핵심소자인 Gunn 다이오드, 공진 주파수와 안정된 출력을 얻기 위한 공진구조인 WR-42 도파관 공진구조, 캡공진기, 백셋, 주파수조정 스크류와 바이어스 필터로 구성되는 것을 그림 2에서 보여주고 있다. 그림 2의 Gunn 다이오드는 M/A COM회사의 148 패키지 형태를 이용하였으며 6 V 전원을 공급 받아 23 GHz에서 최적 조정시에 250 mW 이상의 출력을 낼 수 있는 소자이다^[8]. WR-42 도파관공진기의 길이는 Gunn 다이오드 중앙부에서 WR-42에 삽입된 원형 아이리스까지의 거리를 반파장으로 유지하였다. 백셋을 이용하여 Gunn 다이오드의 중심부로부터 도파관의 막힌 면까지의 거리를 약 1/4 파장 정도 떨어뜨려써서 Gunn 다이오드에서 도파관의 막힌 쪽을 바라다 본 임피던스가 ∞ 로 크게 보여서 최대의 에너지가 Gunn 다이오드에서 발생될 수 있게끔 하였다. 직각 도파관내에 제작이 쉬운 캡공진기 구조를 넣었는데

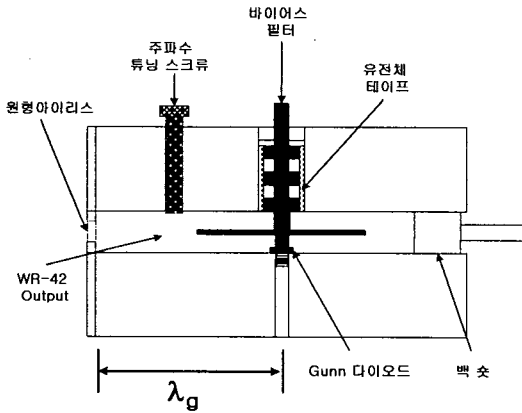


그림 2. 직각도파관 Gunn 발진기의 측단면도.
Fig. 2. Side cross sectional view of rectangular waveguide Gunn oscillator.

두께 0.5 mm, 직경 $\lambda_g/2$ 의 길이로 설계하였다. 이러한 캡공진기의 기능은 Gunn 다이오드의 낮은 부성저항과 출력단 도파관의 높은 임피던스의 매칭을 이루어 안정된 출력을 주는 것이다. 또한 WR-42 도파관의 앞단에 직경 4 mm의 원형 공진 아이리스를 결합하여 원하는 24 GHz 공진주파수를 얻는데 이용하였다.

그림 3은 원형 아이리스가 장착되지 않은 상태에서 Gunn 발진기의 정면에서 단면을 그린 그림이다. Gunn 다이오드가 도파관 밑면에 스크류 형태로 심기어져 있다. 이것은 과전압으로 인해 손상이 있을 때 손쉽게 교체될 수 있게 설계한 것이다. 바이어스 필터를 통해 Gunn 다이오드에 적절한 DC를 인가해 줄 때 RF 전력이 발진하게 된다.

2-3 바이어스 필터의 설계

Gunn 발진기의 바이어스 필터는 Gunn 다이오드에 적절한 전압을 인가하는 것과 바이어스 필터를 통해서 RF 전력이 방사되는 것을 막는 두 가지 기능을 가져야 한다. 그림 4에서는 바이어스 필터가 삽입되므로 필터와 도파관벽 사이의 단락을 방지하기 위해서 0.5 mm의 간격을 두었고 바이어스 필터를 유전체 물질로 감쌌다. 유전체 물질은 상대 유전상수가 $\epsilon_r = 2.1$ 인 테플론 테이프를 이용하였다. RF

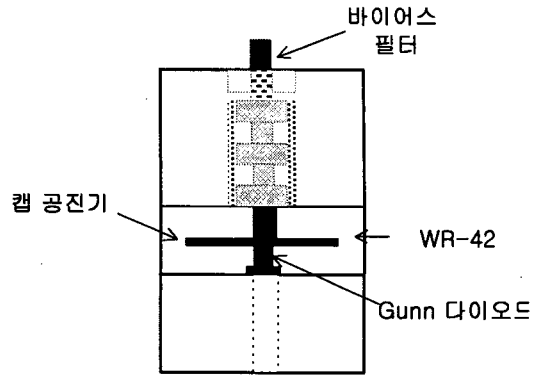


그림 3. 캡공진기, 바이어스 필터, Gunn 다이오드가 장착된 구조의 정단면도.
Fig. 3. Front cross sectional view showing cap resonator, bias filter and embedded Gunn diode.

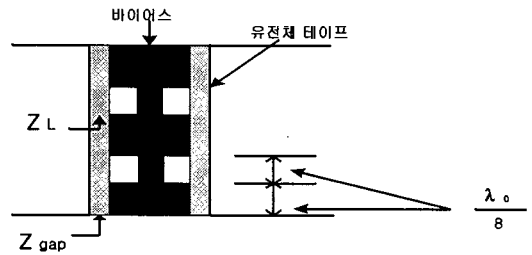


그림 4. 바이어스 필터의 구조.
Fig. 4. Schematic diagram of bias filter.

필터로 임피던스가 순차적으로 낮은-높은-낮은 형태로 결과적으로 세 개의 낮은 임피던스와 두 개의 높은 임피던스로 5단으로 구성되며 각 단마다 $\lambda/8$ 길이가 되도록하여 저역통과 필터를 실현하였다. 바이어스 필터의 높은 임피던스 부분은 직경 1.52 mm로, 낮은 임피던스의 경우 5.3 mm의 직경으로 설계하였다.

2-4 캡공진기의 설계

Gunn 발진기에서 캡 공진기는 WR-42 직각도파관의 높은 임피던스와 Gunn 다이오드의 낮은 임피던스와의 매칭을 잘 이룰 수 있는 소자이다. HFSS

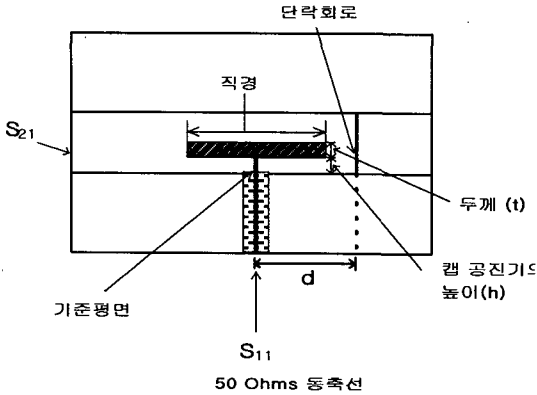


그림 5. 캡 공진기의 시뮬레이션을 위한 구조.
Fig. 5. Structure for the cap resonator simulation.

를 이용한 캡 공진기의 시뮬레이션 모형을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 Gunn 다이오드가 직각도파관 밀면에 스크류형태로 심기워졌을 때 도파관과 다이오드의 평행면을 기준평면으로 하고 캡 공진기의 높이(h), 두께(t), Gunn 다이오드 중심부로부터 단락거리(d)를 조절해 가면서 기준면을 통해 50 Ohm의 급전선을 통해 K-band 대역의 주파수를 공급해 주었을 때 S₁₁의 특성을 살펴봄으로써 Gunn 다이오드의 낮은 임피던스와 도파관의 높은 임피던스의 매칭을 가장 적절하게 이루는 공진구조를 얻을 수 있었다.

2-5 백숫의 설계

Gunn 발진기에서 도파관 백숫은 그 위치에 따라 출력 전력, 주파수 및 위상잡음에 영향을 준다^[9]. 슬라이딩 형태로 설계를 하여 위치에 따른 출력 주파수와 전력을 구할 수 있도록 하였다. 최대의 출력을 나타내는 도파관 백숫의 위치는 Gunn 다이오드의 중심부에서 도파관의 막힌 면까지 거리가 24 GHz에서 약 1/4 파장인 3.85 mm 떨어져 있는 위치이며 이는 Gunn 다이오드에서 최대의 발진에너지가 발생될 수 있는 조건이다.

2-6 주파수 변화와 온도보상

Gunn 발진기에서 주위 온도에 따른 공진주파수

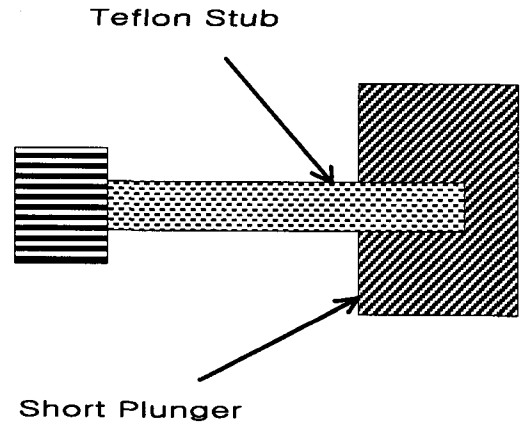


그림 6. 테플론 스텐브를 적용한 백숫.
Fig. 6. Backshort using Teflon stub.

의 변화는 발진기를 시스템에 적용했을 때 심각한 문제를 야기한다. 따라서 주위의 온도에 따른 주파수의 변화를 줄이는 방법을 연구하여야 한다. 일반적으로 Gunn 발진기에서 주파수/온도 계수, S_s는 식 (2)와 같다^[10].

$$S_s = S_d + S_r \quad (2)$$

여기서, $\frac{\partial F}{\partial T} / F_0 = \frac{\partial F_d}{\partial T} / 2Q_L + \frac{\partial F_r}{\partial T} / F_0$, $S_d = \frac{\partial F_d}{\partial T} / 2Q_L = -3.14 \times 10^{-3} / Q_L$ 이다. S_d, S_r은 Gunn 발진기의 소자와 회로의 주파수/온도 계수이다.

그림 6에서는 Gunn 발진기의 백숫부분을 나타내고 있다. Gunn 발진기의 주파수/온도 계수 S_s를 줄이기 위해 백숫의 Plunger의 재질을 가장 쉽게 구할 수 있는 테플론 스텐브로 적용할 수 있다. 또한 주파수 튜닝 스크류 Invar 튜닝 스텐브를 대체함으로써 주파수/온도 계수를 작게 하여 안정적인 공진주파수를 얻을 수 있다.

III. 측정 결과

3-1 발진출력 결과

Gunn 발진기는 하나의 WR-42 직각도파관 공진기를 가진다. 캡공진기의 높이를 변화시키면서 최고

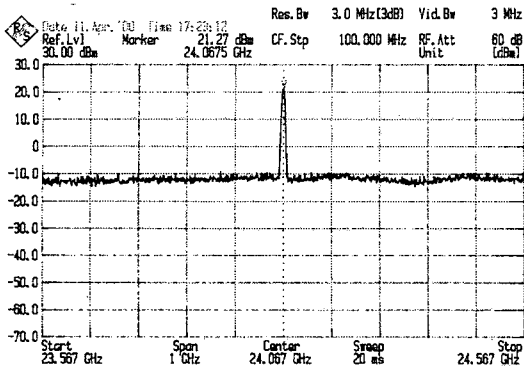


그림 7. 측정된 24 GHz 발진 Gunn 발진기 스펙트럼 출력.

Fig. 7. Measured 24 GHz spectrum output from the Gunn oscillator.

의 출력을 얻을 수 있었다. 그림 7은 스펙을 1 GHz로 하고, 4 mm 직경과 두께 1 mm의 원형 아이리스와 캡공진기의 직경 7.7 mm, 캡공진기 두께는 0.5 mm, 캡공진기의 높이는 1.6 mm, Gunn 다이오드의 중심부에서 백숫까지의 거리가 3.85 mm 일 때 인가 전압 4.5 V와 전류 1.2 A의 조건하에서 스펙트럼 아날라이저를 이용해서 스펙트럼 출력을 측정 한 결과를 나타낸다. 중심주파수 24.0675 GHz에서 21.27 dBm의 출력을 보인다. 미국의 MDT회사의 공진기 안정화 Gunn 발진기는 24 GHz에서의 출력은 8~13 dBm의 출력^[11]을 나타내었고 미국의 MDC회사의 23 GHz에서의 출력은 20 dBm을 나타내었다^[12].

3-2 원형아이리스 직경에 따른 출력결과

Gunn 발진기에서 도파관 출력단에 두께 1 mm 원형 아이리스의 직경 변화에 따른 공진주파수와 크기의 측정결과를 표 1에 나타내었다. 직경 4 mm에서 24 GHz의 21.27 dBm을 얻었다.

3-3 캡공진기의 높이에 따른 시뮬레이션 결과

그림 5의 캡공진기의 시뮬레이션 모형으로부터 높이를 변화시켜가면서 Gunn 소자의 낮은 임피던스와 WR-42 도파관의 높은 임피던스를 가장 적절하게 매칭을 해 줄 수 있는 구조를 HFSS 시뮬레이

표 1. 원형아이리스의 직경에 따른 Gunn 발진기 공진 주파수와 출력 측정결과

Table 1. Oscillating frequency and output power variation depending on the diameter of the circular iris.

원형 아이리스 직경(mm)	주파수(GHz)	출력 (dBm)
3.6	21.139	14.56
3.8	22.361	16.24
4	24.0675	21.27
4.2	23.497	17.33

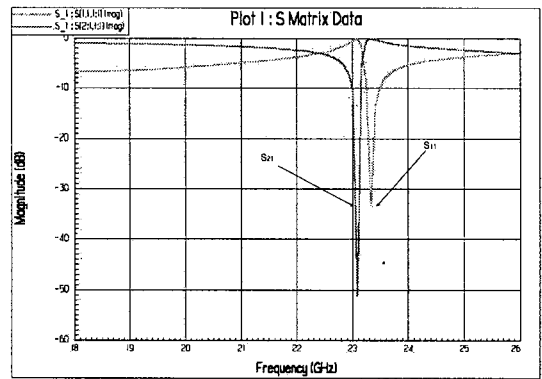


그림 8. 캡 공진기의 높이(h)가 1.6 mm일 때의 $|S_{11}|$ 과 $|S_{21}|$ 의 HFSS 시뮬레이션 결과.

Fig. 8. HFSS simulation results of $|S_{11}|$ and of $|S_{21}|$ for cap resonator (Height=1.6 mm).

션 하였다. 그림 8은 캡 공진기 직경을 관내 반파장, 두께는 0.5 mm와 1.6 mm 높이의 조건하에서 주파수에 따른 S_{11} 크기의 HFSS 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 공진 주파수 23.3 GHz에서 -33.5 dB의 $|S_{11}|$ 을 얻었다.

표 2는 Gunn 다이오드에서 발생한 RF 전력이 캡공진기의 높이에 따라 영향을 받아 WR-42 직각도파관 공진기로 얼마나 잘 전달되는 것을 의미하는데 높이가 1.6 mm 일 때 23.3 GHz 가장 좋은 임피던스 정합조건을 얻을 수 있었다. 실제 측정에 있어서 출력단 앞단에 LC 병렬공진기의 역할^[13]을 하는 두께 1 mm, 직경 4 mm인 원형아이리스를 추가함으로써 원하는 24 GHz의 공진주파수를 얻었다.

표 2. 캡 공진기의 높이에 따른 공진주파수의 변화와 $|S_{11}|$ 의 HFSS 시뮬레이션 결과

Table 2. HFSS simulation results of $|S_{11}|$ and resonant frequency for cap resonator with various height.

높이(mm)	주파수(GHz)	S_{11} 크기 (dB)
1.4	23.3	-14.7
1.5	23.3	-5
1.6	23.3	-33.5
1.8	23.5	-18.5
2.0	23.4	-16.8
2.2	23.7	-12.6
2.4	23.8	-11.6

3.4 백쇼트의 위치에 따른 시뮬레이션 결과

그림 9는 캡 공진기의 두께 0.5 mm, 직경 7.7 mm 일 때 캡 공진기의 중심부에서 백쇼트까지의 거리(d)가 3.9 mm 일 때 $|S_{11}|$ 과 $|S_{21}|$ 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 약 25.28 GHz에서 $|S_{11}|$ 값은 -23 dB를 얻었고, 25.15 GHz에서 -20 dB의 $|S_{21}|$ 특성을 얻었다.

최대의 출력을 발생시키는 도파관 백쇼트의 위치는

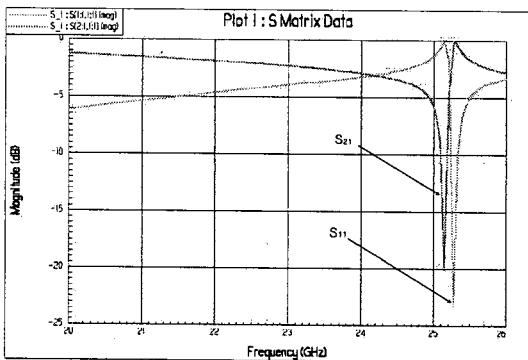


그림 9. 캡 공진기의 중심부에서 백쇼트까지의 거리(d)가 3.9 mm일 때 $|S_{11}|$ 과 $|S_{21}|$ 시뮬레이션 결과

Fig. 9. HFSS simulation results for $|S_{11}|$ and $|S_{21}|$ ($d=3.9$ mm from the center of cap resonator to backshort).

Gunn 다이오드의 중심부에서 도파관의 막힌 면까지 거리가 24 GHz에서 약 1/4 파장 떨어져 있는 위치이며 표 3을 통하여 주파수가 23.3 GHz일 때 가장 좋은 S_{11} 의 특성을 나타낼 수 있다. 결국 Gunn 다이오드에서 도파관의 막힌 쪽을 바라다 본 임피던스가 크게 보여서 막힌 면의 영향을 최소화시킨다^[14]. 캡 공진기의 직경을 $\lambda_g/2$ 로 하였기 때문에 표 3에서 $d=3.85$ mm 이하의 경우는 시뮬레이션을 시도할 수 없었다.

표 3. 캡 공진기 중심부에서 백쇼트까지의 거리(d)에 따른 공진주파수의 변화와 $|S_{11}|$ 시뮬레이션 결과

Table 3. HFSS simulation results for $|S_{11}|$ (distance d from the center of cap resonator to backshort).

캡 공진기의 중심부에서 백쇼트까지 거리 d (mm)	주파수 (GHz)	S_{11} 크기(dB)
3.85	23.3	-33.5
3.90	25.3	-23.0
3.95	25.5	-10.1
4.00	25.8	-8.3

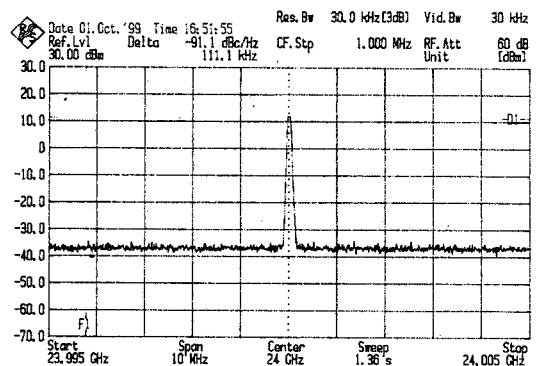


그림 10. 24 GHz Gunn 발진기의 위상잡음 측정 결과

Fig. 10. 24 GHz Gunn oscillator phase noise characteristics measured by Spectrum Analyzer.

3-5 위상잡음 측정

그림 10은 로테쉬어즈의 스펙트럼 아날라이저의 위상잡음 측정 기능키를 이용하여 측정한 24 GHz Gunn 발진기의 위상잡음을 측정한 결과로써 111 kHz의 offset 지점에서 -91.1 dBc/Hz의 결과를 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WR-42 직각도파관 구조를 이용하여 Gunn 발진기를 설계 제작하였다. Ansoft의 HFSS를 이용하여 캡 공진기의 가장 적절한 공진기 구조를 모의실험으로 확인하여 실지 제작측정을 통하여 Gunn 다이오드와 도파관간의 적절한 임피던스 정합을 유도하여 결과적으로 24.0675 GHz에서 최고 출력 +21.27 dBm을 얻었다. 반파장 공진 지점에 아이리스를 위치시켜 공진주파수의 안정화를 시도하였다. 캡 공진기 구조는 다량 생산이 가능하도록 제작이 쉬운 원형 형태를 채택하였다. 그리고 RF 전력이 누수되지 않도록 하기 위해 가능하면 틈이 없는 도파관 구조로 제작을 하여야 할 것이다. 앞으로는 WR-42 직각도파관 공진기내에 유전체 공진기를 장착해 보다 안정된 발진기 개발을 시도해 볼 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. D. Crowley, "InP Gunn Diodes and Millimeter-wave Applications," *Millimeter and Microwave Engineering, Critical Review*, vol. CR54, pp. 26-48, 1996.
 [2] I. D. Higgins and R. Davies, "An Analytical Comparison of Two Simple High-Q Gunn Oscillator(short paper)," *IEEE MTT*, vol. 25,

no. 5, pp. 412-416, May, 1977.
 [3] K. Kurokawa, "Some Basic Characteristics of Broadband Negative Resistance Oscillator Circuits," *Bell Sys. Tech. J.*, vol. 48, pp. 1937-1955, 1969.
 [4] R. L. Eisenhart, P. J. Khan, "Theoretical and Experimental Analysis of a Waveguide Mounting Structure," *IEEE MTT-19*, no. 8, pp. 706-719, Aug., 1971.
 [5] H. H. William, "Fundamental and Harmonic Operation of Millimeter-Wave Gunn Diodes," *IEEE MTT-31*, no. 11, pp. 879-889, Nov., 1993.
 [6] B. D. Bates, "Model Analysis of Radial - Resonator Waveguide Diode Mounts," *IEEE MTT-38*, no. 8, pp. 1037-1045, Aug., 1990.
 [7] E. Holzman, R. Robertson, *Solid - State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, pp. 59-67, 1992.
 [8] *RF & Microwave Semiconductors*, M/A Com., 1995.
 [9] T. Koryu Ishii, *Handbook of Microwave Technology*, vol. 1, Academic Press, Inc., pp. 328-330, 1995.
 [10] Cheng-tian Xue and Qiao-min Wang, "A Novel Millimeter Wave Gunn Oscillator," *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 18, no. 12, pp. 2310-2312, 1997.
 [11] *Microwave Device Technology Catalog*, MDT Company, Inc., pp. 87-94, 1995.
 [12] *Microwave Product Catalog*, MDC Company, Inc., 1999.
 [13] Marcuvitz, *Waveguide Handbook*, McGraw-Hill Book Company, Inc., pp. 408-412, 1951.
 [14] D. H. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed, Addison-Wesley Publishing Company Inc., pp. 337, 1998.

김 중 년



1996년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)
2000년 8월: 경희대학교 전자공학과(공학석사)
2000년 6월~9월: 삼성전자 광전자사업팀 개발그룹 회로연구원
2000년 12월~현재: EASTEL SY-

STEMS 광통신연구소 WDM 연구팀 연구원
[주 관심분야] RF 회로 설계, Fiber Optic Communication System.

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)
1980년 8월 : KBS 기술사원
1984년 2월 : Univ. of Ottawa, School of Engineering, Dept. of Electrical Eng. (공학석사)
1985년 8월: Com Dev Ltd, Div. of

Satellite System(Technical Staff), General Instrument of Canada, Div. of Satellite System(Senior Engineer),
1990년 10월 : Univ. of Ottawa, School of Engineering, Dept. of Electrical Eng.(공학박사)
1991년 2월 : Canadian Space Agency, David Florida Lab., Research Scientist
1999년 : 스위스연방 공과대학 방문교수, ETRI 초빙연구원, Motorola EMLab 방문연구원
1992년 ~현재 : 경희대학교 전자정보학부 교수, 한국전자파학회 이사, 주파수심의위원, IEEE Transactions MTT 2000년도 논문편집위원
[주 관심분야] 초고주파공학 비선형회로, 시간영역의 수치해석기술(FDTD와 TLM), Radar의 응용기술, EMI/EMC (전자파와 생체영향, 주파수관리 등)