

차량 속도 제한 사전 경보기용 전압 제어 발진기 설계

A Design of a VCO for an Advance Warning System of the Vehicle's Speed Limitation

김 동 현 · 최 익 권*

Dong-Hyun Kim · Ik-Guen Choi*

요 약

본 논문에서는 PHEMT의 소 신호 산란계수를 이용하여 일본에서 사용하는 X-band 대역의 차량 속도 사전 제한 경보기용(Radar Detector) 전압제어 발진기를 설계 제작하였다. 전압 제어 발진기를 구현하기 위해서 넓은 동조 범위와 직렬저항이 0옴인 바렉터 다이오드를 사용하였고, 트랜지스터의 작동전압과 공진 주파수를 결정하는 마이크로 스트립 선로와 바렉터 소자와의 반사계수를 조정하여 위상잡음은 10 kHz 오프셋에서 -85 dBc/Hz, 기본 주파수 신호 출력 크기는 +4.5 dBm, 제2고조파 억제는 -25.6 dBc를 얻었다. 본 논문에서 제작한 샘플이 감도에서 기존 제품들보다 우수한 특성이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a VCO of a general advance warning system for vehicle's speed limitation in the X-band used in Japan is designed using a small signal scattering coefficient of PHEMT. A varactor diode that wide tuning range and series resistance 0 Ω is used for designing the VCO and -85 dBc/Hz of phase noise at 10 kHz offset frequency is obtained by adjusting the reflection coefficient between the micro-strip line and the varactor device which determines transistor's operation voltage and resonant frequency, In addition +4.5 dBm of basic frequency signal output level and -25.6 dBc of the second harmonic constraint are acquired. Sample that produce in this paper could confirm that more excellent special quality appears than existing products in sensitivity.

Key words : VCO, Radar Detector, Advanced Warning System

I. 서 론

오늘날 무선 통신 기술은 매우 급속도로 발전을 하여 그 변화의 속도를 따라잡기조차 어려울 정도이다. 무선 RF 기술 또한 많은 발전을 거듭하고 있으며, 어느덧 초고주파 기술을 활용한 제품이 사람들의 삶 속에 점점 더 사용범위를 넓혀가고 있다.

실례로 미국 및 유럽, 일본, 러시아, 대만 등에서는 마이크로웨이브 주파수를 이용한 과속 단속 장비인 Radar(Radio Detector and Ranging) Gun을 이용하

여 차량의 과속을 단속하고 있다. 이러한 방법을 이용한 단속으로부터 Radar Gun에 대해 사전에 운전자들이 미리 감지할 수 있도록 Radar Detector를 차량 내에 설치하는 것을 합법화하여 과속 방지를 유도하고, 교통사고를 크게 절감시키는 역할을 하고 있다^[1]. 그밖에 다른 여러 분야에서도 다양한 용도로 RF 기술을 이용하고 있거나 개발이 되어지고 있다. 활용범위를 넓혀가고 있는 초고주파 기술의 발전에 따라 다양한 주파수의 이용을 위하여 전압 제어 발진기(VCO)는 무선기기 송·수신부의 핵심 부품으로

GT 텔레콤(GT Telecom)

*충북대학교 전파공학과(Department of Radio Wave Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20040819-108

· 수정완료일자 : 2004년 11월 2일

자리 잡고 있다.

Radar Gun에서 발생되는 주파수 대역은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 10.525 GHz ± 25 MHz 대역인 X 밴드 대역과 24.15 GHz ± 50 MHz인 K 밴드 대역, 33.4~36.0 GHz의 Ka 밴드 대역을 사용한다. 미국 시장에서의 사용 점유율로 보면 X 밴드 Gun은 약 10%, K 밴드 Gun은 20%이고, 나머지 70%는 Ka 밴드 대역으로 사용되고 있다. 1965년 X 밴드 Radar Gun이 최초로 사용되었고, 1976년과 1983년에 각각 K 밴드와 Ka 밴드가 FCC(Federal communications commission)에 승인이 되었으나, 현재에는 X, K가 점차 사라지고 Ka Radar Gun이 계속 증가 추세에 있다^[2]. 반면에 일본에서는 X, Ka 밴드 Gun만이 사용하고 있다. Radar Detector란 전방 2~4 km에서 떨어진 곳에서 RF(X band, K band, Ka band) 신호를 수신하여 사용자에게 일정 경고음으로 미리 알려주는 수신기이다. 이러한 Radar Gun의 신호를 검출할 수 있도록 만들어진 Radar Detector에 가장 중요한 RF 모듈은 바로 일정 대역폭을 가진 VCO라 말할 수 있다. 기존에 VCO는 Gunn diode를 이용하여 Radar Detector에 적합한 발진기를 설계하였다. 그러나 Gunn diode의 특성에 따른 높은 소비전력, 온도 의존성 등의 문제들을 초래하였고, 이러한 문제들 때문에 소비자들의 선호의 대상으로부터 점점 멀어졌다. Gunn diode의 단점을 극복하기 위하여 광대역 전압 제어 발진기가 Radar Detector에 사용되어지면서 낮은 소비전력, 광대역의 발진 주파수 대역, 정확한 주파수 조절, 온도에 영향을 거의 받지 않는 등 여러 장점으로 Gunn diode의 단점을 해결하였다. 그에 따라서 대부분의 업체^[3]에서는 광대역 전압 제어 발진기의 설계가 Radar Detector의 성능을 좌우하는 가장 중요한 지표로 인식되게 되었다. 일반적으로 Radar Detector는 X, K, Ka 대역에서 입사되는 신호를 모두 감지하여야 한다. 따라서 각각에 해당하는 국부 발진 주파수를 동시에 작동시켜야 하는 것이 과제라 할 수 있다. 일반적인 수신기용 국부 발진기의 설계 목표가 여러 조건이 있는데 그중 하나가 제1, 제2 고조파 억압이라 할 수 있지만 각 대역에서 사용하기 위해서 Radar Detector는 그와 반대로 작동해야 한다. 기본 발진 주파수(X), 제2체배(K), 제3체배(Ka) 주파수 성분을 동시에 사용해야 한다는 점이 특징이라

할 수 있다. 그리고 높은 전력을 얻는 것이 상당히 중요한 문제이다. 미래의 시장성을 고려했을 경우에는 많은 수요가 있는 Ka 대역에서의 Radar Detector 수신율이 뛰어나야 한다는 점이^[4] 기본적인 요구 사항이며, 그렇게 하기 위해서 기본 발진주파수보다는 제2, 3고조파의 전력을 최대로 설계하여 혼합기의 Conversion 손실을 최소화하는 것이 중요할 것이다.

II. VCO의 구조

본 논문에서는 일본에서 시판되고 있는 단일 X band의 Radar Detector에 사용된 전압 제어 발진기를 설계 하였다. X 밴드 주파수는 10.525 GHz ± 25 MHz이다. 따라서 국부발진기로 사용할 VCO 주파수 대역은 상업적 양산을 고려하여 11.01 GHz~11.09 GHz에 대역폭은 80 MHz이고, IF 주파수는 525 MHz로 설정하였다. Radar Detector의 이해를 돕기 위해 블록도(Block diagram)를 그림 1에 나타내었다.

2차 국부발진 주파수는 535 MHz로 하여 최종 10 MHz의 신호세기를 AGC(Auto Gain Control) 전압으로 판단한다. AGC의 신호를 받아들여 DSP(Digital signal process)를 통하여 음성 및 경고음으로 운전자에게 알려주는 원리이다.

Radar Detector용 VCO의 설계는 기본 VCO 이론에 근거하여 상용 마이크로웨이브 CAD인 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, VCO를 구성하는 각 단의 회로를 각각 초기 설계한 후 전체적인 회로로 결합하여 설계 조건에 맞도록 최적화 하였다. 시뮬레이션 단계는 single stage 증폭기를 설계한 후 궤환 인자로서 발진조건을 찾고, 주파수를 결정하는 바랙터 다이오드와 결합한 마이크로 스트

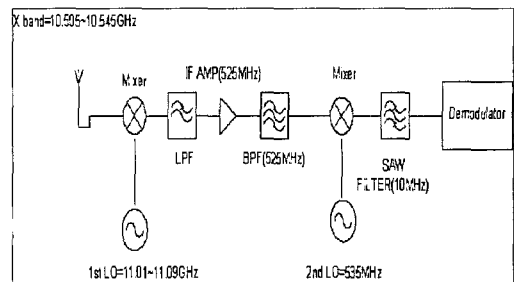


그림 1. Radar detector 블록도
Fig. 1. The block diagram of the radar detector.

립 공진 단을 설계하였다. 증폭기 소자는 저 잡음지수를 가지며 Ku band 대역까지 동작 가능한 NEC사의 HJ-FET인 NE3210S01을 이용하였으며, 비선형 데이터는 제조사에서 제공한 TOM 모델을 이용하였고, 선형 동작 시 최대 출력과 광대역 특성이 있으며 단일 소자 증폭기를 설계한 후 발진 주파수를 결정하는 마이크로 스트립 라인과 결합하여 설계하였다. 주파수 동조를 위한 바레터 다이오드는 넓은 동조범위와 직렬저항(R_s)이 0임인 SKYWORKS사의 Flip chip 타입의 GMV9821-000을 이용하였다. GMV9821-000는 위상잡음과 관계가 있는 Q 값도 우수한 특성을 갖고 있다($Q=4,000@4\text{ V } 50\text{ MHz}$). 기판은 가격과 공급을 고려하여 비유전율 $\epsilon_r=2.5$, 높이 20 mil인 테프론 기판을 사용하였다. 발진기는 크게 3가지로 구성되어 있는데 증폭기, 공진기, 궤환 회로로 이루어진다. 초기 발진은 증폭기 소자에 공급되는 DC 바이어스에 의해 발진이 시작되며 발진 출력은 점점 증가되어 안정된 정현파를 생성한다. 이때 증폭기는 RF 전력을 생성함으로써 부정저항을 가져야 한다^[5].

일반적으로 증폭기는 2-단자 망으로 해석하며 공진부와 출력 정합회로로 나눌 수 있다. 그림 2에서 나타나는 2단자 망 발진기 모델은 공진회로와 출력 정합회로 등으로 구성되며 소 신호에 의한 발진 조건은 다음과 같이 정의할 수 있다^[6].

$$K < 1 \quad (K = \text{stability factor})$$

$$\Gamma_{in} \Gamma_G = 1$$

$$\Gamma_{out} \Gamma_L = 1 \quad (1)$$

위 식을 모두 만족하면 발진기의 출력이 증가하게 되는데, 그 의미는 증폭기에 사용된 공통 소스 회로는 발진을 하고자 하는 주파수에서 소 신호 산란 계수 S_{11} , S_{22} 의 절대치가 1보다 크다는 것을 의미할 수 있다.

만일 1보다 작을 경우 궤환 요소를 소스 단에 첨가하여 증폭기의 산란계수 S_{11} , S_{22} 의 절대치가 1보다 크게 다음의 조건을 만족시킬 수 있도록 적절한 궤환 요소를 결정해야 한다^[7].

$$\text{Im}(Z_L) = -\text{Im}(Z_{out})$$

$$\text{Re}(Z_L) = -1/3 |\text{Re}(Z_{out})| \quad (2)$$

발진기의 출력 및 위상잡음을 결정하는 요소 중

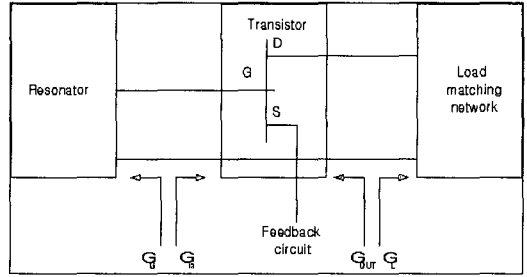


그림 2. 2 단자망 발진기
Fig. 2. The two-terminal network oscillator.

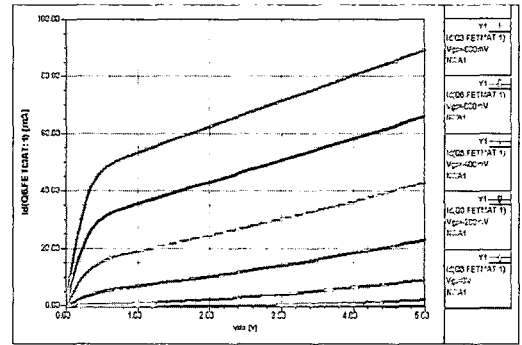


그림 3. DC 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The result of the DC simulation.

의 하나가 바로 HJ-FET의 동작점이다. 일반적으로 드레인-소스(V_{ds}) 전류가 증가하면 위상잡음이 증가하고, 반면에 감소하면 발진기의 출력이 감소한다. 특히 $1/f$ 잡음은 DC 바이어스에 영향을 줄 수 있다^[8]. 따라서 최적의 고조파 출력을 얻기 위하여 트랜스터의 I-V 특성 곡선으로부터 A급 바이어스인 $V_{DS} = 3\text{ V}$, $V_{GS} = -0.4\text{ V}$, $I_{DS} = 30\text{ mA}$ 인 점을 선택하였다.

그림 3은 동작 점 선택에 위한 DC 시뮬레이션 결

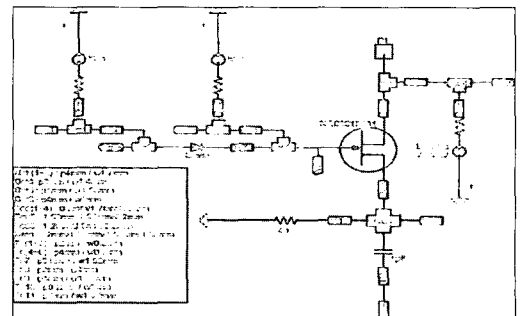


그림 4. 최적화된 시뮬레이션 회로
Fig. 4. The optimized simulation circuit.

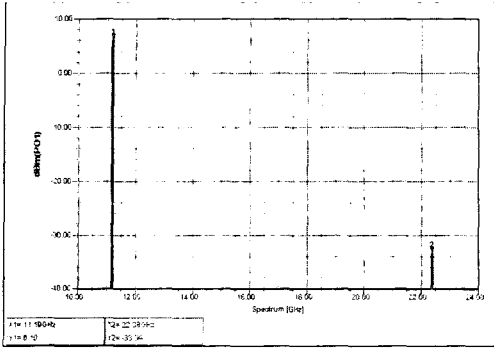


그림 5. 설계된 VCO의 발진 주파수 출력 시뮬레이션 결과

Fig. 5. The simulation result of the designed VCO oscillation frequency output.

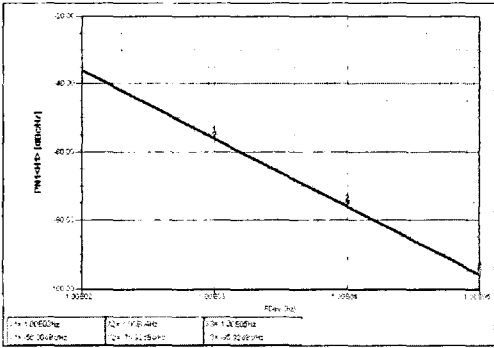


그림 6. 설계된 VCO 위상 잡음 시뮬레이션 결과

Fig. 6. The simulation result of the designed VCO phase noise.

과이다.

그림 4는 상용 CAD를 이용한 VCO 회로로서 최적화된 발진기의 시뮬레이션 회로이다. 그림 5, 그림 6은 발진 주파수의 출력과 위상잡음을 나타낸다.

시뮬레이션 결과는 기본파의 신호 크기가 +6.1 dBm, 위상잡음은 10 kHz에서 -75.92 dBc/Hz, 고조파 특성은 기본파 대비 -30 dBc 이상 억압되는 것으로 확인할 수 있었다. Radar Detector의 기능상 VCO는 위상잡음보다 기본파의 신호크기에 의존한다. 그 이유는 일반적으로 아날로그 수신기는 RF 입력신호에 음성 및 데이터 신호가 수신되지만, 반대로 Radar Detector는 음성이나 기타의 다른 정보가 없는 RF 입력 신호를 받아들이기 때문이다. 따라서 RF 신호를 먼 곳에서 탐지하기 위해서는 위상잡음보다

기본파의 크기가 더 우선한다. 따라서 위상잡음보다 신호의 크기에 중점을 두어서 시뮬레이션 하였다.

III. VCO의 제작 및 측정 결과

시뮬레이션을 바탕으로 하여 PCB 회로를 구성하였다. PCB 크기는 가로 세로 30 mm×30 mm이다. 측정 장비는 HP사의 8566B Spectrum Analyzer를 이용하여 측정하였으며, 바랙터 다이오드 인가전압은 0 V에서 12 V까지 가변하면서 주파수와 RF 출력 파워의 변화를 측정하였다.

그림 7은 제작된 VCO의 발진 출력 특성으로 11.05 GHz에서의 기본 주파수 특성으로 신호 크기가 +4.5 dBm을 나타내었다. 그림 8, 9는 각각 10 kHz, 100 kHz에서 위상잡음을 나타내고 있으며 그림 8의 10 kHz에서 $-85 \text{ dBc/Hz} [-(55 + 10\log 10^3)]$, at RBW 1 kHz를 나타내었다. 측정은 free running 상태에서

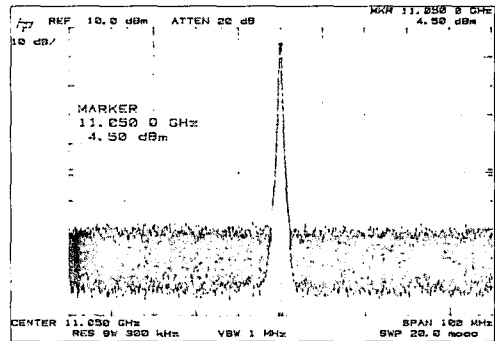


그림 7. 기본 주파수 특성

Fig. 7. The characteristic of the fundamental frequency.

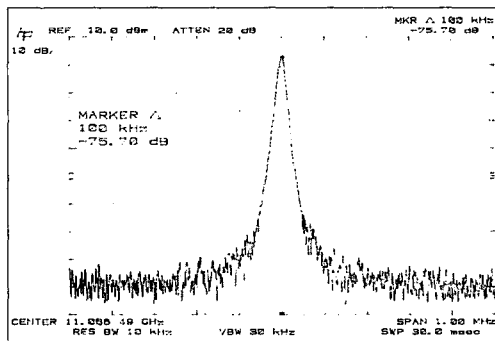


그림 8. Offset 100 kHz에서의 위상잡음 특성

Fig. 8. The characteristic of the phase noise at offset 100 kHz.

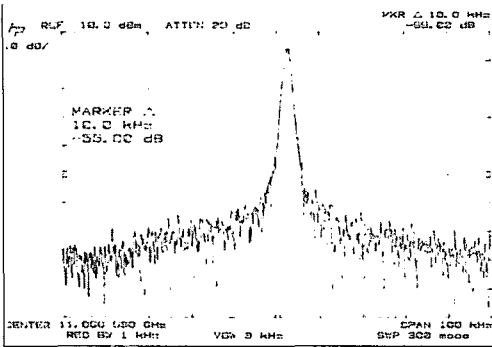


그림 9. Offset 10 kHz에서의 위상잡음 특성
Fig. 9. The characteristic of the phase noise at offset 10 kHz.

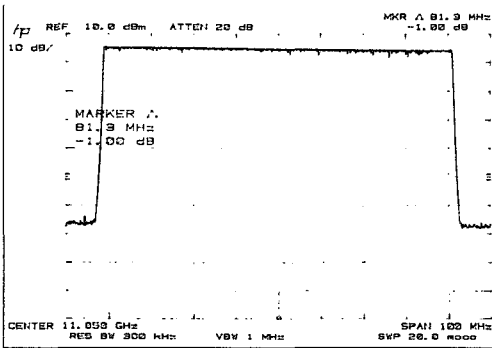


그림 10. VCO 평탄도 특성
Fig. 10. The flatness characteristic of the VCO.

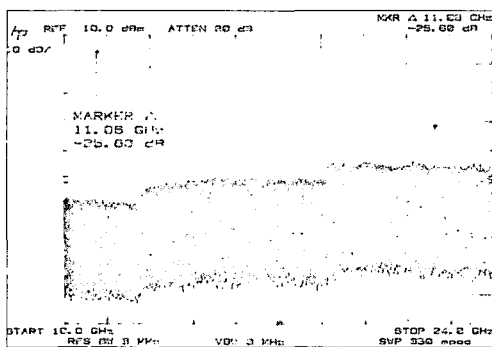


그림 11. 11.05 GHz 발진 시 고조파 특성
Fig. 11. The harmonic characteristic of the oscillation at 11.05 GHz.

하였다.

평탄도(Flatness)는 바랙터 다이오드 인가전압을 0 ~ 12 V까지 변화시켰을 때 그림 10에서와 같이 대역폭 80 MHz에서 1.0 dB의 변화량을 보였다. 제2고

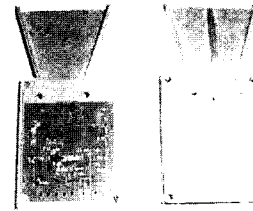


그림 12. 설계된 VCO PCB 패턴
Fig. 12. The PCB pattern of the designed VCO.

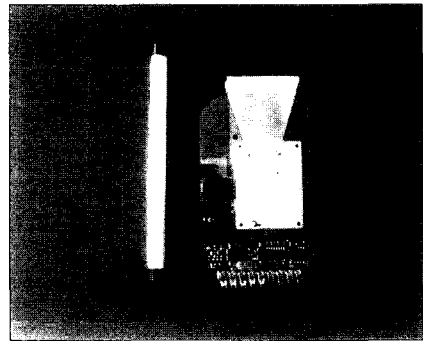


그림 13. 차량 속도 제한 사전 경보기
Fig. 13. An advance warning system of the vehicle's speed limitation.

조파 억제는 그림 11에서 -25.6 dBc를 보였으며 일반적으로 우수한 결과를 보였다.

그림 12는 금형 제작한 Horn 안테나 모듈 내부에 Radar Detector PCB 기판을 장착했을 경우의 실물사진으로 수신된 Radar Gun 시그널을 우측 중앙의 라인을 통해 기판의 급전부로 전달하여 주파수 변환 후 DSP에서 처리 가능하도록 해주는 부분의 내부 구조를 보여 주고 있다.

그림 13은 Radar Detector를 장착한 Horn Antenna와 경보장치를 결합한 실제 차량속도 제한 사전 경보기 실제 제작 사진이다.

그림 14는 상기의 측정 결과를 바탕으로 제작한 Radar Detector와 현재 시장에서 사용중인 Radar Detector의 감도 성능(Sensitivity)을 비교하기 위한 측정 방법을 나타내고 있다. 측정 방법은 Signal Generator에서 출력 전력을 공급받아 Horn Antenna로부터 직선거리 30 inch(약 77 cm) 떨어진 위치에 Radar

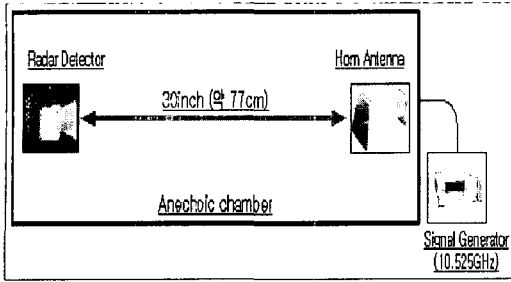


그림 14. 감도 측정 방법
Fig. 14. The method of sensitivity measurement.

표 1. 감도 측정 결과
Table 1. The result of sensitivity measurement.

	-115 dBm	-117 dBm	-120 dBm	-122 dBm
A 社	○	×	×	×
B 社	○	○	×	×
C 社	○	○	○	×
개발사료	○	○	○	○

Detector를 위치시키고 Signal Generator의 출력 레벨을 조정하면서 Radar Detector가 감지하는 정도의 출력 레벨을 비교하도록 하였다.

표 1은 타사의 제품과 논문에 소개한 Radar Detector의 성능을 비교 측정한 결과를 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차량속도 제한 사전 경보기(Radar Detector)를 제작하기 위하여 기존에 사용되던 Gunn Diode의 단점을 개선하기 위해 바랙터 Diode를 적용하여 광대역의 전압제어 발진기를 설계 및 제작하여 일반상용 요구 규격을 만족하도록 하였다.

상용 프로그램을 이용하여 전압제어 발진기를 모델링 하였고, Serenade를 통해 비 선형 시뮬레이션을 하여 최적화된 회로를 설계하였다. 설계된 회로를 Auto Cad를 이용하여 PCB 레이아웃을 실행하였다. 구현된 전압제어 발진기의 특성을 측정한 결과 공진 주파수 대역은 11.05 GHz ± 40 MHz이었고, 위상잡음은 10 kHz offset에서 -85 dBc/Hz를 얻었다. 또한

발진기 기본주파수 신호 출력 크기 +4.5 dBm과 더불어 평탄도 1 dB를 얻었다.

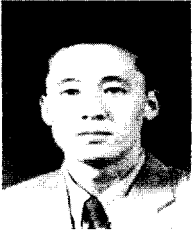
예상 시뮬레이션 결과와 비교할 때 신호크기는 약 2 dB가 감소되었으나 위상잡음은 약 9 dB 개선이 되었다. 위상잡음이 시뮬레이션 결과보다 개선이 된 것은 공진 주파수를 결정짓는 바랙터 다이오드의 Q와 직렬저항이 0 옴인 Flip chip 다이오드의 영향으로 판단되며, 기본파 출력 레벨의 감소는 출력 매칭 조건의 정확한 설계 미흡과 실제로 PCB 설계를 하였을 경우의 오차에 의한 예상 값과 측정 값의 오차가 원인으로 판단된다.

현재 상용중인 제품의 감도측정 결과와 비교하여 불 때 성능이 뛰어나기 때문에 일본용 차량속도 사전 제한 경보기로 사용 가능할 것으로 판단되며, 앞으로 K, Ka 대역의 Radar Detector도 주파수 체배기 이론을 통하여 개선한다면 미국용 차량속도 사전 제한 경보기로도 사용할 수 있으리라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] www.copradar.com
- [2] Donald S. Sawicki, *Traffic Radar Handbook*, Police Traffic Radar.
- [3] www.radarbusters.com
- [4] www.radartest.com
- [5] E. Holtzman, *Solid-state Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, Boston. London, chap. 3, 1992.
- [6] Guillermo Gonzales, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice-Hall, 1996.
- [7] Walid EL-Kamali, Jean-Paul Grim, Roman Meierer and Chistos Tsironis, "New design approach for wide-band FET voltage-controlled oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, vol. 34, no. 10, pp. 1059-1063, Oct. 1986.
- [8] 이문규, "Load Line을 고려한 마이크로파 발진의 비선형 설계에 관한 연구", 서울대학교 박사학위 논문, 1998년 2월.

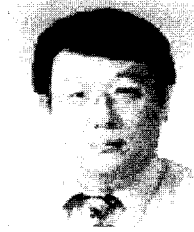
김 동 현



1992년~1999년: 충주대학교 제어
계측공학과 (공학사)
2002년~2004년: 충북대학교 전파
공학과 석사 수료
2003년 4월~현재: GT 텔레콤 연구
원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계,

능동 위상 배열 시스템

최 익 권



1981년~1987년: 매사추세츠 주립
대 안테나 연구실 연구원
1987년~1993년: 한국전자통신연구
원 이동통신연구단 선임연구원
1993년~1994년: 전북대학교 정보
통신공학과 조교수
1994년~현재: 충북대학교 전파공

학과 교수

[주 관심분야] 초고주파공학, 안테나