

차량 레이다용 VCO에 대한 연구

A study on the VCO using a vehicle radar

우민근 안수형 김현진
(광운대학교, 석사과정)

홍의석
(광운대학교, 교수)

목 차

I. 서 론	III. 설계 및 제작
1. 연구배경	1. 마이크로 스트립 공진기
2. 연구목적	IV. 측정 및 고찰
II. 마이크로 스트립 발진기	V. 결 론

I. 서 론

1. 연구배경

최근 교통량의 증가에 의하여 정보통신, 전자제어 등 첨단 기술을 활용한 새로운 통신시스템 개발로서 명명된 지능형 통신시스템(ITS : Intelligent Transport System)의 발전이 가속화 되고있는 상황이다. 그중 자동차관련사업의 경우 발전추이에 따라 통신(자동차 레이다, Navigation통신, CAN통신) 및 안전운행보조장치(차선이탈·졸음방지 경보, 안전거리확보) 분야가 차세대 통신 및 자동차시장을 주도하는 중요기술로 이슈화되고 있다. 이러한 ITS의 핵심 기술들의 가장 기반이 되는 기술이 RF 및 Microwave 분야라 할 수 있다. 초고주파 통신의 핵심 부품인 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier), 발진기(Oscillator), 혼합기(Mixer), 중간주파수 증폭기(IF Amplifier) 등의 설계 기술이 발전하고 있다. 하지만 국내 기술수준은 초고주파대의 무선기술의 부족과 RF관련 핵심부품의 낙후 등의 문제로 국내 자체 개발에 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해서는 초고주파 핵심부품(ASIC, MMIC) 기술 등의 빠른 확보가 필요하다.

초고주파 시스템의 성능과 용량에 가장 영향을 주는 직접기술은 RF 회로이다. 초고주파 시스템을 사용하기 위한 국부발진기는 마이크로 시스템의 통신시스템의 모든 신호원과 같이고 안전성이 요구된다. 발진기는 정보량이 많아지므로 높은 발진 주파수를 필요로 하게 되었고 주파수 안정도와 위상잡음이 전체 시스템의 데이터 오류 특성에 중요한 영향을 미치므로 발진기의 발진 주파수 안정화시키려는 여러 가지 방법들이 사용되었다. [7]

2. 연구목적

자동차보급이 1000만대를 돌파한 현시점에서 보다 안전하고 지능적인 자동차를 원하는 소비자의 욕구를 만족시켜 저

가의 자동차 충돌방지용 레이다의 공급이 시급한 시점이다. 뿐만 아니라, 운전자의 고령화가 진전됨에 따라 자동제어 및 운전보조장치의 필요성이 절실해지고, 눈, 안개, 폭우 등의 악천우시에 동작이 가능한 지능형 시스템을 요구하는 시대에 들어서고 있다. 자동차가 도로를 달릴 때 비나 눈, 안개 등의 기상장애로 시야가 확보되지 않을 경우에는 이러한 레이다의 필요성이 더욱 요구된다. 자동차용의 레이다는 타 레이다와는 달리, 예측하는 장애물이 자동차나 오토바이, 사람 등의 비교적 소형인 관계로 측정용 빔이 매우 좁아야 장애물의 판독 및 분리가 가능하다.[2]

자동차 레이다 사업 관련기술 및 제품은 세계적인 추세를 따르려고 하고 있으나 기초기술의 부족으로 국내자동차업체에서도 아직 사업화 되지 않고 있으며 관련자료 및 연구팀을 구성하고 있는 실정이다.

기존의 자동차 레이다의 경우, MMIC방법으로 추진·연구하고 있으나 MMIC방법을 통한 송수신 방법은 제작이 어려워 수천개증 한 개정도도 생산 수급률이 낮아 시장경쟁력이 떨어질 뿐만 아니라 내구성이 약해 사용기간이 짧은 등 회로의 제작에 어려움이 많이 산재해 있다. 또한 가격대비 성능 및 보급화가 중요한 점으로, 기존의 시스템은 도로의 환경(흙탕물, 기후, 도로의 상태)에 상당히 민감하고 가격 또한 너무 높아 경쟁력이 없다.

본 연구는 차량용 Radar용 전압제어 발진기에서 요구하는 광대역 특성을 만족시키기 위한 연구이다. 그 예로 지금까지 가장 많이 사용하고 있는 X-Band Radar detector용 전압제어 발진기 설계를 목표로 하였다.

연구방법으로는 먼저 지금까지 일반적으로 사용해온 Microstrip 발진기, Hairpin 발진기, DR 발진기의 논문 및 자료를 통하여 학습한다. 다음으로는 X-Band Radar detector용 전압제어 발진기에 사용되는 발진기 종류를 알아보고 성능을 비교하여 보았다. [4,6,7]

발진기 설계방법을 선택한 후 simulation 및 실험을 통하여

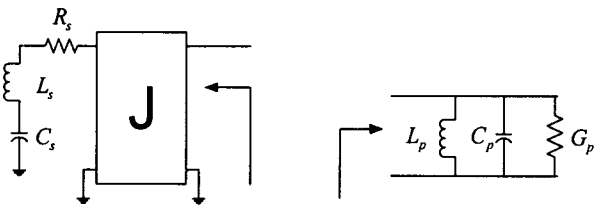
비교 검토하였다.

II. 마이크로 스트립 발진기

1. 마이크로 스트립 공진기

발진기의 위상잡음 특성에 영향을 주는 주요 요인으로는 반도체 소자의 저주파 잡음인 1/f noise, 발진기의 능동소자의 동작점에 의해 결정되는 저주파 잡음의 주파수 상향변환(up-conversion), 발진기의 공진 특성에 의한 상향 잡음의 shaping에 의해 결정이 된다. 저주파 잡음수준이 낮은 소자로는 Si-BJT나 Si-Ge HBT등이 좋은 특성을 가지고 있으나 10GHz 대역에서는 상용적으로 사용할 수 있는 개별소자가 많지 않아 X대역에서는 이득이 높은 MESFET나 HEMT를 사용하고 있다. 일반적으로 MESFET이나 HEMT는 Si-BJT 소자에 비해 저주파 잡음수준이 10~20 dB정도가 높은 것으로 알려져 있다.[7]

다음 그림 2-1에서 병렬공진회로의 값은 다음과 같다.



<그림 2-1> 인버터를 이용한 직렬공진회로의 병렬공진회로의 변환

$$C_p = J^2 L_s \quad (2-1)$$

$$L_p = \frac{1}{\omega_0^2 C_p} \quad (2-2)$$

$$G_p = J^2 R_s \quad (2-3)$$

직렬 공진회로의 Q_s 값과 병렬공진회로의 Q_p 값은 다음과 같다.

$$Q_s = \frac{\omega_0 L_s}{R_s} \quad (2-4)$$

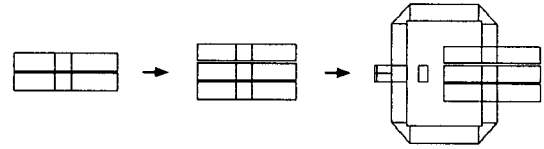
$$Q_p = R_p \omega_0 C_p = \frac{\omega_0 J^2 L_s}{J^2 R_s} = Q_s \quad (2-5)$$

따라서 직렬공진 회로를 병렬공진 회로로 변환시키는 경우 공진기의 Q 값에는 변화가 없다. 하지만 직렬공진 회로를 J 인버터를 통해 보게 되면 병렬공진 주파수 부근에서의 서셉턴스는 아래와 같이 된다.

$$B = J^2 \frac{\partial X(\omega)}{\partial \omega} \Big|_{\omega = \omega_0 + \delta\omega} \quad (2-6)$$

여기서 $\delta\omega = \omega - \omega_0$

위의 식(2-6)에서 서셉턴스의 주파수 기울기를 증가시키기 위해서는 J인버터의 값이 커져야 함을 알 수 있다.



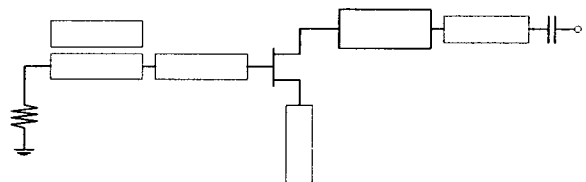
<그림 2-2> 제안된 마이크로스트립 공진기 결합구조

그림 2-2는 일반적인 마이크로스트립 결합구조와 제안된 마이크로스트립 결합구조를 보여주고 있다. 그림3에서 일반적인 갭 결합된 마이크로 스트립 공진기에서 J값은 아래와 같다.

$$J = \frac{Z_{oe} - Z_{oo}}{2Z_o^2} \quad (2-7)$$

위에 식에서 J값을 크게 하기 위해서는 even impedance와 odd impedance의 차이를 크게 해야 한다. 이것은 간극을 작게 함으로써 얻을 수 있다.

그림2-2는 많이 사용되며 기본적인 공진기인 첫 번째 그림을 응용하여 다음 그림과 같이 양방향에서 결합이 되게 설계하였다. 마지막 그림은 동조대역폭을 개선하기 위한 제안된 구조의 마이크로 스트립 공진기이다. 그림 2-3은 일반적인 구조의 마이크로스트립 공진 발진기를 나타낸다.

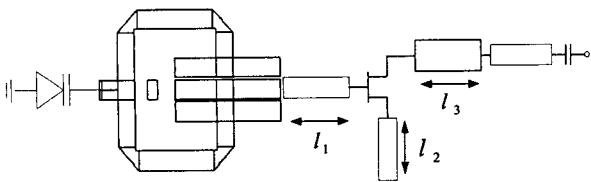


<그림 2-3> 일반적인 구조의 마이크로스트립 공진 발진기

III. 설계 및 제작

본 논문에서는 발진기의 설계의 의해서 초고주파 비선형 설계도구인 Agilent사의 ADS ver.2002를 이용하여 설계를 하였다. Line Calculation을 통해 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스에 해당하는 폭과 파장을 구하였으며 공진부는 마이크로스트립 공진부 형태로 주파수는 9.5 GHz에 맞도록 설계 하였다. 능동소자로는 저 잡음 지수를 갖고 위상잡음을 최소화할 수 있으며 부성저항을 쉽게 얻을 수 있는 소자인 GaAs MESFET인 NEC사의 NE722S01을 이용하였다. 기판은

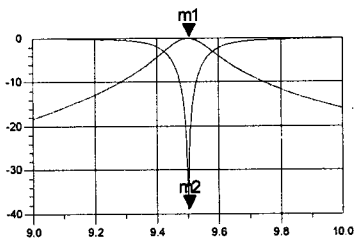
$\epsilon_r = 2.6$, H=0.54 mm, T=0.018 mm인 Teflon 기판을 사용하였다.



<그림 3-1> 제안된 구조의 마이크로스트립 VCO

그림 3-1의 발진기는 실무에서 가장 많이 사용하는 구조로 회로구성이 간단하고 부하변동에 따른 주파수 변화와 출력변화가 작은 소스 직렬 케환형으로 구성하였다.

그림 3-1의 회로가 직렬 케환형 마이크로스트립 공진 발진기의 구조를 나타내고 있다면, 이때 마이크로스트립 공진기는 그림 3-2와 같이 대역 저지 필터 특성을 갖게 된다.



m1	m2
Frequency=9.5 GHz	Frequency=9.5 GHz
dB(S(1,1))=-0.087 dB	dB(S(2,1))=-39.045 dB

<그림 3-2> 마이크로스트립 공진기

초기 발진 조건은

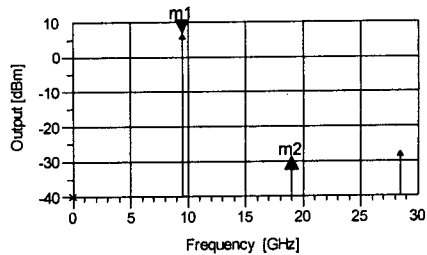
$$R_e [Z_{out}] < 0 \quad (3-1)$$

$$I_m [Z_{out}] = - I_m [Z_L] \quad (3-2)$$

이다.

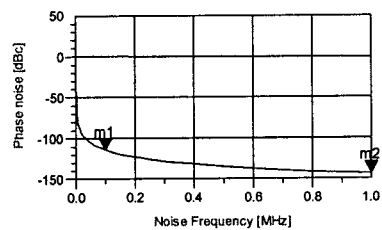
식 (3-1), (3-2)에서 실수부는 부성저항 값을 나타내며 허수부는 0을 나타낸다. l_1 , l_2 와 l_3 의 길이를 조정하여 위상조건과 부성저항 발생조건을 만족시킬 수 있다. 그림 3-1의 마이크로스트립 공진기에서 결합이 잘 일어나도록 l_1 을 조절하였으며 FET의 게이트 단을 바라본 반사계수가 최대가 되도록 l_2 을 최적화하고 공진부의 결합선로 길이 l_1 을 조절함으로써 발진 주파수를 쉽게 조절할 수 있도록 설계하였다.[1]

그림 3-3, 그림 3-4은 시뮬레이션 결과로 발진기의 전력스펙트럼과 Phase noise을 나타내고 있다. 그림 3-3에서는 전력스펙트럼이 -35 dBc 이상의 2차 고조파 특성을 나타내고 있다. 그림 3-4 또한 Phase noise가 각각 1 MHz에서 -143.5 dBc, 100 kHz에서 -114.2 dBc을 나타내었다.



m1	m2
Frequency=9.5 GHz	index Delta= 9.5 GHz
Output power= 6.712 dBm	dep Delta= -35.584 dB
	delta mode ON

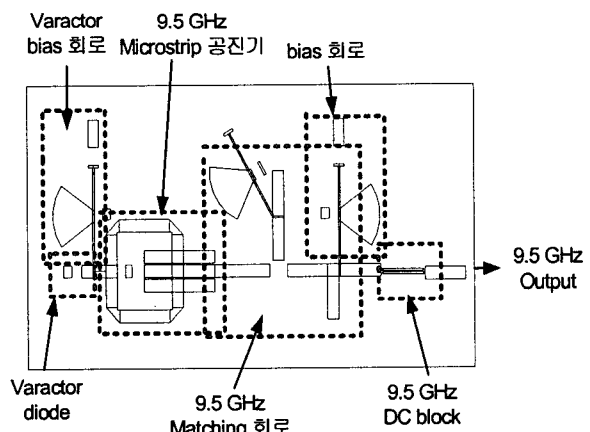
<그림 3-3> 마이크로스트립 발진기의 전력 스펙트럼>



m1	m2
Noise Frequency= 100.0 kHz	Noise Frequency= 1.000 MHz
Phase noise= -114.2 dBc	Phase noise= -143.5 dBc

<그림 3-4> 마이크로스트립 발진기의 Phase noise

그림 3-5는 발진기 전체 회로를 나타낸 그림으로 각각의 작은 회로로 구분하여 설명하고 있다.



<그림 3-5> 마이크로스트립 발진기의 블럭도>

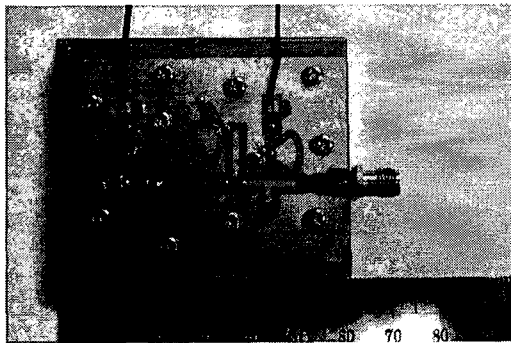
IV. 측정 및 고찰

회로 제작에 위한 Teflon 기판의 비유전율(ϵ_r)은 2.6, 유전율 높이(H)는 0.54 mm, 그리고 동판 두께가 0.018 mm이다. 바랙터 다이오드는 MA/COM사의 MA-46471를 사용하였습니다.

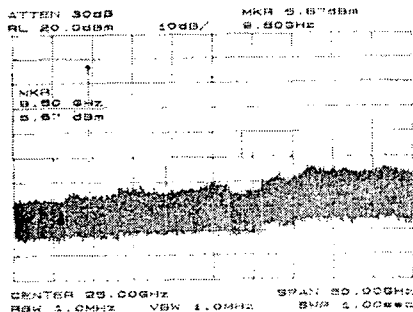
마이크로스트립 공진 발진기의 발진주파수를 측정하기 위

한 장비로는 스펙트럼 분석기 HP8563E를 이용하였다. GaAs FET의 바이어스는 $V_{ds}=3.0\text{ V}$, $I_{ds}=30\text{ mA}$ 이고, 게이트 바이어스는 자기 바이어스 형태로 취하여 기본주파수의 출력을 높이도록 하였다.

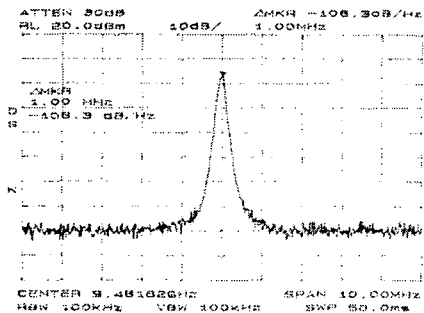
그림 4-1은 마이크로스트립 발진기의 실물사진을 나타내고 있으며 그림 4-2는 마이크로스트립 발진기의 측정 결과로써 6.2 dBm의 출력과 -38 dBc의 고조파 억압특성을 나타내고 있다. 그림 4-3, 그림 4-4, 그림 4-5는 각각 1 MHz, 500 kHz, 100 kHz의 offset에서 마이크로스트립 발진기의 위상잡음 특성을 측정한 결과이다. (-108.3 dBc/Hz@1MHz, -98.78 dBc/Hz@500kHz, -80.0 dBc/Hz@100kHz) 다음으로 그림 4-6 마이크로스트립 발진기의 동조된 스펙트럼을 측정한 결과이다.



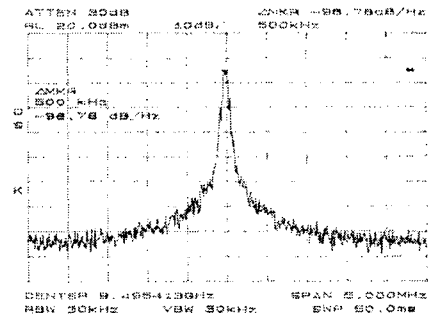
<그림 4-1> 마이크로스트립 발진기의 실물사진



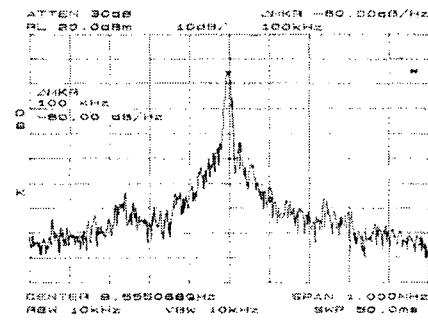
<그림 4-2> 마이크로스트립 발진기의 고조파 억압특성



<그림 4-3> 1MHz offset에서 마이크로스트립 발진기의 위상잡음 특성



<그림 4-4> 500kHz offset에서 마이크로스트립 발진기의 위상잡음 특성



<그림 4-5> 100kHz offset에서 마이크로스트립 발진기의 위상잡음 특성

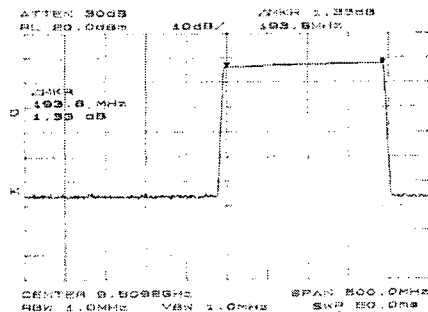


그림 4-6 마이크로스트립 발진기의 동조된 스펙트럼

V. 결 론

<표 1> 제안된 마이크로스트립 공진 발진기의 설계치와 측정치 비교

	설계치	측정치
Frequency	9.5 GHz	9.5 GHz
Output power	6.7 dBm	6.2 dBm
Phase noise	-114dBc/Hz@100kHz	-80.0dBc/Hz@100kHz
	-130dBc/Hz@500kHz	-98.78dBc/Hz@500kHz
	-140dBc/Hz@1MHz	-108.3dBc/Hz@1MHz
Harmonics	-35 dBc	-38 dBc
Tuning range	300 MHz	193 MHz
Tuning flatness	$\pm 1\text{ dBc}$ 이하	1.33 dBc

본 논문에서는 레이더 시스템의 핵심기술인 광대역 특성을 갖는 제안된 구조의 마이크로스트립 공진 발진기를 설계하였으며, 능동소자는 NEC사의 NE722S01를 이용하여 9.5 GHz를 설계하였다. 제한된 구조의 마이크로 스트립 VCO 회로의 가장 큰 장점은 일반적인 구조의 VCO보다 광대역 특성이 우수함을 나타내었다.(193 MHz) 설정 주파수 9.5 GHz에서 6.2 dBm의 출력과 -38 dBc의 고조파 억압특성을 나타내었고, 각각의 1 MHz, 500 kHz, 100 kHz의 offset에서 마이크로스트립 발진기의 만족할만한 위상잡음 특성을 나타내었다.(-108.3 dBc/Hz @1MHz, -98.78 dBc/Hz@500kHz, -80.0 dBc/Hz@100kHz) 제한된 구조의 마이크로 스트립 VCO 회로는 차량용 감지기에 응용하여 사용하여 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. E. Holtzman, Solid-state microwave power oscillator design, Artech House, Boston. London., chap. 3, 1992.
2. 이상설, 강정수 “레이더 공학” 보성문화사 chap.3. 1999
3. V. Gungerich, et al. "Nonlinear Design and Experimental Results of a Low-Noise Varactor Tunable Oscillator using a Coupled Microstrip Resonator" 1992 IEEE MTT-S international Microwave Symposium Digest, vol. 2, PP549-552. 1992.
4. Y. D. Lee, et al. "Voltage controlled hair-pin resonator oscillator with new tuning mechanism " IEE Electronics Letters, vol. 36, no.17, pp.1470-1471. Aug.2000.
5. Moon-Que Lee, et al "phase noise reduction of microwave HEMT oscillators using a dielectric resonator coupled by a high impedance inverter" ETRI journal, vol.23, no.4, pp 199-201, Dec,2001.
6. 이영준 “ 단거리 전용통신용 위상잡음 특성을 개선한 유전체공진 발진기” 제1회 ITS학회 학술대회, pp134-137, 2002.
7. 이영준 “ Feedforward 구조의 주파수 체배기를 이용한 PLDRO의 설계 및 제작” 광운대학교 석사학위논문, 광운대학교 대학원, 전자공학과, pp41-45, 2002.