

다중 대역 레이더 탐지기용 광대역 주파수 체배 VCO 구현에 관한 연구

정희원 박 옥 기*, 강 석 엽*, 고 민 호*, 종신회원 박 효 달*

A Study on the Realization of Broadband Frequency Multiple VCO for Multi-Band Radar Detector

Wook-Ki Park*, Suk-Youb Kang*, Min-Ho Go* *Regular Members*,
Hyo-Dal Park* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 X/K/Ka 대역 레이더 탐지기(RD : Radar Detector)에 사용 가능한 주파수 체배기를 이용한 전압제어 발진기(VCO : Voltage Controlled Oscillator)를 설계 제작하였다. 기존 레이더 탐지기에 사용된 VCO는 좁은 대역폭과 느린 주파수 가변 속도, 높은 주파수로 인한 양산성의 불안정 등 문제점이 있었다. 이 모든 단점을 개선한 주파수 체배기를 이용한 VCO를 설계 제작하였다. 연구된 주파수 체배 VCO는 측정 결과 발진 주파수는 11.27 GHz, 그때의 출력 전력은 3.64 dBm이며, 바랙터 다이오드에 인가되는 제어 전압을 0 V에서 4.50 V까지 가변 하였을 때 660 MHz의 넓은 주파수 동조 범위를 보였다. 또한 1 MHz의 오프셋 주파수에서 -104.0 dBc의 위상잡음 특성을 나타내어 상용 목적에 적합한 성능을 얻었다.

Key Words : Radar Detector, Frequency Multiplier, VCO, Multi-Band, Oscillator.

ABSTRACT

In this paper, we design and fabricate a VCO(Voltage Controlled Oscillator) for radar detector of X/K/Ka band using frequency multiplier. The existing VCO operated in radar detector have many problems such as narrow bandwidth, slow frequency variable rate, unstable of production due to high frequency. So we design and fabricate a VCO improved such problems using frequency multiplier. As a result of measure, investigated frequency multiple VCO show its output power 3.64 dBm at multiplied operating frequency 11.27 GHz and have wide frequency tuning range of 660 MHz by controlled voltage 0V to 4.50 V applied diode. And also its phase noise is -104.0 dBc at 1 MHz offset frequency so we obtain suitable performance for commercial use.

I. 서론

최근 광대역 멀티미디어 서비스에 관련된 요구가 높아짐에 따라 밀리미터파 및 마이크로파의 높은 주파수를 이용하는 통신 시스템에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이로 인하여 높은 주파수 대역에서

넓은 대역폭을 가변 할 수 있는 VCO의 필요성은 더욱 증가하고 있다. 오래전부터 마이크로파 주파수(X, K, Ka 대역)를 이용한 고속 차량 단속용 장비인 스피드건이 사용되고 있으며, 또한 최근에는 전 세계적으로 운전자의 안전을 위하여 스피드건으로부터 발사되는 신호(X, K, Ka 대역)를 수신하여 사용

* 인하대학교 전자공학과 초고주파 및 항공전자통신 연구실({qkrndnrl, int-ksy}@hanmail.net, sydney989@hanafos.com, hdpark@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-09-375, 접수일자 : 2005년 9월 10일

자에게 특정 신호음이나 음성으로 경고 메시지를 주는 레이더 탐지기(Radar Detector)가 의무화 및 대중화 되고 있다. 최근에는 레이더 탐지기로 수신 가능한 주파수 대역 내에 안전을 위하여 사용되는 대역까지 할당되고 있는 추세이다. 이로 인하여 레이더 탐지기 제조사들은 성능 외에 생산성 향상과 가격적인 측면에서도 경쟁력을 갖춘 제품 개발을 위한 노력을 계속하고 있다.

스피드전에서 사용되고 있거나, 안전용 대역 등 레이더 탐지기를 개발하는데 고려해야 하는 대역은 표 1과 같이 크게 X, K, 그리고 Ka 대역 세 대역이며, 세분화된 대역으로는 12개 대역 정도이다. 이 중에는 탐지를 해야 하는 대역과 다른 통신기에 방해를 주지 않기 위하여 방사를 하지 말아야 하는 대역으로 크게 구분된다^[1].

최근에는 X, K 대역의 스피드전은 점차 사라지고 있으며 Ka 대역 스피드전만 지속적으로 증가하는 추세이나, 아직 많은 지역에서 X, K 대역을 이용하는 스피드전이 사용되고 있다^[2].

이러한 간헐적이고 넓은 대역의 신호를 검출할 수 있도록 레이더 탐지기를 개발하려고 할 경우 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 일반적으로 첫 번째 LO(Local Oscillator)로 사용하는 VCO의 가변 범위가 넓어야 한다는 것은 공통적인 요구 사항이라 할 수 있다.

표 1. 스피드전의 대역 분포

주파수 대역	주파수(GHz)	탐지 경고 대역	방사 주의 대역
X-Band	10.525 ± 0.05	○	
K-Band	24.150 ± 0.125	○	
Ka-Band	33.400	○	
	33.800	○	
	34.300	○	
	34.7 ± 1.3	○	
	34.940	○	
	35.500	○	
KaSW	36.000	○	
	33.4~36.0	○	
Safety	24.070 ± 0.01	○	
	24.110 ± 0.01	○	
	24.190 ± 0.01	○	
	24.230 ± 0.01	○	
VG-2	11.500 ± 0.25	○	○
Spectre I	13.300 ± 0.2	○	○
Spectre II	12.700	○	○
K-POP	24.150 ± 0.125	○	
Ka-POP	33.800 ± 0.175	○	
VSAT	11.7~12.2		○
UHF	0.05~2.0		○

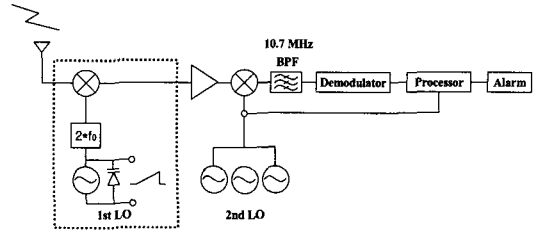


그림 1. RD의 블록도

본 논문에서는 그림 1과 같은 구조의 레이더 탐지기의 첫 번째 LO로 사용될 우수한 성능의 광대역 VCO에 관하여 연구하였다.

제안된 구조는 그림 1과 같이 안테나로부터 입사된 X, K, Ka 대역의 신호가 1차 LO에서 발생하는 LO, 2LO, 3LO중 특정 파와 혼합기에서 변환되어 이를 증폭 한 후 2개 또는 3개인 2차 LO 발진기의 선택에 의해 발생하는 신호와 두 번째 혼합에 의해 IF인 10.7 MHz로 변환된다. 변환된 IF신호를 복조 및 신호처리 과정을 거쳐 경보를 주게 된다.

예시로, 24.265 GHz의 주파수가 스피드 전으로부터 방사되었다면 그림 1의 1차 LO가 11.090 GHz, 2차 LO가 2074.3 MHz일 때 10.7 MHz의 IF가 생성된다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 2장에서는 VCO 및 주파수 체배기의 이론에 대한 설명하였으며, 3장에서는 이론을 바탕으로 설계 및 제작한 과정을 설명하였고, 4장에서는 결론을 정리 하였다.

II. 이론

2.1 발진부 이론

발진기의 초기 발진은 능동소자에 공급되는 DC 전력의 노이즈 레벨에서 발진이 시작되어 발진출력이 점점 성장하여 정상상태에 이르러 안정된 정현파를 만들어 낸다. 이러한 기능은 부성저항의 개념을 이용하는데, 주로 부성 저항의 소자로는 다이오드와 같은 2단자 소자가 이용되지만 트랜지스터와 같은 3단자 소자도 궤환 회로망을 첨가해서 부성저항의 특징을 갖도록 하여 발진기에 응용할 수 있다. 그림 2는 2단자 회로망에 근거한 발진기 구성도를 나타낸다.

2단자 발진기 회로망은 능동소자와 궤환 회로로 구성된 발진부와 안정된 발진 주파수를 발생시키기 위한 공진부 및 믹서회로 입력단과 임피던스 정합을 위한 출력 정합회로로 구성된다^{[3][4]}.

발진부의 입력과 출력 측에서 바라본 반사계수는

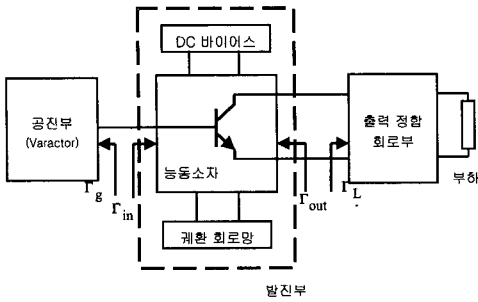


그림 2. 일반적인 VCO 블록 다이어그램

다음과 같이 표현된다.

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (1)$$

$$\Gamma_{OUT} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \quad (2)$$

스미스 차트(Smith chart)에 $|\Gamma_{IN}|$, $|\Gamma_{OUT}|$ 이 1인 원을 표시함으로써 부정 저항을 나타내는지의 여부 즉, 발진이 일어날 수 있는지의 여부를 판단할 수 있으며 일반적인 발진조건은 다음과 같다.

$$K < 1 (K = \text{stability factor}) \quad (3)$$

$$\Gamma_{IN}\Gamma_{OUT} = 1 \quad (4)$$

$$\Gamma_{OUT}\Gamma_L = 1 \quad (5)$$

발진을 위해서는 $K < 1$ 인 불안정(unstable) 영역에 있어야 하며 만약 안정도지수(K)가 1보다 크다면 회로의 구조를 바꾸거나 정계환 특성을 갖는 개환 회로를 추가해야 한다.

입출력 단에는 원하는 주파수 및 부하 조건에서 발진이 일어나도록 구성된 공진부 및 정합회로를 부가 시킨다. 발진조건 식 (4)와 (5)는 어느 한 단자에서 발진을 한다면 또 다른 한쪽 단자에서도 발진이 일어나는 것을 말한다. 공진부 반사 계수 $|\Gamma_{IN}|$ 의 크기는 1보다 작으므로 $|\Gamma_{IN}|$ 이 1보다 커야하며 원하는 발진 주파수에서 안정된 발진 상태를 유지 하기 위해서는 공진부의 Q값이 커야 한다^{[5][6]}.

2.2 주파수 가변부 이론

전압제어발진기(Voltage-Controlled Oscillator : VCO)는 제어 전압에 의해서 출력 주파수를 가변시킬 수 있는 부품으로 이런 기능을 위해서 공진회로에 역방향의 제어 전압에 따른 커패시턴스 값이 가

변되는 바랙터(varactor) 다이오드를 사용한다.

일반적인 VCO의 공진부의 회로 구조는 그림 3과 같다.

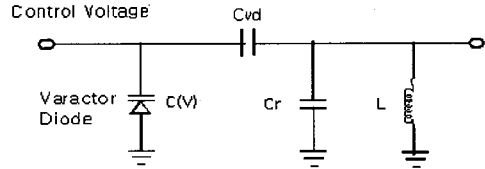


그림 3. VCO의 공진기 구조

공진기 내에서의 전체 커패시턴스 $C(t)$ 는 식 (6)으로 주어진다.

$$C(t) = \frac{C(v)C_{vd}}{C(v) + C_{vd}} + C_r \quad (6)$$

여기서 C_{vd} 는 제어전압에 따른 바랙터 다이오드의 가변 커패시턴스 값을 나타낸다.

2.3 주파수 체배기 이론

주파수 2 체배기는 상대적으로 높은 이득과 구성하기 쉬운 회로로 주파수 체배기 중에서도 가장 일반적으로 쓰이는 회로이다. 수동 소자를 사용한 주파수 체배기가 변환 손실을 갖는 반면 체배수가 낮은 경우에는 BJT와 FET 같은 능동 소자를 사용하며 변환 이득과 넓은 대역폭이 가능하다.

일반적으로 주파수 체배기의 구조는 증폭기와 비슷하며 다른 것은 출력단에 n 차 하모닉 정합회로이다. 구조는 그림 4와 같이 입력단에 바이어스 회로와 입력단에 입력 주파수에 대한 정합회로 그리고 하모닉 제거회로, 또 출력단에는 원하지 않는 하모닉 성분 제거회로 및 n 차 하모닉 성분 정합회로 등으로 구성된다^[7].

능동 소자인 FET를 이용한 주파수 체배기는 소자의 비선형적인 특성을 이용한다.

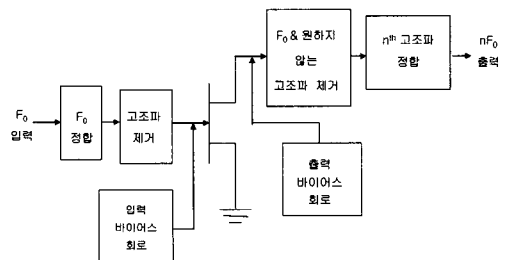


그림 4. 체배기의 구조

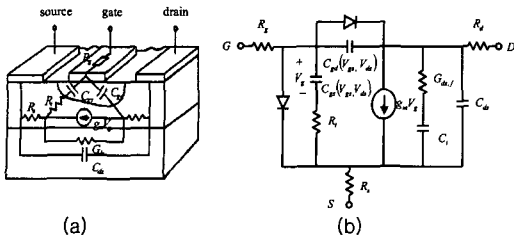


그림 5. GaAs FET의 (a)단면도 (b)등가 회로

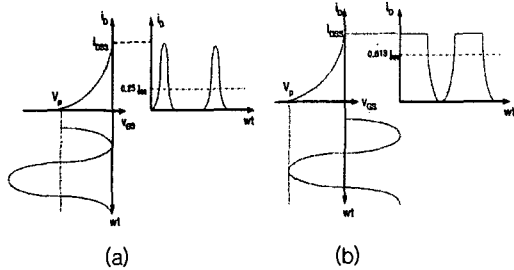


그림 6. 특성 (a)핀치-오픈 바이어스 (b)Ids바이어스

그림 5는 FET의 단면도와 등가회로이며 이 등가 회로에서 하모닉 성분을 발생시키는 비선형 요소들은 게이트-소스간의 비선형 캐패시턴스 (Cgs), 바이어스 조건에 따른 Ids의 왜곡, Vgs-Ids 전달 특성 등이 있다.

또한 Ids 왜곡에 의한 비선형성은 바이어스 조건에 따라 그림 6과 같이 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째로 그림 6 (a)와 게이트-소스에 Vp 전압을 걸어주는 pinch-off 바이어스이다. 이때 게이트 전압이 pinch-off 지점 아래에서 스윙할 때 드레인 전류가 클리핑 되기 때문에 입력 전압 파형의 positive 부분만 나타나게 된다. 두 번째로 그림 6 (b)와 같이 게이트-소스 전압을 0V로 하여 Idss 바이어스를 할 수 있다⁸⁾.

먼저 주파수 체배기로서 동작하기 위해 원하고자 하는 대역에서 안정영역에 있어야 하며 안정도 지수인 K가 1보다 커야 한다. 또한, 입력단에 하모닉 성분 제거 여파기와 출력단에 기본 주파수 또는 원하지 않는 주파수를 억압하는 여파기를 삽입해야 한다.

III. 설계 및 제작

3.1 VCO부 설계

전압 제어 발진부에 사용된 능동소자는 infineon사의 Si-BJT BFP520로 이를 비선형 모델링하여 사용하였으며, 균일한 바이어스와 노이즈를 억제시키기 위해 모토롤라의 NPN MMBT3904 트랜지스

터를 사용하여 자기 바이어스 회로를 구성하였다.

발진부는 전압 분배 바이어스 회로와 콜피츠 구조로 구성하였고 공진부는 일반적으로 사용하는 마이크로 스트립라인과 캐패시터를 사용하여 설계였으며, 주파수를 가변하기 위해 내부 인덕턴스가 적은 Alpha사의 SMV 1247-079 바랙터 다이오드를 사용하여 설계하였다.

RF 초크는 특성 임피던스 보다 훨씬 높은 임피던스를 가지는 $\lambda/4$ 마이크로 스트립 라인으로 구현하여 직류는 통과시키고 특정 교류신호는 차단하게 하였고, 부성저항을 갖게 하기 위해 베이스와 이미터에 마이크로 스트립 라인을 두어 조절하였으며, 공진부와 발진부를 정합하기 위해 Open Stub를 이용하였다.

3.2 주파수 체배부 설계

체배기에 사용한 능동소자는 NEC사의 FET NE4210S01로 TOM 모델링하여 설계하였으며 구조는 회로가 간단하고 단일 극성의 전원 전압을 사용하기 위하여 게이트단에 0 전압을 인가하는 Idss 바이어스 회로로 설계하였다.

주파수 체배기의 입력단에는 VCO 출력단에서 출력되는 신호원에 포함하는 잡음 성분을 제거하고 안정된 출력 신호원을 확보하기 위하여 대역저지 여파기를 부가하였다.

드레인 바이어스 회로는 광대역 특성이 좋은 open radial stub를 $\lambda/4$ 보다 작게 이용하여 구성하였으며, RF 초크는 VCO에서 설계한 것과 동일하게 $\lambda/4$ 마이크로 스트립 라인을 이용하였다.

출력측 회로는 최종적으로 원하는 주파수인 VCO에서 발생된 신호의 2차 하모닉 성분만을 통과시키기 위해 대역통과 여파기를 모멘텀 시뮬레이션 하여 사용하였으며, 주파수 체배기에서 출력되는 VCO의 기본 주파수 성분을 억압하기 위해 $\lambda/4$ open stub를 설계하여 사용하였다.

모든 설계는 Agilent Technologies사의 상용 해석 Tool인 ADS를 이용해 선형 방법으로 대략적인 소자 값을 결정한 후 HBM(Harmonic Balance Method)으로 설계하였으며, 그림 7은 VCO와 주파수 체배기를 통합한 것으로 VCO 출력단과 주파수 체배기 입력단 정합은 전체 크기를 줄이기 위해 인터스테이지 정합을 하였다.

3.3 모의 실험 결과

다음 그림들은 설계된 최종 회로인 그림 7 회로를 모의 실험한 결과이므로 그림 8과 그림 9는 주파

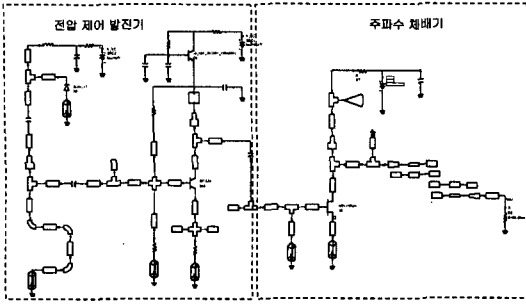


그림 7. 주파수 체배 VCO 회로

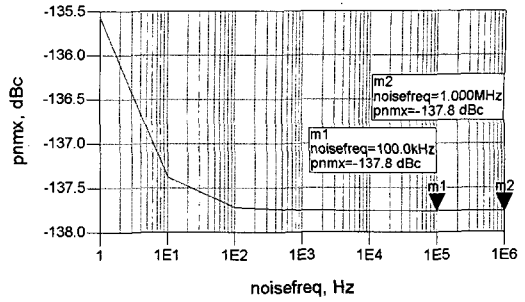


그림 10. 주파수 체배 VCO의 위상잡음

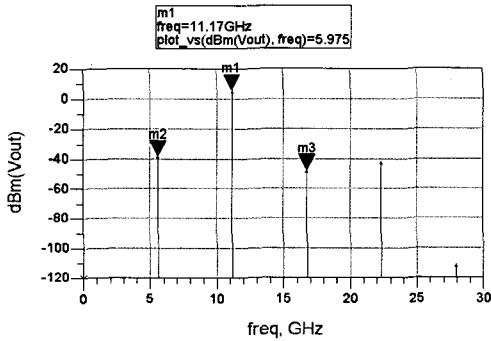


그림 8. 주파수 체배 VCO의 출력(주파수 축)

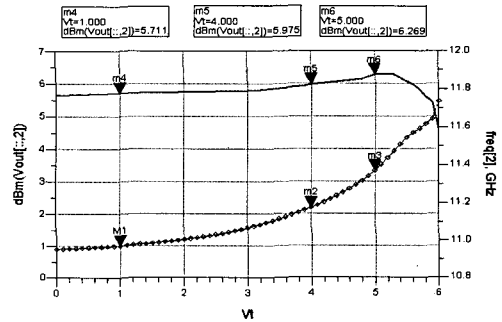


그림 11. 인가전압에 따른 주파수 변화 및 출력 변화

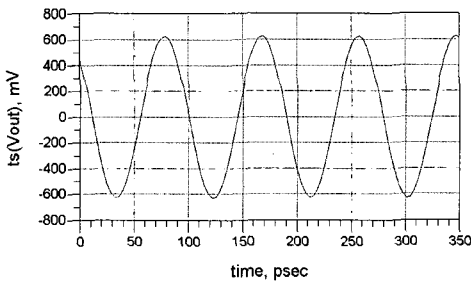


그림 9. 주파수 체배 VCO의 출력(시간 축)

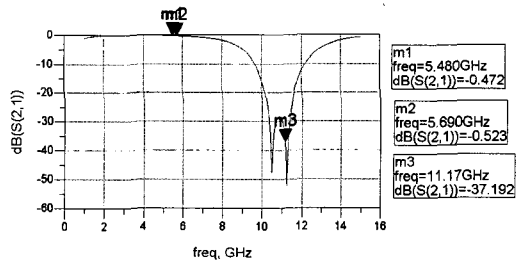


그림 12. 체배기 입력단 대역저지 여파기 특성

수 체배된 발진 출력을 주파수 축과 시간축에서 본 파형으로 체배된 주파수는 11.17 GHz이며 출력 전력은 5.88 dBm으로 계획한 특성을 나타냈으며, 1차 하모닉 성분과 3차 하모닉 성분이 -30 dB 이상 감쇄됨을 확인 하였다.

그림 10은 체배된 발진 출력에서 본 위상 잡음 (Phase noise)으로 100 KHz와 1 MHz 읍셋 주파수에서 각각 -99.88 dBc/Hz, -121.0 dBc/Hz로 양호한 성능을 가짐을 확인하였다.

그림 11는 공진부에 사용한 바랙터 다이오드에 걸리는 전압을 1.0 V에서 5.0 V까지 증가시키면서 체배된 발진 주파수와 출력 전력을 나타낸 것으로

제어 전압에 의해 10.97 GHz에서 11.37 GHz까지의 목표치인 400 MHz 이상 주파수 동조 범위를 보였으며 이 동조 범위 내에서 전력 평탄도는 0.558 dBm 정도로 양호한 성능을 나타내고 있다.

그림 12은 주파수 체배기 입력단 대역저지 여파기 특성을 본 것이며 2차 하모닉 성분이 -37 dB 이상 감쇄됨을 확인 하였다.

그림 13는 주파수 체배기 출력단의 대역통과 여파기를 모멘텀으로 모의 실험한 결과이다. 대역폭은 목표치인 400 MHz 보다 양쪽으로 여유분을 둔 1 GHz 정도 보였으며 0.676 삽입 손실과 기본 하모닉 성분인 5.585 GHz와 3차 하모닉 성분인 16.75 GHz에서 -40 dB 이상 감쇄됨을 확인하였다.

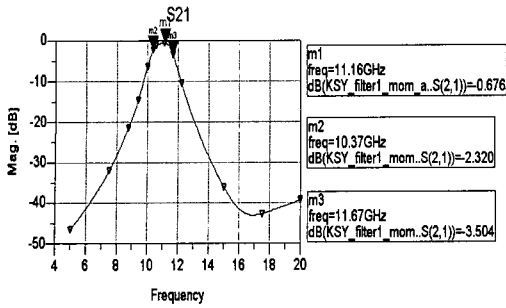


그림 13. 체배기 출력단 대역통과 여파기 특성

3.3 제작 및 측정 결과

그림 14는 설계한 그림 7 주파수 체배 VCO의 제작물로 모듈 회로 크기는 전체 레이더 탐지기의 기구물과 다른 부분의 크기를 고려하여 가로 25 mm 세로 20 mm 이다. 유전율은 2.17이며, 두께는 0.5 mm인 Teflon 기판을 사용하였다.

다음 그림들은 본 논문에서 설계 제작한 그림 14를 측정된 결과로 그림 15에 나타낸 것과 같이 체배된 발진 주파수는 11.275 GHz, 출력 전력은 3.645 dBm으로 전력 레벨이 설계치와 비교하여 약간의 차이를 보였으나 이 오차는 사용한 측정용 케이블에서 발생한 손실(약 1 dB)에 의한 것이다.

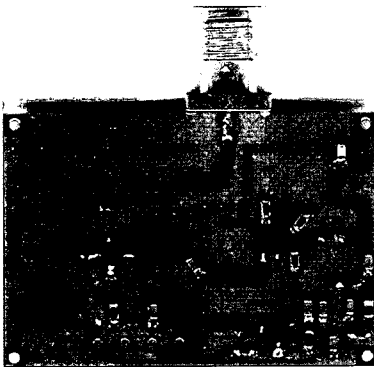


그림 14. 주파수 체배 VCO 제작 사진

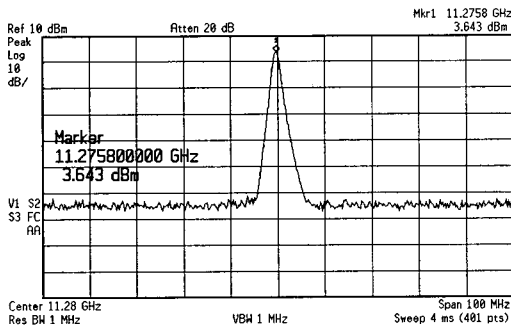


그림 15. 주파수 체배 VCO의 출력 스펙트럼

그림 16은 고주파 및 스퓨리어스 특성을 측정하는 것으로 VCO에서 출력된 신호가 주파수 체배기를 통하여 체배된 것을 볼 수 있으며, 주파수는 11.26 GHz, 전력은 4.05 dBm으로 나타났다.

그림 17은 주파수를 가변하기 위해 바랙터 다이오드에 인가되는 전압을 0~4.5 V까지 변화시켰을 때 주파수 체배기의 출력에서 660 MHz의 넓은 동조범위와 3.216 dB 평탄도를 보였다.

그림 18에서는 최종적으로 주파수 체배된 발진기의 위상잡음을 측정하는 결과로 1 MHz 읍셋 주파수

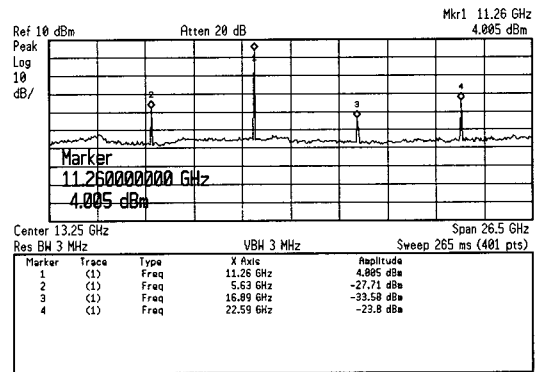


그림 16. 하모닉 성분 및 스퓨리어스 특성

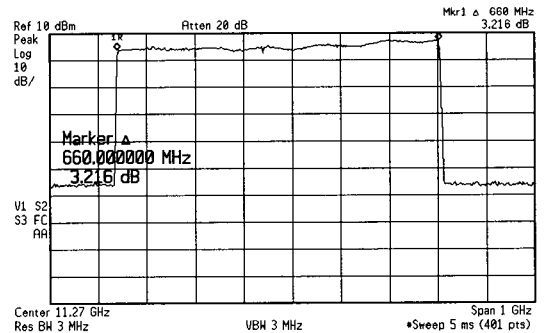


그림 17. 튜닝 전압에 의한 출력

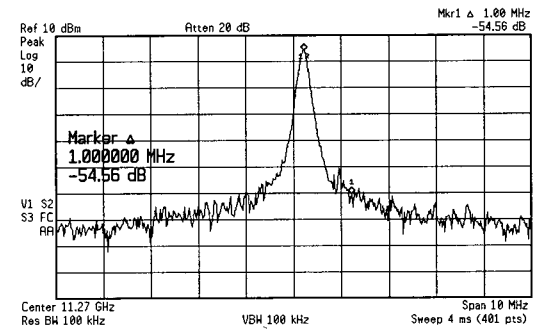


그림 18. 주파수 체배 VCO의 위상잡음 특성

표 2. 연구된 체배 VCO와 단일 VCO 측정치 비교

	설계치	측정치	단일 VCO
Frequency [GHz]	11.17	11.27	11.05
Output Power [dBm]	5.975	3.64	4.5
Vcc [V]	8	8	9
Control Voltage [V]	1~5	0~4.5	0~12
Frequency Range [GHz]	10.97~11.37 (400 MHz)	10.87~11.53 (660 MHz)	11.01~11.09 (80 MHz)
Phase noise [dBc]	-137.8 @1MHz	-104.56 @1MHz	-115.2 @100KHz

에서 -104.56 dBc/Hz로 양호한 성능을 가짐을 확인하였다.

표 2는 본 논문의 설계치 및 측정치를 비슷한 용도로 연구된 VCO^[9]와 비교한 것이다. 설계치와 측정치를 비교하면 출력에서의 오차는 케이블 손실을 고려하며 1dB 정도가 있었으며, 위상잡음은 측정시 접지가 충분하지 않아 다소 좋지 않았던 것으로 판단된다. 또한 종합적으로 판단할 때 단일 VCO에 비해서는 전체적인 성능 지수가 우수함을 볼 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 X, K, Ka 대역의 레이더 탐지기 (Radar Detector)용 주파수 체배 VCO를 연구하였다.

기존에 레이더 탐지용으로 사용된 VCO는 사용 주파수 대역이 높으므로 인하여 발진 주파수의 불안정, 느린 주파수 가변 속도와 좁은 대역폭 등 많은 단점을 야기 시켰다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 낮은 주파수에서 동작되는 VCO를 체배하는 방식을 이용하여 요구 규격을 만족하도록 설계 제작하였다.

VCO부의 능동 소자는 infineon사의 Si-BJT BFP520, 바랙터 다이오드는 내부 인덕턴스가 적은 Alpha사의 SMV 1247-079, 주파수 체배부의 능동 소자는 NEC사의 NE4210S01을 사용하였으며, 회로 기판은 유전율 2.17, 두께 0.5 mm 인 Teflon 기판을 사용하였고, 회로의 설계 및 최적화, 이의 검증을 위하여 마이크로파 회로 설계에 적합한 Agilent Technologies사의 ADS를 이용하였다.

제작된 주파수 체배 VCO는 발진 주파수 11.27 GHz에서 출력전력 3.64 dBm(측정용 케이블 손실

약 1 dB), 0~4.5 V의 제어 전압 변화에 의하여 660 MHz의 넓은 주파수 동조범위를 보였다. 또한 1 MHz 읍셋 주파수에서 위상잡음 -104.0 dBc/Hz를 나타냈으며, 푸싱 지수 등 여러 가지 성능 지수가 우수한 상태로 나타났다.

설계치와 측정치를 비교해 볼 때 출력 전력의 미세한 오차가 발생했으나, 1 dB 이상의 측정 케이블의 손실을 고려한다면 오차는 미세하게 발생한 것으로 사료된다. 또한 설계치에 비하여 넓은 동조 범위를 얻는 것은 고려되지 않은 기생 성분의 조합에 의한 것으로 판단된다.

측정된 여러 가지 성능 지수를 고려하여 종합적으로 판단할 경우 본 논문에서 제안한 구조의 주파수 체배 VCO는 상용화에 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 향후 레이더 탐지기는 물론 인접한 주파수 대역의 회로에 응용할 경우 적은 비용으로 높은 안정성을 얻기 위한 통신 시스템을 연구, 개발하는데 많은 도움이 되리라 사료된다.

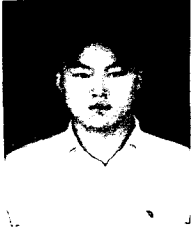
참고 문헌

- [1] www. copradar.com
- [2] Donald S. Sawicki, Traffic Radar Handbook, police Traffic Radar.
- [3] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers, analysis and design" Prentice Hall, Inc., 1996.
- [4] Matthew M. Radmanesh, "Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated" Prentice Hall, Inc., 2001 .
- [5] R Goyal, "Monolithic Microwave Integrated Circuits" Technology & Design, Artech House, Inc., 1989.
- [6] 강석엽, 박옥기, 고민호, 박효달, "A Study on the Design of VCO Using Junction Capacitance of Active Element" 한국 항행학회 논문지, 8권, 1호, 2004.
- [7] E. Camargo. Design of FET Frequency Multipliers and Hamonic Oscillators, Artech House Inc. Norwood, MA.
- [8] Anand Gopinath, "Single-gate MESFET frequency doublers", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech, vol. MTT-30, no. 60, pp. 869-874 jun., 1982.
- [9] Dong-Hyun Kim, Ik-Guen Choi, "A Design of

a VCO for an Advance Warning System of the Vehicle's Speed Limitation". 한국 전자과 학회 논문지. November., 2004.

박 옥 기 (Wook-Ki Park)

정회원



2002년 2월 상주대학교 전자전 기공학과(공학사)

2004년 2월 인하대학교 전자공 학과(공학석사)

2004년~현재 인하대학교 전자 공학과(박사과정)

<관심분야> 무선통신 시스템 설 계, 초고주파 회로 설계, RFIC 설계, 안테나 설계

강 석 엽 (Suk-Youb Kang)

정회원



1997년 2월 인천대학교 전자공 학과(공학사)

1999년 2월 인하대학교 전자공 학과(공학석사)

2005년 8월 인하대학교 전자공 학과(공학박사)

<관심분야> 무선통신 시스템 설 계, RF 및 초고주파 회로설계, 안테나 설계, RFIC 설계

고 민 호 (Min-Ho Go)

정회원



1995년 2월 여수대학교 전자통 신공학과(공학사)

1997년 2월 인하대학교 전자공 학과(공학석사)

2003년~현재 인하대학교 전자 공학과(박사과정)

<관심분야> 무선통신 시스템 설 계, 초고주파 회로설계, RFIC 설계, 안테나 설계

박 효 달 (Hyo-Dal Park)

종신회원



1978년 2월 인하대학교 전자공 학과(공학사)

1987년 (불) 국립항공우주대학 전자공학과(공학박사)

1992년~현재 인하대학교 전자 공학과 교수

<관심분야> 항공통신 시스템 설 계, 초고주파 회로 설계, 전자장 이론, 안테나공학