

논문 2004-41TC-5-8

새로운 PBG 접지면과 바랙터 회로를 이용한 선형화된 VCDRO의 설계

(Design of Linearized VCDRO with Novel PBG Ground Plane
and Varactor Circuit)

강 성 민*, 전 종 환*, 구 경 현*

(Sung Min Kang, Jong Hwan Jeon, and Kyung Heon Koo)

요 약

본 논문은 접지면에 새로운 형태의 PBG(photonic band gap) 구조와 바랙터에 서로 다른 바이어스 전압을 인가하여 전압에 따른 주파수의 선형성이 향상된 12GHz VCDRO(voltage controlled dielectric resonator oscillator)를 설계하였다. 접지면의 PBG 구조는 출력단에 부가적인 필터 없이 2, 3차 고조파를 억압하였으며, 마이크로스트립 라인과 결합된 유전체 공진기의 공진주파수를 정확히 해석하기 위하여 FEM(finite element method) 시뮬레이션을 이용하여 추출된 산란계수를 VCDRO 설계에 사용하였다. 측정된 결과를 통하여 본 논문에서 제안한 기법의 유용함을 보여주었다.

Abstract

This paper presents a design of 12GHz VCDRO(voltage controlled dielectric resonator oscillator) using a novel PBG(photonic band gap) ground plane and a varactor circuit that enhances the frequency linearity of VCO with different bias to varactors. The PBG structures are used for suppressing the second and third harmonics without any filters. To simulate the accurate resonating frequency, a DR coupled with microstrip lines is analysed by FEM(finite element method) simulation, and the results are transformed into scattering parameters to design the VCO. Some measured results are presented to show the usefulness of the proposed techniques.

Keywords : DR modeling, PBG, Varactor bias

I. 서 론

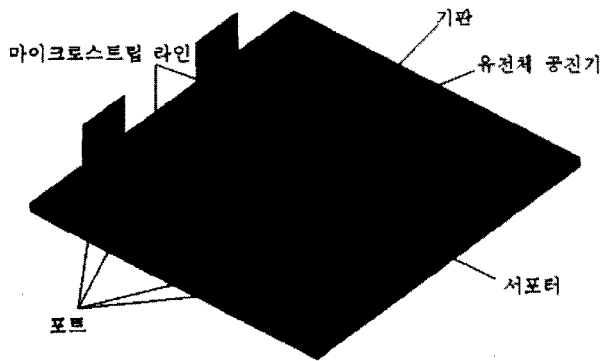
국부 발진기는 마이크로파 통신 및 레이더 시스템에서 DC 전력을 RF 신호로 변환시키는 회로로서 매우 중요한 부품이다. 이러한 발진기의 고조파 성분은 전체 통신 시스템의 성능을 저하시키는 요소이다. 일반적으로 출력단에 스테르브나 필터 등을 이용하여 제거할 수

있으나, 이러한 구조는 협대역의 억압 특성을 갖기 때문에 홀수 고조파나 짝수 고조파 중 하나의 고조파만의 제거가 가능하다. 본 논문에서는 접지면에 PBG 구조를 이용하여 비교적 넓은 대역의 2, 3차 고조파를 제거하여 출력 주파수의 선형성을 향상시켰다^[1].

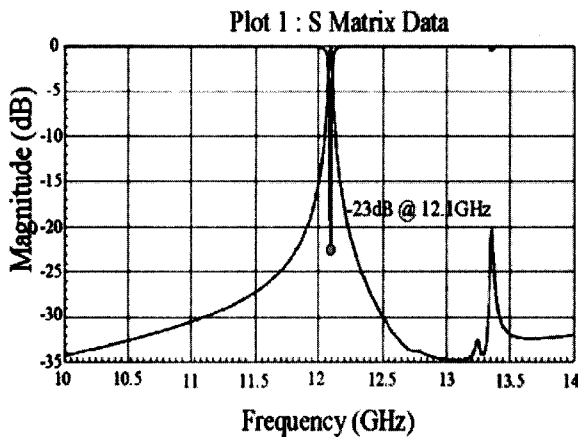
전압제어 발진기의 동작 주파수는 바랙터의 커패시턴스의 변화에 의해 가변되고, 전압의 변화에 따라 비선형적으로 변화한다. 그러므로 바랙터의 인가전압에 따른 발진 주파수를 예측하기 어렵다. 발진 주파수의 비선형성을 개선하기 위하여 다수의 바랙터에 차등 바이어스를 공급하여 전압에 의한 커패시턴스 변화가 선형적인 특성을 갖도록 하였다.

* 정회원, 인천대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon)

※ 본 연구는 인천대학교 멀티미디어 연구센터를 통한 지역 연구센터 프로그램에 의하여 수행되었음
접수일자: 2004년2월12일, 수정완료일: 2004년4월28일



(a)



(b)

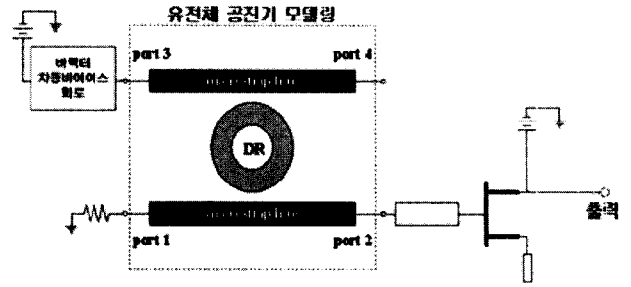
그림 1. (a) 마이크로스트립 라인과 결합된 유전체 공진기의 모델링 (b) (a)의 공진주파수

Fig. 1. (a) Modeling of a dielectric resonator coupled with microstrip lines (b) Resonant frequency of circuit (a)

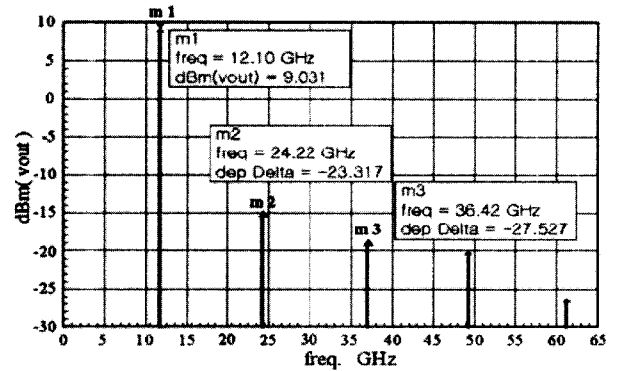
II. 유전체 공진기 모델링

유전체 공진기는 높은 Q값(Quality Factor)과 온도 안정성에 장점을 갖는 소자로서, 마이크로파 대역의 발진기에서 많이 사용되고 있는 소자이다. 유전체 공진기는 여러 모드에서 공진을 한다. 그중 가장 낮은 공진 모드는 TE_{01δ}인데, 이는 마이크로스트립-라인의 TEM 모드와 쉽게 결합(coupling)이 일어나는 모드이다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 구조를 FEM 해석이 가능한 안소프트사의 HFSS를 이용하여, 유전체 공진부를 전자계 모델링 하였다. 이러한 전자계 모델링에 의한 해석 방법은 R,L,C 등가회로에 의한 방법에 사용되는 변수 외에 유전체의 모양, 크기, 장착 상태와 마이크로스트립 라인의 길이, 폭, 간격 등 많은 변수들을 고려하여 산란계수로 변환할 수 있다. 테플론 기판위에 ε_r=45인 유전체 공진기를 위치하여 공진 특성을 살펴보았다. 마이크로스트립 라인과의 간격을 조정하여 시뮬레이



(a)



(b)

그림 2. (a)유전체 공진기의 4-포트 산란계수를 이용한 발진기 구조 (b)시뮬레이션된 출력 스펙트럼

Fig. 2. (a)Designed oscillator including the modeled 4-port S-parameters of DR (b)Simulated output spectrum

션한 결과 약 12.1GHz의 공진 주파수를 갖는 특성을 얻었다^[2-3].

그림 1(a)에서 마이크로스트립 라인은 50옴의 특성 임피던스를 나타내며, 동작 주파수에서 λ_g/4의 길이를 갖는다. 마이크로스트립 라인과 유전체 사이의 결합도를 결정하는 길이와 유전체 서포터의 높이의 변화는 공진 주파수의 부하 Q값에 큰 영향을 미친다. 각각의 위치와 길이를 최적화 했을 때, 유전체 공진기는 전체 발진기에서 대역 저지 특성을 갖는다^[4-5].

그림 2는 FEM 시뮬레이션을 통하여 등가적으로 모델링한 유전체 공진기를 4-포트 산란계수로 표시하고, 이를 ADS를 이용한 발진기 설계에 적용하여 시뮬레이션한 발진기의 출력 스펙트럼을 나타낸다. 발진 주파수는 약 12.1GHz, 출력 전력은 약 9dBm의 값을 나타내었다. 2차 고조파는 23dBm 이하로 32dBc 이상의 고조파 억압으로 양호한 값을 나타낸다.

III. 접지면의 PBG 구조

접지면에 식각된 PBG 구조는 그림 3에서 보듯이, 두

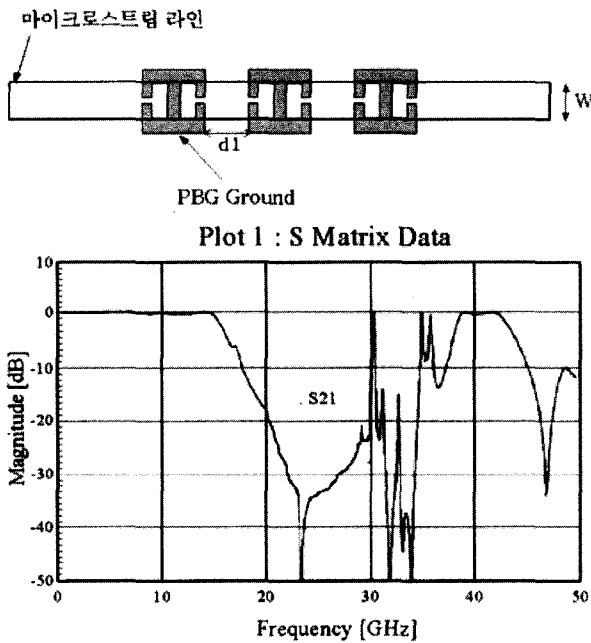


그림 3. 2차 고조파의 억압특성과 구조
 Fig. 3. Suppression of the second harmonic and PBG structure

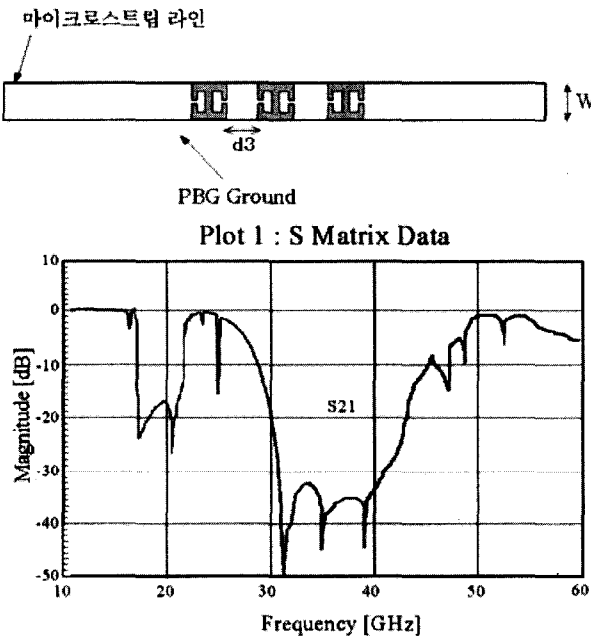


그림 4. 3차 고조파의 억압특성과 구조
 Fig. 4. Suppression of the third harmonic and PBG structure

개의 크기로 구성된 주기적인 형태이다. 폭이 좁은 부분은 등가적으로 인덕터의 성분을 나타내며, 인접하여 마주 보는 형태는 등가적으로 마이크로스트립 라인에서 병렬 커패시턴스 성분을 증가시키는 구조로서 설계되었다. PBG 구조는 접지면에서 등가적으로 L-C 회로로 구현되어, 마이크로스트립 라인의 신호 전달 특성을 변

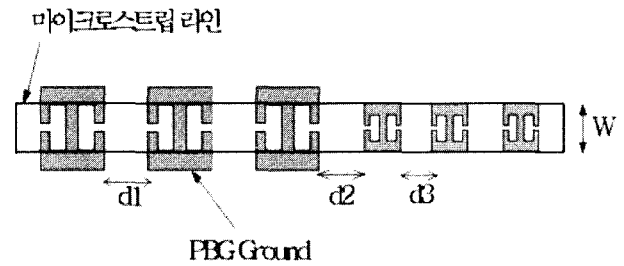


그림 5. 접지면의 PBG 구조
 Fig. 5. PBG ground plane

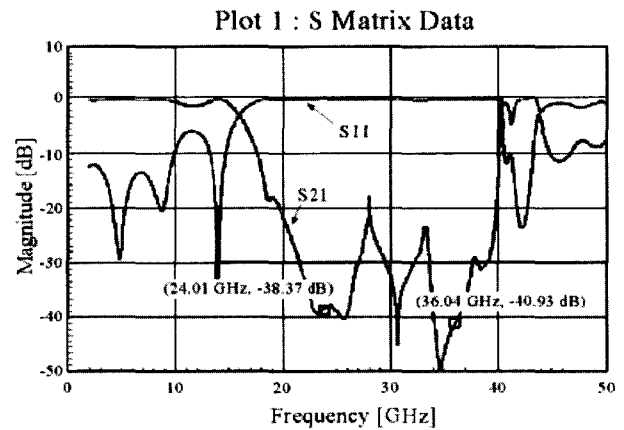


그림 6. PBG 마이크로스트립 라인의 산란계수 특성
 Fig. 6. S-parameters of the PBG microstrip line

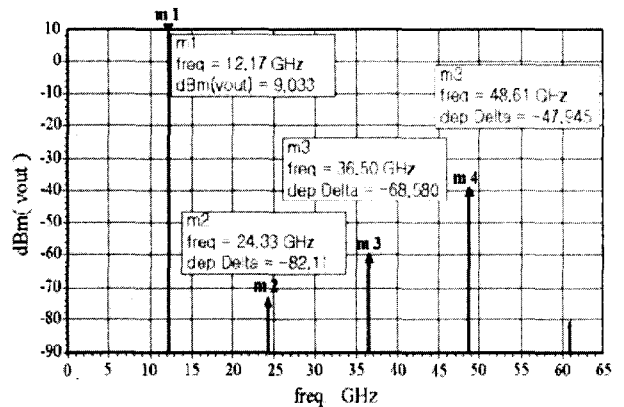


그림 7. 접지면의 PBG 구조를 포함한 발진기의 출력 스펙트럼
 Fig. 7. Simulated output of the oscillator including the PBG ground plane

화시켜, 그 결과 slow-wave 효과와 대역 저지 효과를 얻을 수 있다^[1].

2차, 3차 고조파의 넓은 대역을 저지하기 위하여, 각각의 고조파에 대해 서로 다른 크기의 PBG 구조로 설계하였으며, 설계된 PBG 구조를 HFSS로 해석한 억압 특성을 그림 3과 4에 나타내었다.

그림 5는 접지면에 두 가지 크기의 PBG가 포함된 마이크로스트립 라인을 나타낸다. 간격 d1과 d3는 변함

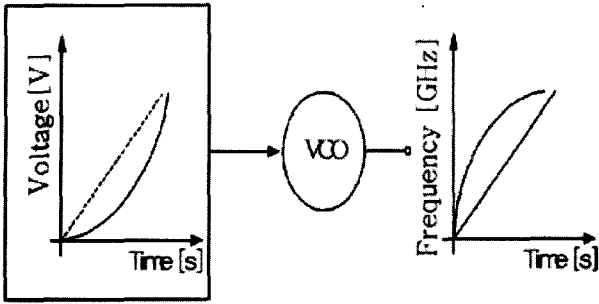


그림 8. 비선형적인 제어 전압을 이용한 선형적인 출력 주파수
 Fig. 8. Synthesized control voltage can be used to generate linear output frequency

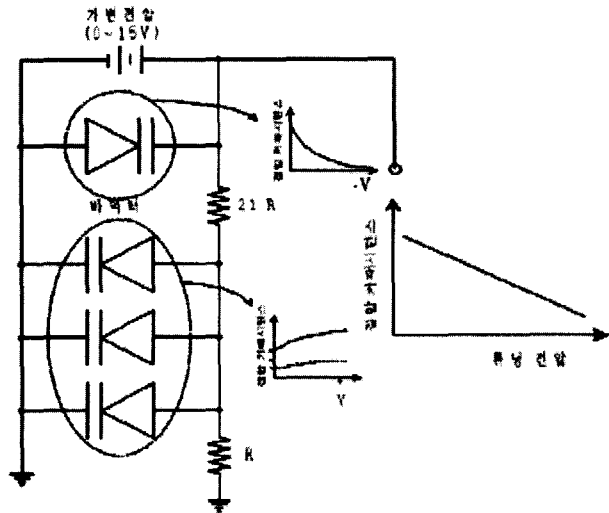


그림 9. 바랙터의 차등 바이어스
 Fig. 9. Junction capacitance with bias voltage

없고, 두 구조사이의 간격 d2는 d1의 길이와 d3의 길이 사이의 값을 최적화를 통해 얻을 수 있었다. 그림 6에서는 마이크로스트립 라인을 통해 전달되고 반사되는 신호의 특성을 보여준다. 비교적 넓은 대역에서 저지 특성을 나타내어 발진기 출력의 2차 및 3차 고조파를 억압하는데 유용하다.

설계된 발진기의 출력부에 PBG 구조를 삽입한 출력 스펙트럼을 그림 7에서 보인다. 기존의 PBG 구조가 없을 때와 비교해서 2차 고조파에서 59dB의 부가적인 억압 특성을 보이고, 3차 고조파에서 30dB 이상의 부가적인 억압 특성을 보임을 알 수 있었다.

IV. 바랙터의 차등 바이어스에 의한 주파수 선형성

전압제어 발진기는 전압에 따른 비선형적인 발진 주

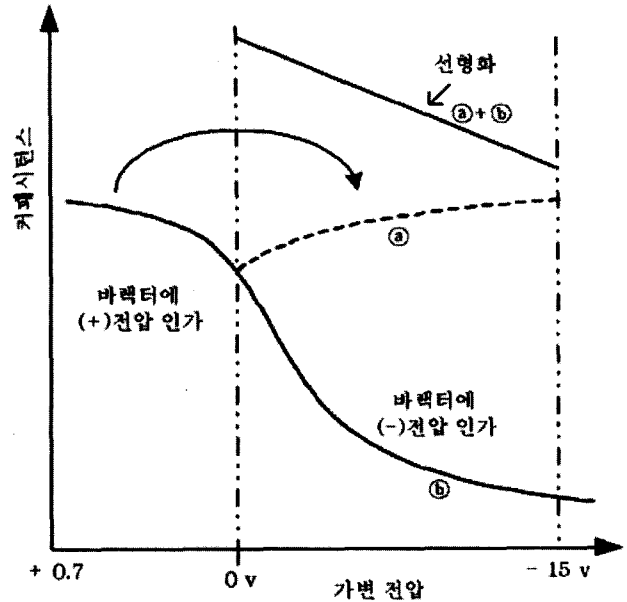


그림 10. 바이어스 전압에 따른 커패시턴스
 Fig. 10. Varactor circuit to improve C-V curve

파수 변화를 갖는다. 그림 8의 점선과 같이 전압은 시간에 따라 선형적으로 증가하고, 이는 커패시턴스 증가를 가져온다. 그러나 커패시턴스 비선형적 증가로 인하여 발진주파수는 비선형적으로 증가한다.

만일 그림 8의 실선과 같이 시간에 따른 전압의 증가가 지수함수처럼 증가한다면 전압제어 발진기의 발진주파수에 대한 선형성을 얻을 수 있다. 그러나 여러 신호의 합성에 의해서 실선과 같은 정확한 함수를 얻는 것은 매우 어렵다.

그러므로 본 논문에서는 4개의 바랙터에 차등 바이어스를 이용하여 전압제어 발진기의 선형성을 향상시켰다.

그림 9는 바랙터의 바이어스 전압에 따른 커패시턴스 변화를 보여준다. 역 바이어스 전압이 바랙터에 인가되었을 때, 커패시턴스(C_V)는 식 (1)에 의해 표시된다 [6-7].

$$C_V = \frac{C_0}{(1 + V/\phi)^{1/2}} \quad (1)$$

여기서, C₀는 고유 커패시턴스 값이며, V는 역 바이어스 전압, ϕ는 다이오드 문턱전압이다(ϕ≈0.7V). 바랙터의 바이어스는 역(-)방향 전압을 인가하지만, 순(+방향 전압의 인가에서 문턱전압인 0.7V이하이면 바랙터는 손상되지 않는다. 그러므로 가변 전압의 최대가 +0.7V 이하의 전압이 인가되도록 회로를 구성하였다. 바랙터에 순방향 전압이 인가되면 그림 9에서 보듯이, 커패시

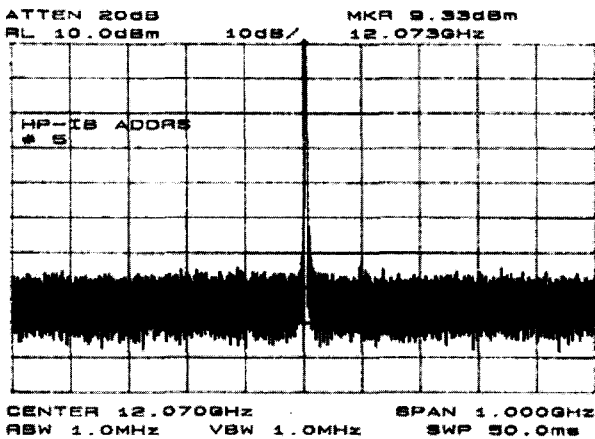


그림 11. 발진 주파수에서의 출력 스펙트럼
Fig. 11. Output spectrum at operating frequency

표 1. 유전체 공진 발진기의 결과
Table. 1. Test results of DRO

	시뮬레이션	측정
발진주파수	12.10 GHz	12.07 GHz
발진출력	9 dBm	9.3 dBm 이상
위상잡음(@100KHz)	-100dBc/Hz	-92dBc/Hz

턴스는 천천히 증가한다. 반면에 역방향인 인가된 바랙터의 커패시턴스는 급격히 감소하여 총 커패시턴스는 선형적으로 감소하게 된다. 순방향 전압이 인가된 바랙터의 커패시턴스의 증가는 매우 작기 때문에 3개의 바랙터를 병렬로 연결하여 증가 값을 높였으며, 그림 10의 점선과 같은 변화를 갖으며, 두 바이어스에 따른 커패시턴스의 선형화된 결과를 그림 10에 나타내었다.

V. 실험 결과

제작한 전압제어발진기는 비교적 잡음 지수가 낮고 위상잡음을 최소화할 수 있는 GaAs MESFET인 Agilent사의 ATF-13786을 사용하였으며, 기판은 $\epsilon_r=2.6$, $H=0.4\text{mm}$, $T=0.035\text{mm}$, $\text{TanD}=0.0022$ 인 Chukoh사의 CGP500 테프론 기판을 사용하였다. 유전체 공진기는 $\epsilon_r=45$ 인 SGTechnology사의 SG-45R12000T30D2 -48R15를 사용하였다.

그림 11은 제작한 전압제어 발진기의 측정에 의한 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 12.07GHz의 발진주파수와 약 9.3dBm 이상의 출력을 나타낸다. 시뮬레이션에 의한 결과와 실험 측정에 의한 결과를 비교하여 표 1에 나타내었다. 위상 잡음이 약 8dB정도 악화되어 측정되

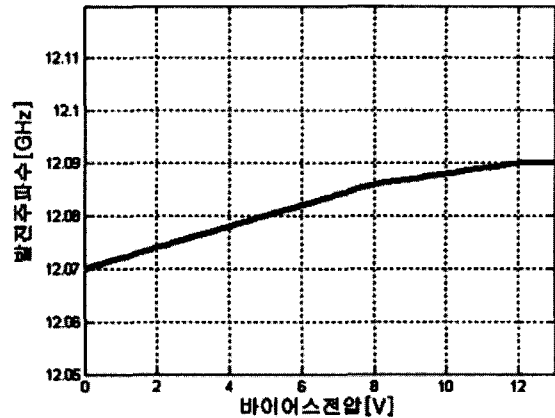


그림 12. 바랙터의 인가전압에 따른 발진 주파수 변화
Fig. 12. Oscillating frequency with bias voltage for varactor circuit

었는데, 이는 실험 측정시 발진 주파수의 튜닝과정에 의한 것이라 생각된다.

그림 12는 바랙터에 순(+)전압과 역(-)전압의 차등 전압을 0V~12V로 가변시켜 인가하였을 때, 발진 주파수의 변화를 나타낸 결과이다. 바랙터의 인가전압에 따라 발진 주파수는 선형적으로 증가한다. 발진 주파수의 가변 대역폭은 약 20MHz이다. 바랙터의 전압 변화에 따른 출력 전력의 변화는 약 0.5dB이하로 비교적 일정한 출력을 보였다.

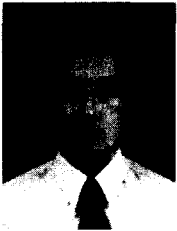
VI. 결 론

본 논문에서는 인가전압의 변화에 따른 출력 주파수의 변화가 선형화된 12GHz VCDRO를 설계 및 제작하였다. FEM 시뮬레이션을 이용한 유전체 공진기의 모델링을 통한 산란계수를 추출하여, 보다 다양하고 정확한 해석이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 고조파 억제 를 위해 광대역의 저지 특성을 갖는 새로운 구조의 PBG를 접지면에 식각하였으며, 또한 일반적인 비선형 특성을 갖은 바랙터에 차등 바이어스 회로를 이용하여 보다 선형적인 커패시턴스 변화를 갖도록 하였다. 이러한 기법을 이용하여 유전체 공진기의 정확한 해석과 선형적으로 변화하는 VCDRO의 설계시 유용할 것이라 예상된다.

참고 문헌

- [1] C. Y. Hang, V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "High efficiency power amplifier with novel PBG ground plane for harmonic tuning", IEEE MTT-S Dig., vol. 2, pp. 807-810, 1999.
- [2] Eric Holzman, Solid-state Microwave Power Oscillator Design, Artech House, pp. 382-392, 1992.
- [3] Phillip G Wilson and Richard D Carver, "An easy-to-use FET DRO design procedure suited to most CAD programs", IEEE MTT-S Dig., pp. 1033-1036, 1989.
- [4] Darko Kajfez and Eugene J. Hwan, "Q-factor measurement with network analyzer", IEEE MTT, vol. 32, pp. 666-670, July 1984.
- [5] Y. Komatsu and Y. Murakami, "Coupling coefficient between microstrip line and dielectric resonator", IEEE Trans. MTT, vol. 31, no. 1, pp. 34-40, January 1983.
- [6] D. A. Williams, "A highly linearised mm-wave voltage controlled oscillator for FMCW radar applications," Solid State Components for Radar, IEE Colloquium on, 12 Feb 1988, pp. 601-615.
- [7] GaAs constant gamma hyperabrupt tuning varactors, MA-COM, Data sheet.

저자 소개



강성민(정회원)

1999년 인천대학교 전자공학과 학사.

2001년 인천대학교 전자공학과 석사.

2001년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 박사과정.

<주관심분야: 마이크로파 송수신 모듈, PBG 구조 해석>

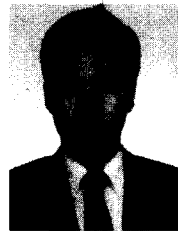


전종환(정회원)

2002년 인천대학교 전자공학과 학사.

2004년 인천대학교 전자공학과 석사.

<주관심분야: 무선랜용 증폭기의 효율, 주파수 체배기 설계>



구경현(정회원)

1981년 서울대학교 전자공학과 학사.

1983년 서울대학교 전자공학과 석사.

1991년 서울대학교 전자공학과 박사.

1999년~2000년 UC San Diego 방문학자.

2000년~2002년 대한전자공학회 마이크로파 및 전파연구회 위원장.

2003년~현재 대한전자공학회 평의원, 이사, 통신소사이어티 학술이사.

1987년~현재 인천대학교 전자공학과 교수

<주관심분야: 전력증폭기의 선형화, 마이크로파 회로 및 서브시스템>