

# 유전체 공진기의 HFSS 모델링을 이용한 2차배된 K밴드 VCO 연구

강성민<sup>o</sup>, 전종환, 구경현  
인천대학교 공과대학 전자공학과  
전화: (032) 770-8446 / 팩스:(032) 761-9961

## Design of K-band VCO using HFSS modeling of dielectric resonator and frequency doubler

Sung Min Kang, Jong Hwan Jeon, Kyung Heon Koo  
Dept. of Electronics Eng. University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea  
e-mail : microwave@incheon.ac.kr

### Abstract

This paper presents a design of 24GHz GaAs MESFET voltage controlled oscillator using a dielectric resonator(DR) and a frequency doubler. DR modeling has been done to get the effects of resonator size and the gap from transmission line by HFSS at 12GHz, and frequency doubler is used to get 24GHz output.

### I. 서론

정보화 사회로의 발전과 무선 통신사업의 급속한 변화에 따라 전자파의 응용 범위가 마이크로파 및 밀리미터파 영역까지 확대되었다. 특히 K밴드에서는 LMDS, 위성통신, 차량 충돌방지 시스템, 스피드 건, 차량 감지기 등 폭넓은 범위의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 무선통신 시스템의 신호원이 되는 발진기를 FET와 유전체 공진기를 이용하여 12GHz에서 설계하고, 주파수 체배기를 이용하여 24GHz의 전압제어 발진기를 설계하였다.

본 논문은 제 II,III절에서 유전체 공진기의 모델링과 이를 이용한 직렬회환 발진기 이론 및 설계를 제시하고, 제 IV절에서는 2fo의 신호를 얻기 위한 주파수 체배기의 이론 및 설계에 관하여 기술하였다. 제 V절에서는 제작 및 측정을 언급하고 마지막 제 VI절 결론으로 이루어져 있다.

### II. 유전체 공진기

유전체 공진기의 TE<sub>016</sub> 모드에 의해 공진기와 선로 사이에 전자계 결합이 일어난다[1]. 그림 1은 일반적으로 많이 이용되는 등가회로 해석 방법으로 유전체 공진기와 마이크로스트립선로와의 결합 등가회로를 나타낸 것이다[2].

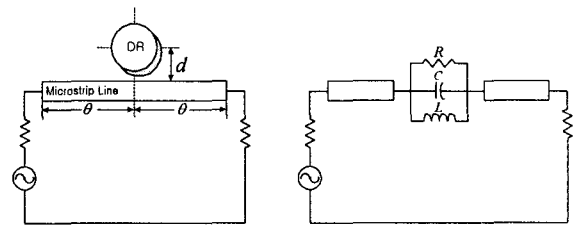
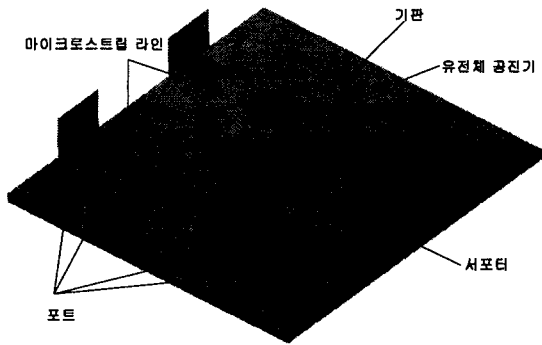


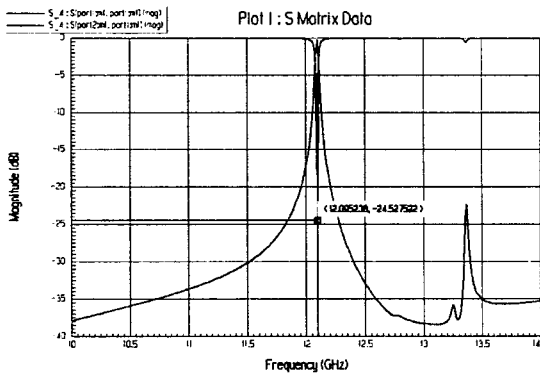
그림 1. 유전체 공진기와 등가회로

본 논문에서는 FEM해석이 가능한 상용 시뮬레이션 프로그램인 HFSS를 이용하여 유전체 공진기의 지름과 마이크로스트립 라인과의 거리, 마이크로스트립 라인의 선폭과 길이 등에 따라 유전체 공진기와 전송선로와의 결합이 변화하는 것을 시뮬레이션하여, 결합에 따른 공진 주파수의 변화 값들을 추출하여 발진기 설계에 이용하였다. 그림 2(a)는

해석하기 위한 구조를 나타내었고, 2(b)는 설계된 구조의 12.09GHz의 공진 주파수를 보인다.



(a) 모델링된 유전체 공진회로의 구조



(b) 설계된 유전체 공진회로의 공진주파수

그림 2. HFSS를 이용한 유전체 공진회로의 해석

유전율이 45인 유전체 공진기는 내부 반지름 0.98 mm이고, 외부 반지름의 크기에 따라 공진기 자체의 공진 주파수가 변화하는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었으며, 그에 대한 해석 결과를 표 1에서 나타내었다.

표 1. 유전체 공진기의 반지름에 따른 공진 주파수

유전체 공진기의 반지름	공진 주파수
2.40 mm	12.16 GHz
2.42 mm	12.09 GHz
2.43 mm	12.03 GHz
2.45 mm	11.98 GHz

유전체 공진기와 위/아래에 위치한 특성 임피던스 50Ω인 마이크로 스트립 라인의 길이는 공진 주파수에서  $\lambda/2$ 로 하였다. 유전체 공진기와 스트립 라인과의 거리에 따른 공진 특성은, 공진 주파수의

변화는 거의 변화가 없었고 서로간의 결합이 변화함에 따라 부하 Q값이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 유전체 공진기는 대역 저지 여파기로서 기본 주파수를 충분히 되반사 시켜야 한다. 그러므로 유전체 공진기는 높은 부하 Q값을 가져야 하며, 이를 위하여 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 간격을 최적화하여 결정하였다.

### III. 발진기의 설계

트랜지스터를 이용한 유전체 공진기 발진기는 유전체 공진기와 마이크로스트립선로의 결합에 따라 반사형과 케환형으로 분류되고, 케환형은 직렬형과 병렬형으로 구분된다. 이중 본 논문에서는 그림 3에서 나타낸 전송로와의 결합도를 조절하기 쉽고 기생발진을 피할 수 있으며 부하변동에 따른 발진주파수 변화 및 출력전력의 변화가 작은 직렬케환형으로 설계하였다. FET의 소스단에 개방스터브  $l_2$ 를 연결하여 케환회로를 구성하고, 개방스터브의 길이를 조정하여 발진 주파수에서 부성저항이 발생하도록 한다. 또한 공진기와 마이크로스트립선로와의 결합면으로부터 FET의 게이트까지의 선로  $l_1$ 길이를 조정하여  $\Gamma_s$ 와  $\Gamma_{in}$ 의 위상을 정합시켜, 식 (1)의 발진조건을 만족하도록 설계한다[3]. FET의 드레인단의 선로를 조정하여  $f_0$ 에서 최대의 출력 전력을 내도록 매칭을 한다.

$$K < 1$$

$$\Gamma_s \cdot \Gamma_{in} = 1 \tag{1}$$

$$\Gamma_l \cdot \Gamma_{out} = 1$$

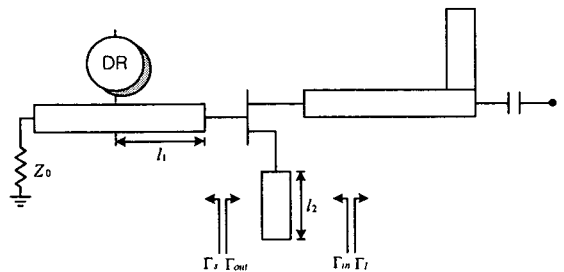
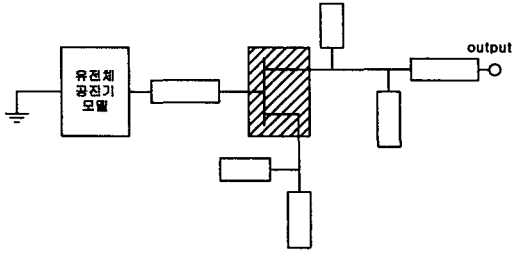


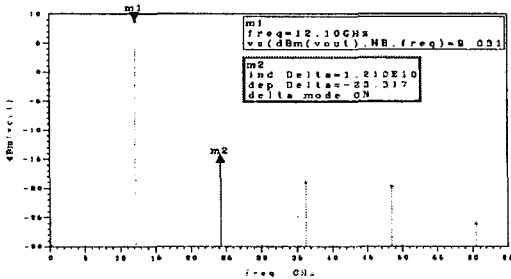
그림 3. 직렬케환 발진기 구조

그림 4(a)는 그림 2에서 나타낸 것처럼 HFSS에서 구한 산란 계수를 등가적으로 모델링 하여 그 값을 이용하여 유전체 공진기 발진기를 설계한 구조이다. 4(b)는 시뮬레이션 결과로서 발진주파수는

12.09GHz, 출력전력은 약 9dBm의 값을 나타낸다. 고조파 억제는 -23dBc 이상으로 비교적 양호한 값을 갖는 것을 볼 수 있었다.



(a) 유전체 공진기 모델을 이용한 발진기 구조



(b) 출력 스펙트럼

그림 4. 12GHz 유전체 공진 발진기

#### IV. 주파수 체배기

주파수 2-체배기는 능동소자의 비선형성을 이용한 것으로,  $f_0$ 의 입력 신호로부터 제2고조파 성분인  $2f_0$ 의 출력 신호를  $f_0$ 에 비해 더욱 크게 하도록 설계한다. 그림 5의 2-체배기 블록도에서 보듯이, FET를 중심으로 입력부는 크게  $f_0$ 에 대한 매칭부와  $2f_0$ 의 케환회부로 구성된다[4]. 케환회로는  $\lambda/4$  개방스터브로 구성하여  $f_0$ 의 신호가 FET로 잘 인가되도록 한다. 출력부는  $2f_0$ 에 대한 매칭부와  $f_0, 3f_0$ 의 케환부로 구성된다. 케환부는  $f_0, 3f_0$ 에서 각각  $\lambda/4$  개방스터브를 연결하여 기본주파수와 제 3 고조파를 억압한다[5].

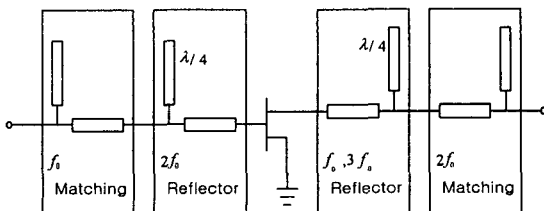


그림 5. 주파수 체배기 블록도

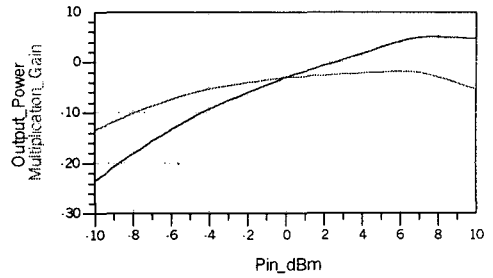


그림 6. 체배기 시뮬레이션 결과

설계된 주파수 체배기는 Agilent사의 ADS를 사용하여 시뮬레이션을 하였고, 그림 6과 7은 체배기의 변환 이득 및 출력 스펙트럼 시뮬레이션 결과이다. 그림 6은 체배기의 입력에 따른 이득과 전력 특성을 나타내고 있으며, 입력 0dBm에서 출력력이 약 -3dBm 이다.

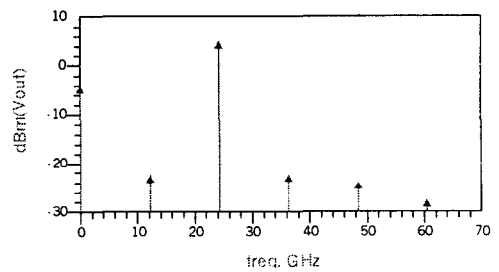


그림 7. 주파수 체배기 출력 스펙트럼(7dBm입력)

주파수 체배기는 -29.7 dBc의 기본주파수 억압을 얻었으며, -29.6 dBc의 3고조파 억압을 얻었다. 또한 7dBm입력시의 주파수 2-체배기의 출력 스펙트럼을 그림 7에 나타내었다.

#### V. 실험 결과

제작된 전압제어발진기 및 2-체배기는 능동소자로는 잡음 지수가 낮고 위상잡음을 최소화 할 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 SG Technology사의 SG-45R12000T30D2-48R15를 사용하였다.

표 2. VCO 측정결과

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

VI.결 론

본 논문에서는 주파수 체배기를 이용하여 24GHz에의 발진주파수를 갖는 유전체 공진기 발진기를 설계 및 제작하였다. FEM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 유전체 공진기의 등가 모델을 보다 정확하게 구할 수 있었다. 기존의 해석 방법인 유전체 공진기의 크기, 마이크로 스트립라인과의 거리 등의 변수에 따른 RLC 등가회로의 제한된 해석방법에서 유전체 공진기의 장착 위치 변화, 형태 등 기타 여러 변수를 가지고 등가적인 모델을 추출할 수 있었다. 향후 유전체 공진기 발진기의 구조를 직렬 케환형의 반사형 및 병렬케환형 등 특정 모델이 필요한 구조의 등가 모델 해석에 적용할 계획이다.

표 2는 12GHz VCO의 측정결과를 나타낸다. 발진주파수는 목표치와 같이 튜닝가능하며 발진출력 또한 9dBm 이상의 값을 보였다. 그러나 위상잡음이 시뮬레이션 결과보다 8dB정도 약화되었다. 그림 8은 바랙터 다이오드의 전압 가변에 따른 출력주파수와 출력의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

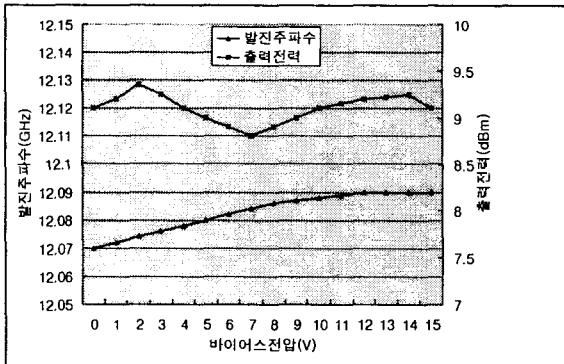


그림 8. 바랙터 전압 변화에 따른 발진주파수 및 출력

제작된 주파수 체배기는 입력전력 및 주파수등의 측정 조건을 변화하며 입력과 출력단에 Agilent사의 11612A Bias Network를 사용하였다. 입력 주파수를 변화시켜 측정한 결과를 그림 9에 나타내었다. 측정결과 시뮬레이션과 다소 차이를 보였는데 24GHz신호에 대해 입출력단의 커넥터와 Bias network의 감쇄로 인한 것이다.

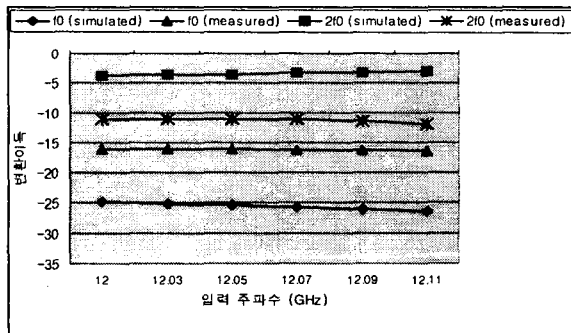


그림 9. 체배기의 변환이득 (fo, 2fo at 0dBm)

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] Eric Holzman, *Solid-state Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, 1992
- [3] Phillip G Wilson, 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] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice Hall, 1984.
- [5] Edmar Camargo, *Design of FET Frequency Multipliers and Harmonic Oscillators*, Artech House, 1998.