

고조파 억압 특성을 개선한 병렬 궤환형 유전체 공진기 발진기 설계

고정필^o, 이준준, 김영식
고려대학교 전파공학과 전파기술연구소
e-mail : postjames@korea.ac.kr

Design of Parallel Feedback Dielectric Resonator Oscillator(DRO) for the Suppression of the Harmonic

Jung-Pil Ko, Kun-Joon Lee, Young-Sik Kim
Dept. of Radio Science and Engineering, Korea University

Abstract

The parallel feedback dielectric resonator oscillator (DRO) which is applicable to satellite communications and broadcasting has been investigated. In the design of oscillator, the phase noise is important parameter. In this paper, The proposed oscillator has good phase noise level because it suppressed harmonics. Measurement show the fabricated oscillator is output power of about 9 dBm at fundamental frequency of 12.0 GHz and fundamental frequency suppression of -47.5 dBc. The phase noise level is about -110 dBc/Hz at 100 KHz offset frequency.

Key word : oscillator, phase noise, harmonic

I. 서론

오늘날 통신 기술은 단순한 정보 전달의 기능에서 벗어나 방송 및 멀티미디어 기술이 결합된 복합적인 형태의 기술들로 발전되고 있다. 특히 위성을 이용한 통신 및 방송 등에서 비약적인 통신 기술의 발전이 있어왔다. Ku 밴드에 속하는 12GHz ~ 14GHz 대역은 위성을 이용한 통신 및 방송 등에서 사용되고 있는 주파수이다.

위성 통신 및 방송 시스템을 비롯한 여러 통신 시스템에서 발진기의 주파수 불안정성과 위상 잡음은 아날로그 수신기의 SNR을 감소시키고 디지털 통신 시스템의 오류를 높이며 채널간의 간격을 제한시키게 하는 원인이 된다[1,2]. 또한, 아날로그 방식에서 위상변조 방식을 이용한 디지털 방식으로

변화함에 따라 저잡음 주파수 변환기의 국부 발진기에서 위상 잡음은 시스템 전체의 성능에 지대한 영향을 미치게 된다. 이와 같이 발진기의 특성은 전체 시스템 성능에 큰 영향을 미치게 되는데, 낮은 위상 잡음과 높은 주파수 안정도를 가지는 발진기를 구현하기 위해서는 $1/f$ 잡음 특성이 우수한 능동 소자와 높은 양호도의 공진기를 필요로 하게 된다 [3]. 유전체 공진기는 온도에 대하여 안정한 특성을 가지고 있으며 양호도 값이 크고 손실이 적어 고주파 발진기로의 응용에 적합한 소자로 알려져 있다. 또한 그 크기가 작아 일반적인 MIC 구조에서도 쉽게 집적시킬 수 있는 장점이 있다[4,5].

본 논문에서는 트랜지스터의 비선형성으로 인해 발생하는 고조파의 출력을 억제하기 위한 구조를 제안하고 있다. 제안된 발진기는 위성을 통한 DBS

시스템 등에 응용이 가능한 Ku 밴드용 국부 발진기로 사용할 수 있는 간단하고 소규모 크기로 구현할 수 있는 구조로 설계하였다.

2장에서는 발진기의 발진 이론과 고조파 해석에 대하여 언급하였고, 3장에서는 제안하고 있는 유전체 공진 발진기의 설계와 제작에 대하여 설명하였다. 4장에서는 제작된 발진기에 대한 측정 결과를 보여주고 마지막으로 5장에서 본 논문에 대한 결론을 맺고 있다.

II. 발진기 동작과 고조파 해석

초고주파 발진기는 능동소자의 불안정한 특성을 이용하여 DC 전력을 RF 전력으로 변환하는 것이다. 일반적으로 발진기는 내부 증폭기, 공진기, 정제환 회로 등으로 이루어진다. 초기 발진은 능동소자에 공급되는 DC 전력이 변하여 노이즈 레벨에서 발진이 시작된다. 발진 출력은 점점 성장하여 정상상태에 이르러 안정된 정현파를 만들어 낸다. 이때 소자는 출력단에서 RF 전력을 생성함으로 부성 저항을 가져야 한다. 그림 1은 등가회로를 이용한 1-단자 부성저항 발진기에 대한 모델이다.

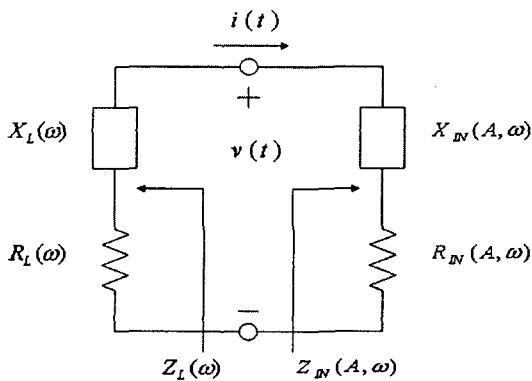


그림 1. 1-단자 부성저항 발진 회로 모델링

$Z_{IN} = R_{IN} + jX_{IN}$ 으로 능동소자의 임피던스로 전류 또는 전압, 그리고 주파수에 대한 함수이므로

$$Z_{IN}(A, \omega) = R_{IN}(A, \omega) + jX_{IN}(A, \omega) \quad (1)$$

$$R_{IN}(A, \omega) < 0$$

이다. 또한 발진기가 $Z_L(\omega) = R_L(\omega) + jX_L(\omega)$ 의 임피던스로 종단되어 있다. 이때 입력 및 출력 반사계수는 식 (2)와 (3)과 같이 주어지게 되며

$$\Gamma_{IN} = \frac{Z_{IN}(A_0, \omega_0) - Z_0}{Z_{IN}(A_0, \omega_0) + Z_0} \quad (2)$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L(\omega_0) - Z_0}{Z_L(\omega_0) + Z_0} \quad (3)$$

다음의 식 (4)의 조건을 만족할 때 발진이 일어나게 된다.

$$\Gamma_{IN}(A_0, \omega_0)\Gamma_L(\omega_0) = 1 \quad (4)$$

식 (2)와 (3)을 식 (4)에 대입하여 정리하면 다음의 식 (5)의 조건을 얻을 수 있다.

$$Z_{IN}(A_0, \omega_0) + Z_L(\omega_0) = 0 \quad (5)$$

이때 식 (5)의 조건을 실수부와 허수부로 나누어 보면 식 (6)과 (7)이 된다.

$$R_{IN}(A_0, \omega_0) + R_L(\omega_0) = 0 \quad (6)$$

$$X_{IN}(A_0, \omega_0) + X_{IN}(\omega_0) = 0 \quad (7)$$

그러나, 발진기가 과도상태에서 정상상태까지 지속적으로 발진하기 위해서는 출력 신호의 전력증가로 인한 소신호 산란계수의 비선형적인 변화를 고려해야 하므로 $R_L(\omega_0)$ 보다 $R_{IN}(A_0, \omega_0)$ 를 3배 정도 크게 설계하는 것이 일반적이다. 또한 Γ_{IN} 이 너무 크게 되면 발진기는 공진기 없이 발진하게 되어 위상잡음이 아주 나빠지고, 반대로 Γ_{IN} 이 너무 작으면 공진기가 놓인 상태에서도 발진이 없게 되므로, Γ_{IN} 의 값은 2와 3사이의 값이 되도록 하는 것이 바람직하다.

원천 주파수의 배수 성분들인 고조파는 선형적인 시스템에서도 발견되지만 트랜지스터나 다이오드와 같은 비선형적인 소자 등에 의해 고조파가 생성될 수 있다. 입출력 전류, 전압 특성이 선형적이지 않은 비선형 소자들인 이들을 통과한 신호에서는 원천 주파수 외에도 원천 주파수의 배수에 해당하는 고조파가 형성된다. 그림 2는 이런 비선형적인 입출력 특성을 보여주고 있다.

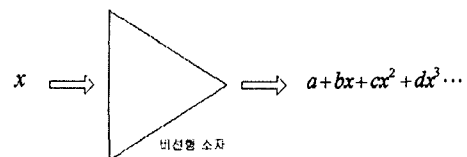


그림 2. 비선형 소자의 입출력 특성

그림 2에서 보이는 바와 같이 소자의 비선형 특성으로 인해 원천 주파수 성분 이외의 2차, 3차항

등의 고조파 성분들이 생겨나게 된다. 비선형 소자의 입력과 출력을 각각 다음과 같이 놓으면

$$x(t) = A \cos \omega t$$

$$y(t) = \alpha_1 x(t) + \alpha_2 x^2(t) + \alpha_3 x^3(t)$$

비선형 소자를 통과한 후의 입력신호에 대한 출력단의 표현을 다음의 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \alpha_1 A \cos \omega t + \alpha_2 A^2 \cos^2 \omega t + \alpha_3 A^3 \cos^3 \omega t$$

$$= \frac{\alpha_2 A^2}{2} + \left(\alpha_1 A + \frac{3\alpha_3 A^3}{4} \right) \cos \omega t \quad (8)$$

$$+ \frac{\alpha_2 A^2}{2} \cos 2\omega t + \frac{\alpha_3 A^3}{4} \cos 3\omega t$$

식 (8)은 결국 입력단에서 주파수 성분 외에도 2ω , 3ω 등 원천 주파수의 배수에 해당하는 고조파 성분들이 출력됨을 보여주고 있다. 이러한 고조파들은 전체 시스템에서 봤을 때 시스템의 선형성을 깨뜨리게 되고 상대적으로 원천 주파수 성분의 출력 전력의 감소를 불러오게 된다.

한편 저주파 대역의 잡음도 소자의 비선형성에 의하여 상향 변환되어 발진기의 잡음으로 나타나게 된다. 발진기의 출력 스펙트럼은 일반적으로 그림 3과 같은 곡선 형태로 나타나게 된다.

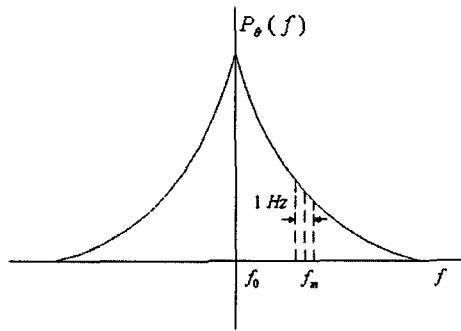


그림 3. 발진기 출력 신호의 위상 잡음

그림에서 보는 바와 같이 출력 전력은 발진 주파수뿐만 아니라 그 근처의 대역에서도 존재하는데, 이러한 원치 않는 신호 성분을 발진기 잡음이라 한다. 잡음 신호 성분은 그 응용에 따라 전체 시스템의 성능에 영향을 크게 미치게 되며, 특히 디지털 통신 시스템의 경우 발진기의 주파수 안정도와 잡음은 전체 시스템의 오율 특성에 상당한 영향을 미치게 된다.

III. 유전체 공진 발진기의 설계와 제작

본 논문에서 설계 및 제작된 유전체 공진 발진기는 간단하고 소규모 크기로 구현할 수 있는 새로운 구조의 발진기를 제안하고 있다. 케환부는 대역 통과 여파기의 특성을 나타내는 병렬 케환 구조를 사용하여 구현하였다. 일반적으로 유전체와 마이크로 스트립 선로간의 간격이 넓어지면 회로의 선택도가 증가하게 되는 성질을 이용하여 두 마이크로 스트립 선로와 유전체 공진기 간의 두 곳의 간격을 조절함으로써 선택도를 높일 수 있다. 또한, 일반적인 RF 시스템의 발진기에서는 출력을 트랜지스터의 Drain 단에 취하는 구조를 가지고 있으나 본 논문에서는 유전체 공진기와 트랜지스터의 Gate사이에서 3dB Branch Line 전력 분배기를 이용하여 출력을 취하고 있다. 이는 3dB Branch Line 전력 분배기가 Wilkinson 전력 분배기보다 대역 통과 특성이 더 좋고 공진부에서 한번 대역 통과가 된 신호를 한번 더 대역 통과를 시킴으로써 고조파 성분의 영향을 최대한 억제하도록 하였다. 또한 기존의 발진기에서 충분한 고조파 억압 특성을 얻기 위해 고조파 주파수에 대한 $\lambda/4$ 개방 스테브를 삽입하는 경우가 있는데 이는 위상 잡음 특성을 저하시킨다. 본 논문에서는 개방 스테브나 필터를 별도로 부가하지 않고 발진기 구조 자체만으로 충분한 고조파 억압 특성과 위상 잡음 특성을 얻었다.

발진기를 정제환한 증폭기로 본 회로망에서 발진기가 안정하게 발진하기 위해서는 첫째로 케환 회로의 루프 위상 변이는 발진 주파수에서 360도의 정수배이어야 하며, 둘째로 개방 루프 이득은 공진 주파수에서 0dB보다 커야한다. 그림 4는 제안하고 있는 새로운 구조의 발진기의 모습이다.

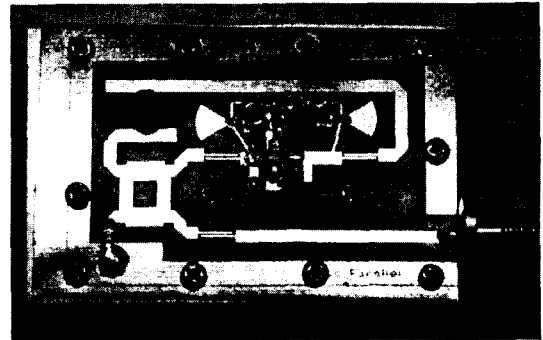
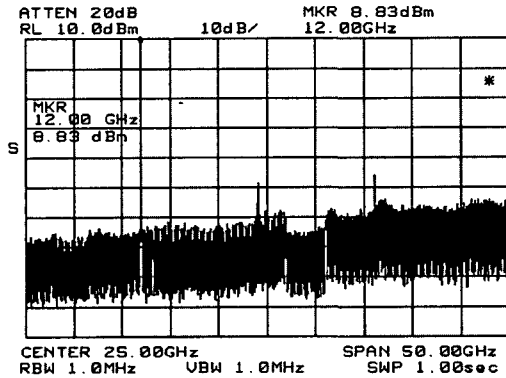


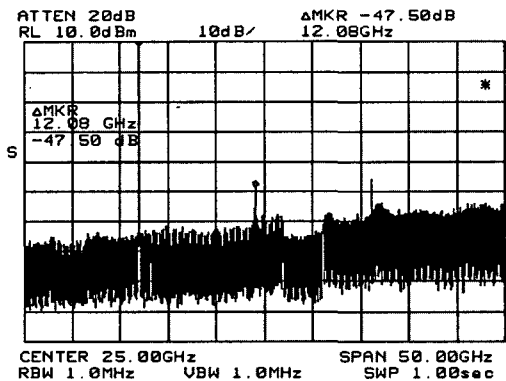
그림 4. 제안된 발진기의 회로도

IV. 유전체 공진 발진기의 측정 결과

그림 5는 제안된 유전체 공진 발진기의 원천 주파수와 고조파 성분들의 출력 스펙트럼을 측정한 결과를 나타내고 있다. 원천 주파수 성분의 출력 전력은 8.8dBm 이며 2차 고조파 성분의 억압 특성은 -47.5dBc, 3차 고조파 성분은 -44.7dBc의 값을 가졌다.



(a) 원천 주파수 성분



(b) 2차 고조파 성분

그림 5. 제작된 발진기의 출력 스펙트럼

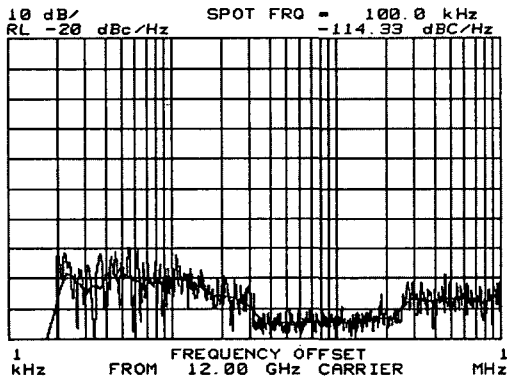


그림 6. 유전체 공진 발진기의 위상잡음 특성

그림 6은 출력 신호의 위상 잡음 특성을 측정한 결과로 100kHz의 오프셋 주파수에서 약 -114dBc/Hz 이상의 값을 가짐을 확인 할 수 있었다. 이는 일반적인 디지털 통신 시스템에서 요구되는 위상 잡음 특성을 충분히 만족하는 값이다.

V. 결론

본 논문에서는 발진기의 고조파 성분을 억제하기 위하여 3dB Branch Line 전력 분배기를 유전체 공진기의 공진부와 트랜지스터의 Gate단에 위치시키는 구조로 출력을 얻음으로써 공진기의 대역 통과 특성과 전력 분배기의 대역 통과 특성을 이용하여 고조파 성분을 최대한 억제하였다. 고조파 성분의 억제를 통하여 원천 주파수 성분이 받는 영향을 최소화 할 수 있었고 일반적인 발진기에서 고조파 억압을 위해 사용하는 $\lambda/4$ 개방 스테브나 필터와 같은 부가적인 구조를 추가하지 않음으로써 위상 잡음에 있어서도 특성의 저하를 막을 수 있었다. 이러한 새로운 구조의 병렬 궤환 유전체 공진 발진기는 DBS용 국부 발진기로의 이용이 가능하며 무선 ATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode) 네트워크용 발진기, 그리고 LMDS (Local Multipoint Distribution Service) 방식의 CATV 수신 장치의 국부 발진기 등에 응용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Floch and L. Desclos, "Technique allows simple design of microwave DROs," *Microwaves RF*, pp.107-112, Mar. 1995.
- [2] A. P.S. Khanna, "Picking devices for optimum DRO performance," *Microwaves RF*, pp. 179-182, May 1992.
- [3] *Design considerations for Ku-band DRO in Digital Communication Systems*, California Eastern Laboratories Application Note, AN1035.
- [4] J. H. Walworth, "Theory of operation of the DRO," *RF design*, pp. 26-31, Jan. 1985.
- [5] T. Saito, Y. Arai, H. Komizo, Y. Itoh and T. Hishikawa, "A 6GHz highly stabilized GaAs FET oscillator using a dielectric resonator," *IEEE MTT-S*

International Microwave Symposium Dig., pp. 197-199, June 1997.

[6] G.Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers*, Prantice Hall, New Jersey, 1997.

[7] E. Holtzman, *Solid-State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, Boston. London, 1992.