

Ku-Band용 자기발진 혼합기에 관한 연구

A Study on the Self-Oscillating Mixer for Ku-Band

최정완 권기태

(광운대학교 전자공학과 *석사과정)

강동진 민준기 유형수

(광운대학교 전자공학과 박사과정)

홍 의 석

(광운대학교 전자공학과 교수)

목 차

I. 서론

II. 기본이론

1. 발진기 이론

2. 고조파 발진기 이론

III. 설계 및 제작

1. Hair-pin 공진기 설계

2. Hair-pin 공진발진기 설계

IV. 실험 및 결과

V. 결 론

참고문헌

I. 서론

최근에는 무선으로 통신 서비스를 제공할 수 있도록 하는 무선 LAN(Wireless Local Area Network) 기술이 계속 발전해 오고 있다. 또한, 최근 무선통신의 정보시스템 연구추세는 저가 고성능의 조건을 만족시키는 기술을 요구하고 있으며 이에 따라 단순하면서도 고성능이고 복합기능을 갖춘 제품을 사용해야 한다. 이러한 수요자의 요구는 디지털 정보통신 시대에 부흥하고 복합기능을 갖춘 RFIC(Radio Frequency Intergrated Circuit) 등 새로운 시대의 도래를 위한 연구 개발에 다다르고 있다. 이러한 시스템의 핵심부품인 혼합기와 국부발진기는 없어서는 안 될 중요한 부품이다.

최근에는 GaAs FET를 이용하여 발진기 및 주파수 혼합기 특성을 동시에 만족시키는 자기발진믹서(SOM:Self-Oscillating Mixer)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 자기발진혼합기는 회로 자체적으로 국부 발진기의 주파수성분을 생성할 수 있도록 부성저항 특성의 발진기를 기본으로 한다. 평상시에는 안정한 상태로 있다가 RF 입력과 동시에 발진을 하기 시작하여 발진 주파수와 입력신호와의 혼합으로 출력신호를 얻도록 하고 종단에는 저역통과 필터를 이용하여 IF신호만을 사용하게 된다. 일반적으로 변환이득을 갖기 때문에 이러한 자기발진혼합기는 반드시 존재해야 하는 국부발진기와 혼합기를 하나로 합치고 부가적인 회로가 필요하지 않으므로 소형화, 경량화 및 비용절감에 큰 효과가 있으리라 기대된다[1,2]. 따라서 차세대 무선 LAN 주파수인 17 GHz에서 자기발진혼합기를 설계, 제작 해보고자 한다.

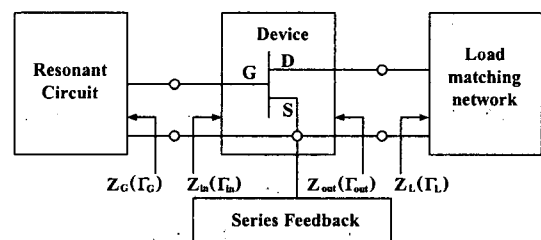
으로 이루어진다. 초기 발진은 능동소자에 공급되는 DC전력이 변하여 노이즈 레벨에서 발진이 시작되며 발진 출력은 점점 성장하여 정상상태에 이르러 안정된 정현파를 만들어낸다. 이때 소자는 RF전력을 생성함으로 부성저항을 가져야 한다 [4][5]. 트랜지스터는 2-단자망으로 보고 해석하면 편리하다. 그림 1은 2-단자망 발진기 모델을 보이고 있는데 공진부와 출력 정합회로로 나눌 수 있다. 그림 1과 같은 2-단자망 발진기 모델은 공진회로와 출력정합회로 등으로 구성되며 소신호에 의한 발진 조건은 다음과 같다.

발진조건1: $K < 1$

(K =능동소자의 stability factor)

발진조건2: $\Gamma_{in} \Gamma_G = 1$ (1-1)

발진조건3: $\Gamma_{out} \Gamma_L = 1$



<그림 1> 단자망 발진기 모델

$$|R_{out}(V, \omega_0)| > 1.2 R_L(\omega_0) \quad (1-2)$$

$$X_{out}(V, \omega_0) + X_L(\omega_0) = 0$$

능동소자로는 저 잡음 지수를 가지며 위상잡음을 최소화할 수 있는 GaAs MESFET인 HP Avantek의 ATF13786을 이용하였다. 유전율 $\epsilon_r=2.6$, 높이 0.54 동박 두께 0.018 mm인 테프론 기판을 사용하여 SOM를 설계 및 제작하였다.

II. 기본이론

1. 발진기 이론

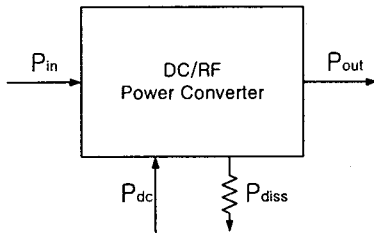
일반적으로 발진기는 내부 증폭기, 공진기, 정제환 회로 등

2. 고조파 발진기 이론

고조파 발진기(harmonic oscillator)는 기본주파수 발진기와 하모닉 발생장치로 구성되어 있다. 이러한 하모닉 발진기를 제작하기 위해서는 앞에서 살펴보았던 발진기의 원리와 주파수 체배기의 이론을 적용하여야 한다.

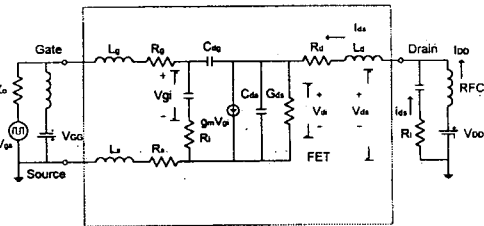
그림 2는 열역학(thermodynamic) 관점에서 본 증폭기의 구성도 이다[5]. 이러한 증폭기는 DC 전력을 AC 전력으로 바꾸어주는 변환기(converter)로 아래 식 (2-1)을 만족한다.

$$P_{in} + P_{DC} = P_{out} + P_{diss} \quad (2-1)$$



<그림 2> 열역학 관점에서 본 증폭기

선형 발진기는 FET의 비선형성 특성에 의한 고조파 신호의 정도를 예측할 수 없으므로 고조파 발진기의 설계를 위해서 비선형 해석이 필요하다. 따라서 FET 발진기의 출력 신호에 의한 고조파 출력신호의 발생은 소자의 비선형성, 바이어스 설정에 의한 A급 바이어스 전류정류 작용 또는 B급 바이어스 전류 정류 작용에 의한[6,7].



<그림 3> GaAs MESFET의 경우 비선형 등가 회로

바이어스 조건에 의한 고조파 발생은 $V_{gs} = V_p$ (pinch-off voltage)의 조건에서 해석된다. 먼저 바이어스 $V_{gs}=0$ 의 경우 게이트 축이 전 방향 전도 (forward conduction)되도록 바이어스 되므로 입력 전압 파형 V_{gs} 는 반파 전압 정류되고 식 (2-2)과 같이 푸리에의 급수로 표현된다.

$$V_{gs} = -\frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \sin \theta + \frac{2}{\pi} \left(\frac{\cos 2\theta}{3} + \frac{\cos 4\theta}{15} + \frac{\cos 6\theta}{35} + \dots \right) \quad (2-2)$$

I_{ds} 와 V_{gs} 의 관계는 해석영역에서 Gopinath의 비선형 관계식 (2-3)을 가진다. 입력전압 V_{gs} 를 식 (2-3)에 적용하여 구한 I_{ds} 는 다음 원하는 고조파를 포함하는 반파 정류파형으로 나타낸다.

$$I_{ds} = \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)^2 (I_{dss} + G_{ds} V_{ds}) \quad (2-3)$$

V_p 는 pinch-off 전압,

I_{dss} 는 $V_{gs}=0$ 에서의 I_{ds}

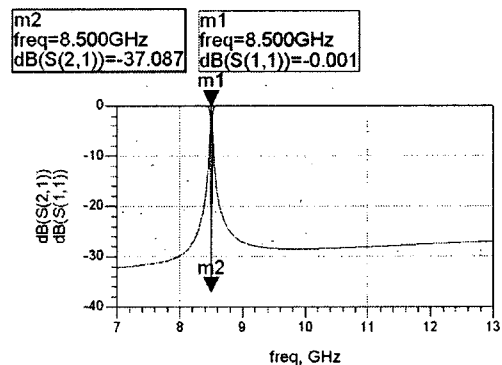
바이어스 전압이 $V_{sg} = V_p$ 의 경우에는 입력 파형은 V_p 에서 반파 정류되고 이 전압 V_{gs} 는 전달함수에 의해 B급 바이어스 전류 정류된 I_{ds} 가 된다. 이 바이어스보다 개선되지만 낮은 공급전원의 동작 점의 선택은 낮은 기본파 발진 출력과 이에 낮은 고조파 출력이 나타난다.

그러나 자기발진혼합기의 경우는 혼합기로 동작하는 경우 전달 컨덕턴스가 최대가 되어야 혼합기 동작이 최대가 된다. 따라서 소자가 임계전압(pinch-off)과 전달 컨덕턴스의 최대 점을 동시에 만족하지 못하므로 적당한 선에서 바이어스를 사용하는 것이 바람직하다.

III. 설계 및 제작

1. Hair-pin 공진기의 설계

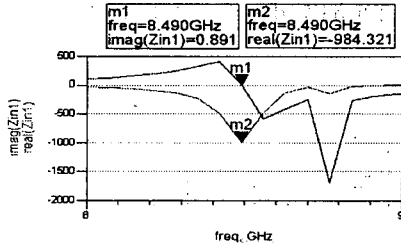
2차 고조파 발진기를 설계함에 있어서 발진주파수를 결정하는 hair-pin 공진기는 반파장 공진기로 설계하였다. 초기단계로서 공진기의 설계 파라미터인 물리적인 길이와 이에 따른 임피던스값을 기본 수식과 ADS를 이용하여 8.5 GHz 대역의 공진기를 설계하였다. 이와 같은 공진기의 반파장 길이와 폭으로부터 단일 마이크로스트립 선로와 공진기와의 최대 결합 조건을 만족하도록 결합거리는 0.1 mm로 하였다.



<그림 4> Hair-pin 공진기 필터 특성

2. Hair-pin 공진 발진기의 설계

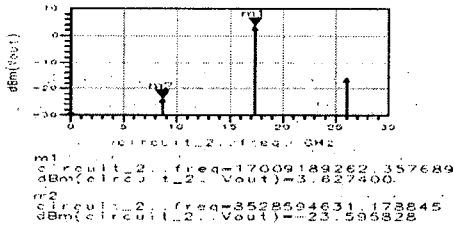
2차 고조파 발진기의 능동소자로는 저 잡음 지수를 가지며 위상잡음을 최소화할 수 있는 GaAs MESFET인 ATF13786을 이용하였다. 초기 발진조건을 만족하는 출력특성을 그림에 나타내었다.



<그림 5> 발진 가능성

이와 같이 초기 설계한 발진기에 2차 고조파 정합회로를 삽입하여 기본주파수는 억제하고 2차 고조파 성분이 증대되도록 하였다. 기본 주파수의 억제를 위해서 발진기의 출력단에 기본 주파수의 $\lambda_g/4$ 의 오픈 스테브를 첨가함으로써 8.5 GHz의 신호를 전기적으로 접지 시켰다. 뿐만 아니라 발진기의 비선형 해석시 2차 고조파인 17.0 GHz의 증대를 위한 출력정합회로로 최적화 작업을 거쳤다.

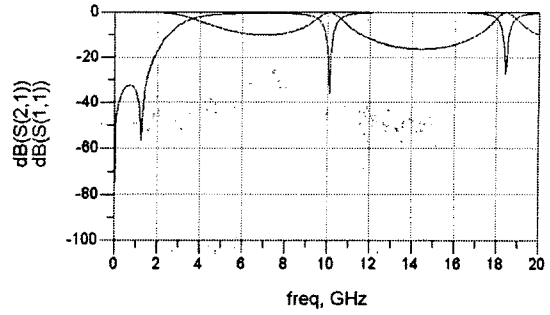
그림 6은 발진기의 선형해석을 바탕으로 비선형 해석 방법인 harmonic balance로 주파수 영역에서 해석한 결과를 나타내고 있다.



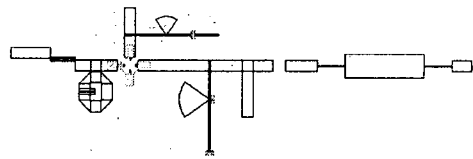
<그림 6> Hair-pin 공진기 필터 특성

3.2 자기발진혼합기의 설계

자기발진혼합기는 동작점의 선정이 무엇보다 중요하다. 소자가 혼합기로 사용되어져야 할 때는 전달컨덕턴스의 값이 커야하고 고조파 발진형태의 발진기로 사용되어 질 때는 무엇보다도 핀치오프 전압에서 소자가 동작되어 져야 한다. 따라서 동작점의 선정은 전달 컨덕턴스의 값도 어느 정도 만족하면서 고조파 성분이 많이 생기는 핀치오프 전압도 만족 시켜야 하기 때문이다[10]. 전달컨덕턴스와 핀치오프 전압을 동시에 만족시킬 수 없으므로 적당한 선에서 동작점을 선정한다. 회로 종단에 IF주파수인 0.9 GHz~1.1 GHz를 얻기 위하여 가장 간단한 형태인 저역통과 여파기(Low Pass Filter)를 추가한다. 다음 그림 7은 저역통과 필터의 시뮬레이션 결과이다. 또한 그림 8은 본 논문에서 설계된 자기발진혼합기의 전체적인 lay-out 이다.



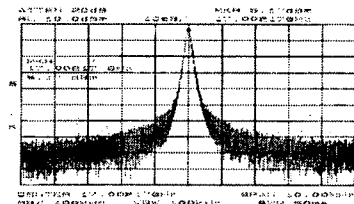
<그림 7> 저역통과 필터의 특성



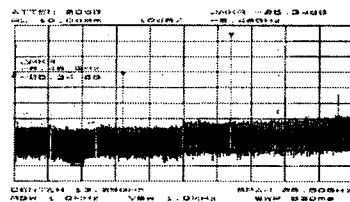
<그림 8> 자기발진믹서 lay-out

IV. 실험 및 결과

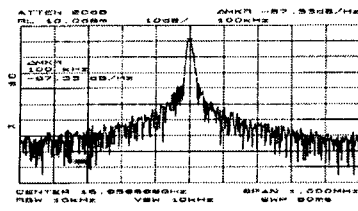
그림 9은 발진기의 고조파 특성 및 Span이 10MHz인 협대역에서 상온에서 측정된 발진 특성을 나타내는 출력 스펙트럼으로서 17.0 GHz에서 5.17 dBm의 특성을 얻었으며 또한 Span이 1MHz 일 때 100 KHz 떨어진 곳에서의 위상잡음(phase noise) 특성은 -87.33 dBc/Hz의 특성을 얻었다. 발진기의 드레인 전압은 2.6 V, 소모된 드레인 전류는 25 mA이고 기본주파수 억압특성은 -25.34 dBc의 특성을 알 수 있었다.



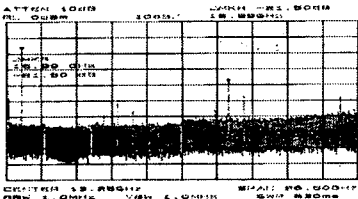
<그림 9> 발진기 스펙트럼



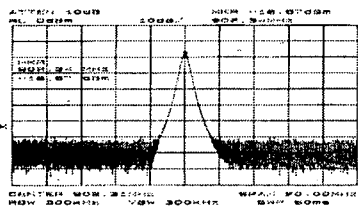
<그림 10> 발진기의 고조파 특성



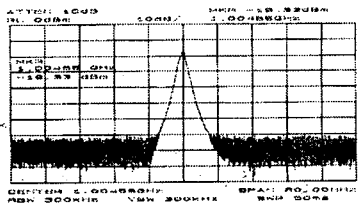
<그림 11> 발진기의 위상 잡음 특성



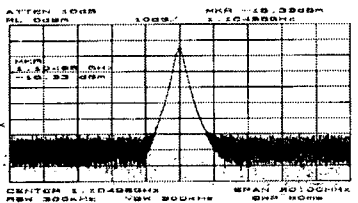
<그림 12> 자기발진혼합기의 출력 스펙트럼



<그림 13> IF 출력 스펙트럼 (@902.34 MHz)



<그림 14> IF 출력 스펙트럼 (@1.0 GHz)

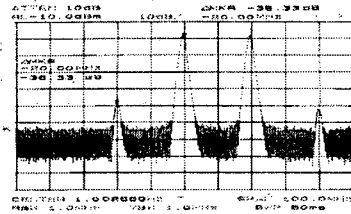


<그림 15> IF 출력 스펙트럼 (@1.1 GHz)

LO가 17GHz에서 동작하고 있고 RF주파수 즉, 17.9 GHz~18.1 GHz를 인가했을 때 나타나는 그림 10~12의 특성이 나타나 있다. 각각 -20 dBm의 전력을 18.1 GHz, 18 GHz, 17.9

GHz로 인가했을 시 IF는 순서대로 902.34 MHz에서 -18.67 dBm, 1.0 GHz에서 -19.33 dBm, 1.1 GHz에서 -16.33 dBm의 출력 특성을 얻었다. 각각의 주파수에 대하여 모두 변환이득 (conversion gain)을 얻었다.

IMD3의 측정은 RF 18.0 GHz와 18.02 GHz를 인가했을 때 그림 16 과 같이 38.33 dBc의 특성이 측정되었다.



<그림 16> 자기발진혼합기의 IMD3 특성

V. 결 론

먼저 8.5 GHz에서 발진기를 설계한 후, 기본 주파수를 억압하고 17.0 GHz의 제 2차 고조파를 증대시키는 고조파 발진기를 설계, 제작하였다. 공진기로는 고안정의 신호원으로 사용되는 유전체공진기 대신 기존의 마이크로스트립 필터에 응용되었던 hair-pin 공진기를 이용함으로써 입체구조에서 평면구조로 바뀌 주어 향후 MMIC 회로 설계 응용시 발생하는 공정 단순화에 대한 가능성을 제시하였다. 이 발진기는 17.0 GHz에서 출력 5.17 dBm과 위상잡음 특성 -87.33 dBc/Hz(@100 KHz offset), 기본주파수 억압 -25.34 dBc의 특성을 보였다.

바이어스를 조절하여 평상시에는 안정영역에 있다가 RF 주파수(17.9~18.1 GHz) -20 dBm이 인가되었을 때만 17.0 GHz에서 발진을 하여 이 두 신호가 서로 혼합된 신호를 지역여파기 통과후 IF 주파수의 특성을 얻었다. 이 IF 신호는 각각 902.34 MHz~1.1 GHz에서 -16.33 dBm~19.33 dBm으로 모두 변환이득을 가졌다. 또한 IMD3는 -38.33 dBc의 특성을 보였다.

참고문헌

- [1] U. Dahlgreen and J. Svadin, "An Integrated Millimeterwave BCB Patch Antenna HEMT Receiver," 1994 *IEEE MTT-S inter. Symp.*, pp. 661-664.
- [2] G. Wang and T. Lin, "A Low Cost DBS Low Noise Block Downconverter with a DR Stabilized MESFET Self-Oscillating Mixer," 1994 *IEEE MTT-S inter. Symp.*, pp. 1447-1450.
- [3] S. Y. Liao, *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design*, Prentice Hall, 1987.
- [4] Y. Tajima, "GaAs FET Applications for Injection-Locked Oscillators and Self-Oscillating

- Mixer," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol MTT-27, pp. 629-632, July 1979.
- [5] R. Soares, J. P. Catelatto, P. Legpud and M. Armand, "Performance of InP MESFET X-band Oscillator and K-band Oscillator-Doubler," *European Microwave Con.*, pp. 263-267.
- [6] J. Lin and T. Itoh "Tunable Active Bandpass Filters using 3-terminal MESFET Varactor," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 921-924, 1992
- [7] W. R. Curtice and M. Ettenberg, "A nonlinear GaAs FET model use in the design of output circuit for power amplifier," *IEEE Trans. Microwave Theory and tech.*, vol. MTT-33, no. 12, pp. 1283-1394, Desember 1985.
- [8] C. M. Montiel, L. Fan, and K. Chang, "A Self-mixing Active Antenna for Communication and Vehicle Identificaton Applications", *1994 IEEE MTT-S inter. Symp.*, pp 333-336
- [9] *HP ADS(Advanced design System) ver.1.1 User's Manual*, Hewleat packard, 1998.
- [10] L. J. Kushner, "Ocutput Preformance of Idealized Microwève Power Amplifiers." *Microwave Journal*, October 1989, Vol 10, pp 103-116