

주입 동기 방식을 이용한 5GHz대역 자기발진 주파수 혼합기의 설계 및 제작

*류재중, 이주갑, 류원열, 윤영섭, 최현철
경북대학교 전자전기컴퓨터학부
e-mail : ryujj@palgong.knu.ac.kr

Design and Fabrication of Self-Oscillating Mixer Using Subharmonic Injection Locked Oscillator for 5GHz

*Jae-Jong Ryu, Ju-Gap Lee,
Won-Yeol Ryu, Young-Seop Yoon, Hyun-Chul Choi
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

Abstract

In this paper, Self-Oscillating Mixer is designed by oscillator that was based on a general nonlinear input-output model for the subharmonic injection locked oscillator is analysed. We have designed and fabricated the Self-Oscillating Mixer for 5GHz by proposed subharmonic injection locked oscillator based frequency synthesizer structure that have characteristic of good frequency sensitivity, good phase noise. The design strategy leading to an optimized SILO with regards to its locking range is described and a test SOM circuit is demonstrated a 4dB conversion gain at 280MHz IF frequency from the carrier.

I. 서론

일반적으로 다이오드 혼합기는 변환손실, FET 혼합기는 국부 발진기 점유면적 및 전력소모의 단점이 있다. 따라서 자기발진 혼합기는 외부 발진기와 중간주파수 증폭기가 필요없이 자체 발진 및 증폭을 하므로 비용과 시스템의 단순화에 이점을 가진다.^[1] 가장 간단한 형태의 마이크로스트립 케환회로만을 사용한 자기

발진 주파수 혼합기는 충분한 발진주파수의 안정도를 얻을 수 없으며, 이러한 주파수 안정도를 높이기 위해 유전체 공진기를 사용하는 경우 유전체 공진기의 집적화에 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하고 충분한 주파수 안정도를 얻기 위하여 부고조파 주입동기 발진기를 이용한 자기발진 주파수 혼합기를 제안하고, 5GHz대역에 적용하였다. 제안된 주입동기 발진기를 이용한 자기발진 주파수 혼합기는 간단한 마이크로스트립 구조를 사용하면서 비교적 안정한 주파수 혼합기로서 동작하므로 RFIC/MMIC 기술에 적용 가능한 장점을 가진다.

II. 주입동기 발진기

주입동기 발진기는 주입신호, 즉 외부의 RF 신호를 자유 발진하는 발진기의 입력에 인가하여 얻어진다. 자유 발진하는 발진기는 높은 AM, FM, PM 잡음을 나타내지만, 만약 안정한 입력신호가 주입되면, 발진기는 안정화되고 주입신호를 증폭할 것이다.^{[2][3]} 발진기의 주입동기 이득은 발진기의 출력 전력레벨과 입력 주입신호의 전력레벨의 비로 정의되며, 주입동기 발진기의 power-added efficiency는 식 (1)과 같다.

$$\eta_A = \frac{P_0 - P_i}{P_{dc}} \quad (1)$$

여기서 P_0 는 발진기의 출력 전력레벨이고 P_i 는 주입 신호의 전력레벨이며, P_{dc} 는 발진기에 인가되는 dc 전력이다. 또한 동기대역폭은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$B = \frac{2\Delta\omega_m}{\omega_0} = \frac{2}{Q_{ext}} \sqrt{\frac{P_i}{P_0}} \sec \theta \quad (2)$$

여기서 θ 는 정규 circuit 궤적으로부터 device line의 기울기 각을 의미한다. P_0 는 공진 회로의 자유발진 전력, P_i 는 주입 전력을 의미한다. 즉 이득이 낮을수록 넓은 동기대역폭을 가지고, 반대로 이득이 높을수록 좁은 대역폭을 가진다.^[4] 본 논문에서는 이러한 대역폭의 관계를 고려하여 RF 신호 주파수와 국부 발진 주파수가 영향을 받지 않도록 주입신호의 전력을 선택할 것이다.

III. 회로설계

3.1 부고조파 주입동기 발진기

부고조파 주입동기 발진기는 FET의 동작점을 선택하기 위해 주입동기 입력신호($f_{LO}/3$)에 대하여 3차 부고조파의 출력특성을 먼저 고려하여야 한다. 본 논문에서는 Infineon사의 CFY-30 GaAs FET를 사용하였고, 주입동기 입력신호를 고정하고 게이트 바이어스를 변화시키면서 3차 부고조파의 출력특성을 관찰하였다.

설계된 주입동기 발진기는 주입동기 입력신호를 소스단에 입력함으로써 transmission-injection type에서 발생할 수 있는 주파수 이격현상을 감소시키도록 하였다. 50Ω 동기신호 입력단이 포함된 상태에서 소스에 개방 스테브를 이용한 궤환회로를 구성하여 발진 주파수와 인접한 RF 신호 주파수에서는 부성저항을 가지지 않도록 최소의 부성저항을 형성하도록 설계하였다. 그림 1에 일반적인 FET 발진기의 개략도를 나타내었다. 먼저 원하는 발진 주파수에서 최적의 Z_1, θ_1 과 Z_3, θ_3 의 리액턴스 조합을 조사하였다. 그림 1의 회로가 발진하기 위해서는 $Re(Z_{out})$ 이 Z_1, θ_1 과 Z_3, θ_3 의 조합으로 부성저항을 가져야 한다.

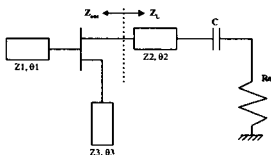


그림 1. 마이크로스트립을 이용한 일반적인 FET 발진기

또한 $|Re(Z_{out})|$ 이 최대가 될 때 최대출력을 얻을 수 있다. 그리고 Z_2, θ_2 는 R_0 를 50Ω로 선택하여 식 (3)과 식(4)에 의해 결정할 수 있다.^[5]

$$Re(Z_L) = \frac{1}{3} |Re(Z_{out})| \quad (3)$$

$$Im(Z_L) = -Im(Z_{out}) \quad (4)$$

본 논문에서는 FET의 nonlinear SPICE 모델을 이용하여 Agilent사의 ADS로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 그림 2와 같은 결과를 얻었으며, 5.5GHz에 대한 임피던스 조합을 나타내었다.

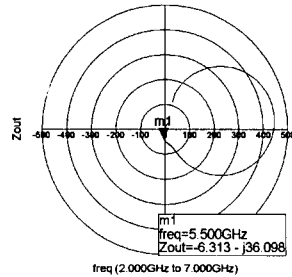


그림 2. 주파수에 대한 Zout

- Z_1, θ_1 : 50Ω, 81°
- Z_3, θ_3 : 50Ω, 110°
- Z_{out} : -6.3-j36
- Z_L : 3+ j36

이 결과를 이용하여 발진기 입력부하 및 출력부하를 마이크로스트립 스테브를 이용하여 설계하였다. 또한 주입신호가 입력되는 소스에 대한 정합회로가 부가되었다.

3.2 자기발진 주파수 혼합기

자기발진 주파수 혼합기는 그림 3과 같이 앞서 설계한 주입동기 발진기를 이용하여 설계하였다. 주파수 혼합기의 설계에 있어 우선 고려해야 할 것은 RF 신호주파수와 IF 주파수에 대하여 안정도 영역에서 동작하도록 설계하여야만 한다. 따라서 FET에서 궤환요소의 값을 선정하는데 있어 안정도를 충분히 $K < 0$ 이 되도록 하고, 발진출력을 최대로 할 수 있도록 설계되어야 하며, RF 신호주파수와 중간주파수에 대하여 안정도 영역에서 동작하도록 궤환요소를 설계하여야 한다. RF 입력신호가 정합회로를 거쳐 FET의 트랜스컨덕턴스가 발진주파수 f_{LO} 에서 발진전압에 변조되어

$f_{IF}=f_{RF}-f_{LO}$ 의 주파수 성분이 드레인 전류에 증폭되어 나타나게 된다. 따라서 게이트와 소스간의 Schottky 비선형성이 가장 큰 바이어스 조건 하에서 충분한 발전 전력을 얻는 것이 최적의 방법이 된다.^[1]

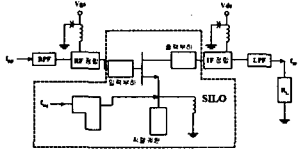
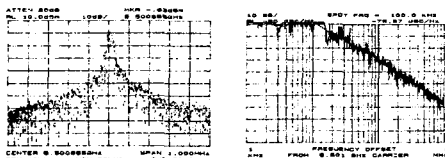


그림 3. SILO를 이용한 자기발전 혼합기의 개략도

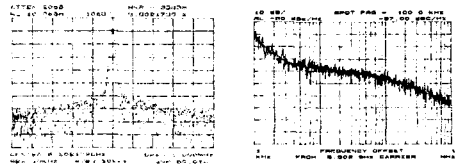
자기발전 주파수 혼합기의 입력 정합은 발전기 입력 부하(0.16-j4.9)와 RF 저잡음 부하($\Gamma^*=0.85\angle-157^\circ$)를 개방 스타브를 사용하여 정합하였다. 출력단 정합은 출력부하(3+j36.5)와 IF 출력신호 정합($\Gamma_L=S22^*=0.94\angle 134^\circ$)을 개방 스타브로 정합 하였으며, $f_{LO}/2$ 개방 스타브를 사용하여 발전기 출력부하에 영향을 미치지 않도록 구현하였다.

IV. 제작 및 측정

본 논문에서는 5GHz 대역의 무선랜 시스템에서 국부 발전기가 필요없는 자기발전 주파수 혼합기를 rogers 사의 duroid기판[비유전율 3.38, 두께 20mil]을 사용하여 구현하였다. 부고조파를 이용한 주입동기 발전기는 infineon 사의 CFY30 GaAs FET를 이용하여 제작하였다. 중심주파수 5.5GHz에서 제작하여($V_{ds}=3V$, $V_{gs}=-1.3V$), 자유발전 상태의 출력스펙트럼과 위상잡음을 각각 그림 4(a), (b)에 나타내었고, 동기 상태의 출력스펙트럼과 위상잡음을 측정한 결과를 그림 5(a), 그림 5(b)에 나타내었다. 주입동기 발전기의 출력은 5.5GHz 자유발전 주파수에서는 출력전력 $-0.83dBm$, 위상잡음 $-79.67 dBc/Hz$ (@100kHz offset)으로 측정되었으나, 1.833GHz $-3dBm$ 의 주입신호에 대하여 동기된 후에는 출력전력 $-0.33dBm$ 위상잡음 $-97dBc/Hz$ (@ 100kHz offset)으로 측정되었다.



(a)출력스펙트럼 (b)위상잡음
그림 4. 자유발전 상태 SILO의 출력특성



(a)출력스펙트럼 (b)위상잡음
그림 5. 동기상태 SILO의 출력특성

그림 6은 SILO를 이용하여 설계된 자기발전 주파수 혼합기의 모듈이다.

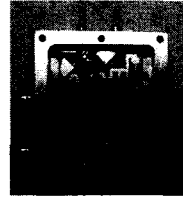


그림 6. 자기발전 주파수 혼합기 모듈 (5×4 mm)

RF 입력신호가 없을 때, 그림 7에 게이트 바이어스 전압에 따른 자기발전 주파수 혼합기의 출력주파수 및 출력전력을 나타내었다. 그림 8은 게이트 바이어스 전압에 따른 주입신호의 전력에 대한 동기대역폭의 변화를 나타낸 그림이다. 주입신호는 $-3dBm$ 으로, 게이트 바이어스는 그림 7과 그림 8의 결과를 고려하여 비선형 특성이 가장 잘 나타나는 $-1.3V$ 로 결정하였다.

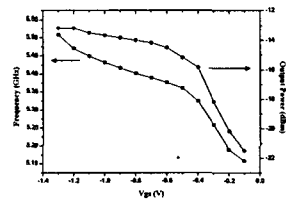


그림 7. SILO의 출력 주파수 및 출력 전력 vs. 게이트 바이어스 전압($V_{ds}=3V$)

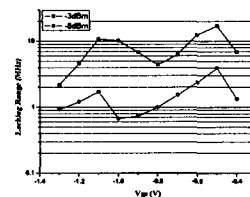


그림 8. 주입 신호의 전력 vs. 동기 대역폭의 변화($V_{ds}=3V$)

자기발전 주파수 혼합기는 앞서 제작한 주입동기 발

진기를 이용하여 RF 입력단 저잡음 정합과 IF 출력단 정합을 하고, 각각 입력단에 대역통과 여파기와 저역통과 여파기를 구현하여 제작하였다. RF 입력단에 적용된 대역통과 여파기는 4.6~5.8 GHz의 1.4GHz 3dB 대역폭을 가지며 1.5dB의 전달 손실을 가진다. 그리고 IF 출력단에 적용된 저역통과 여파기는 2.1GHz 3dB 대역폭을 가지며 ± 0.1 dB의 평탄도를 가진다.

그림 9는 1.83GHz, -3dBm의 주입신호에 대하여 동기된 주파수 혼합기에 RF 입력신호 5.21 GHz의 -30dBm을 인가하고 IF 출력에 대하여 측정한 결과이다. 측정결과 280MHz에서 -26dBm을 나타내었고, 이로부터 4dB의 변환 이득을 가짐을 확인할 수 있다. 그림 10은 RF 입력전력에 따른 혼합기의 변환이득을 측정한 결과이다. 입력신호 -25dBm부터 이득의 저하가 나타나고, -12dBm 이상의 입력전력에 대해서는 발진이 불안정해지는 특성을 나타내었다.

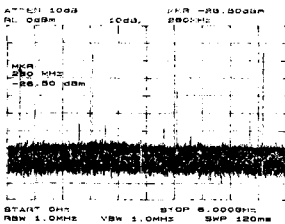


그림 9. 자기발진 주파수 혼합기 출력스펙트럼

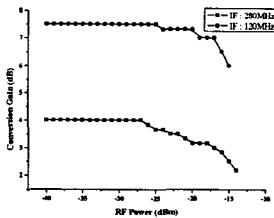


그림 10. RF 입력신호에 대한 변환 이득

그림 11은 RF 주파수의 변화에 따른 IF 주파수의 출력전력 대하여 변환 이득을 측정한 결과이다.

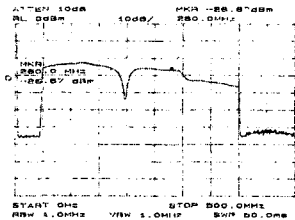


그림 11. IF 주파수에 대한 출력전력 레벨 특성

-30dBm의 RF 입력전력을 인가하고 측정한 결과 IF 주파수 50~180MHz, 210~300MHz에서 변환이득을 가짐을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 5GHz 대역의 주파수 혼합기를 제작 하는데 있어 일반적으로 많이 쓰이는 국부 발진기를 이용한 방식의 단점을 보완하기 위해 자기발진 주파수 혼합기의 구조를 제안함으로써 시스템 성능향상의 가능성을 제시하였다. 주입동기 발진기의 기본 이론 및 주입신호에 대한 출력신호 동기특성을 바탕으로 제작을 통하여 확인하였고, 안정도, 위상 잡음 등에서 향상된 성능을 가지는 것을 보였다. 또한 주입동기 발진기를 적용하여 5GHz 대역 자기발진 주파수 혼합기를 제작하여 그 특성을 확인하였다. 부고조파 주입동기 발진기를 자기발진 주파수 혼합기에 응용할 경우, 주입동기 발진기의 안정된 발진을 국부 발진기로 사용할 수 있으며, 발진기에 사용된 트랜지스터를 동시에 혼합기로 사용할 수 있으므로 구조가 간단하며 변환 이득을 얻을 수 있어 LNA단 혹은 IF 증폭단의 부담을 줄일 수 있다. 향후 주입동기 발진기의 주파수 안정도 및 잡음특성의 연구와 집적화를 통하여 시스템에서 요구되는 국부발진기와 주파수 혼합기의 부담을 줄이는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 권동성, "GaAs MESFET를 이용한 초고주파 자체 발진 혼합기에 관한 연구" 전자공학회논문지, Vol. 24, 1987.
- [2] Adler, R., "A study of Locking Phenomena in Oscillators," *Proc. IRE*, Vol. 34, No. 6, June 1946, pp. 351-357
- [3] Kurokawa, K., "Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators," *Proc. IEEE*, Vol. 61, No. 10, October 1973, pp. 1386-1410.
- [4] Holzman, Eric, L., "Solid-state Microwave Power Oscillator", Artech House, 1992.
- [5] Minoru Maeda, "Design and Performance of X-Band Oscillators with GaAs Schottky-Gate Field-Effect Transistors", *IEEE*, Vol. MTT-23, No. 8, August 1975
- [6] 박창식, "차세대 무선LAN 기술과 표준화 현황", *KT Standardization trends*, Vol. 11, 2003.