

부성저항을 이용한 인덕터의 Q값 개선과 이를 이용한 발진기의 설계 및 제작

°권순철*, 윤영섭*, 류원열*, 최현철*

경북대학교 전자전기컴퓨터 학부

Tel : 053)940-8652 , FAX : 053)940-8852

(E-mail : soonchul@hotmail.com)

Design and Fabrication of Oscillator Improving Q of Inductor Using Negative Resistance

°Soon-Chul Kwon*, Young-Seop Yoon*, Won-Yeol Ryu*, Hyun-Chul Choi*
School of Electrical Engineering and Computer Science, KyungPook National Univ

Abstract

In this paper, High Q Inductor using negative resistance circuit and the ceramic inductor was designed and fabricated at 2GHz. It was Improved the inductor of Q=90 using a inductor with Q=30 added to negative resistance circuit at 2GHz. As a result, at the bias condition of 3V and 16mA, the output power and phase noise in the operation frequency 2.01GHz are 5dBm and -115.34dBc/Hz at 100kHz offset from carrier, respectively. Phase noise was improved -10dBc/Hz at 100kHz offset compared to only using ceramic inductor.

I. 서론

최근 이동통신의 눈부신 발전과 더불어 GHz이상에서 Q(Quality factor)값이 높은 인덕터의 개발이 절실히 요구된다. 그러나 수 GHz나 그 이상의 주파수에서는 양호도 높은 인덕터의 개발이 어렵기 때문에 Coaxial 공진기와 Strip 공진기와 같이 Q가 큰 공진기를 인덕터 대용으로 발진기 부하단에 이용한다.^[1] Coaxial 공진기의 경우 양호도가 약 500으로 여타 공진기에 비해서 높으나 크기가 크고, Strip 공진기는 다른 공진기에 비해 크기가 작지만 양호도가 50이하로 낮다. 따라서 수 GHz대역에서 많이 사용되고 있는 두 공진기의 장·단점을 보완할 수 있는 공진기나 인덕터의 제작이 필요하다. 본 논문에서는 부성저항을 이용하여 인덕터의 Q값을 증가시킨 후 이를 발진기제작에 이용하여 위상잡음의 개선결과와 Q값 개선과를 보였다. 또한 발진기 제작에서 위상잡음을 줄

이기 위해서 잡음지수가 낮고 1/f잡음특성이 우수한 Infineon사의 BFP520을 사용하였다.

II . Negative Resistance

1. 부성저항회로 제작

부성저항을 얻을 수 있는 능동소자는 크게 트랜지스터와 다이오드류로 나눌 수 있는데, 건(Gunn) 다이오드의 경우는 부성저항의 발생주파수가 수십 GHz이상이고 사이즈가 크기 때문에 수 GHz에서는 부성저항 발생소자로 적당하지 않다. 본 논문에서는 수 GHz에서 쉽게 부성저항을 얻을 수 있는 트랜지스터를 이용하여 부성저항 회로를 설계하였다.^[2]

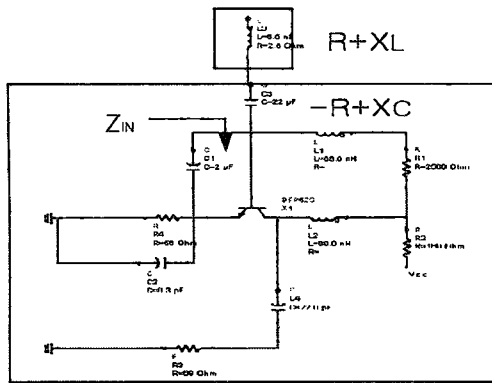


그림 1. 부성저항 회로의 회로도

그림 1은 부성저항회로의 회로도를 나타낸 것이다. 부성저항 발생에 사용된 트랜지스터는 Infineon사의 BFP520 이며 인가전압은 2.05V, 6mA이다. Feedback은 커패시터 C1, C2를 이용하여 부성저항이 발생할 주파수를 선택하였다.

그림 1에서 부성저항회로의 입력임피던스 Z_{IN} 는 식 (1)과 (2)의 두 개의 루프방정식으로 계산할 수 있다.

$$v_{IN} - i_{IN}X_{C1} - i_{IN}X_{C2} + i_B X_{C1} - \beta i_B X_{C2} = 0 \quad (1)$$

$$h_{11}i_B + i_B X_{C1} - i_{IN}X_{C1} = 0 \quad (2)$$

트랜지스터의 소신호 파라미터를 이용해서 입력 임피던스를 구해보면 식 (3)과 같다.^{[3][4]}

$$Z_{IN} \doteq \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega [C_1 C_2 / (C_1 C_2)]} \quad (3)$$

인덕터는 크기가 작고(0.6×0.3mm) 구하기 쉬운 삼성전기의 고주파용 인덕터인 CHI 시리즈를 이용하였다. 표 1은 제조사에서 제공하는 인덕터의 주파수특성이다.

표 1. 인덕터의 Data sheet

Part No	Inductance nH@100MHz	Q min			SRF min
		0.1	0.8	1.8	
CIH05T	5.6 ± 0.3nH	8	22	29	4GHz
5N6	.10%				

표 1에서 1.8GHz 인덕터의 Q값으로부터 직렬저항값을 구하면 2.5Ω이다. 부성저항과 인덕터를 이용하여 Q를 100으로 구현하기 위해서는 1.8GHz에서 -1.5Ω의 부성저항을 발생시켜야 한다.

그러나 본 논문에서는 2GHz에서 양호한 Q값을 가진 인덕터의 구현이 목적이므로 2GHz에서의 인덕터의 직렬저항값이 필요하다. 따라서 2GHz에서의 인덕터의 직렬저항값을 얻기 위해서 부성저항회로와 인덕터가 첨가된 부성저항회로를 Network analyzer로 각각 측정하여 두 회로의 차를 구함으로써 2GHz에서 인덕

터의 직렬저항값을 추출하였다. 표 2는 각각의 방법으로 측정된 인덕터의 특성을 비교하였다.

표 2. 측정 인덕터의 비교

		Impedance analyzer	Network analyzer
1.8GHz	L	7.5nH	7.9nH
	Q	40	46
2GHz	L	×	8.6nH
	Q	×	38.0

측정주파수 1.8GHz에서 Impedance analyzer로 측정된 결과와 Network analyzer로 측정된 결과를 비교하면 인덕터의 인덕턴스 값은 서로 5.4%의 오차를 가졌고 Q값은 12%의 오차를 가졌다. Impedance analyzer의 오차 ±4%(1.8GHz) 그리고, Network analyzer의 측정오차와 Calibration 과정에서의 오차를 고려한다면 양호한 측정결과라 볼 수 있지만, 부성저항회로의 발진 가능성을 제거하기 위해서 Q값의 오차 12%와 Impedance analyzer의 측정오차 4%를 합한 저항값을 부성저항 발생시 감안할 것이다.

즉, Network analyzer로 2GHz에서 측정된 인덕터의 Q값으로부터 인덕터의 저항값을 구하면 2.842Ω이 구해진다. Q값이 38인 인덕터를 100인 인덕터로 개선하기 위해서는 -1.8Ω의 부성저항을 발생시켜야 하나 측정오차를 감안하여 16%낮게 부성저항을 발생시키면 저항값은 -1.5Ω이 된다.

2. 부성저항회로 측정

그림 2는 부성저항 회로를 Network analyzer를 이용하여 300kHz에서 3GHz까지의 임피던스를 측정할 결과이다. 1.6V일 때 부성저항이 발생하기 시작하여 인가전압이 2.15V일 때 최대의 부성저항값을 얻을 수 있다.

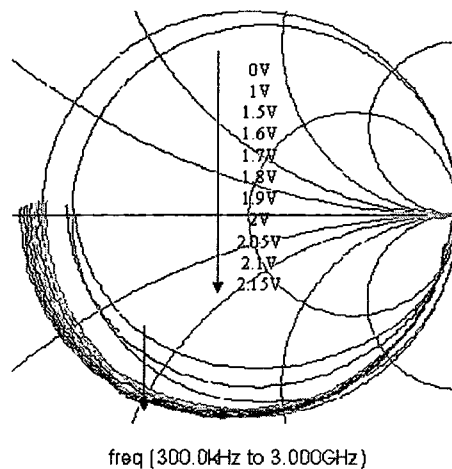


그림 2. 부성저항부의 임피던스(0V~2.15V)

그림 3은 부성저항회로에 인덕터가 추가된 회로의 전압증가에 따른 임피던스 변화를 Network analyzer로 측정된 것이다. 인가전압을 증가시키면 부성저항이 증가하여 인덕터의 직렬저항값을 감소시키므로 전체회로의 Q값이 증가하였다.

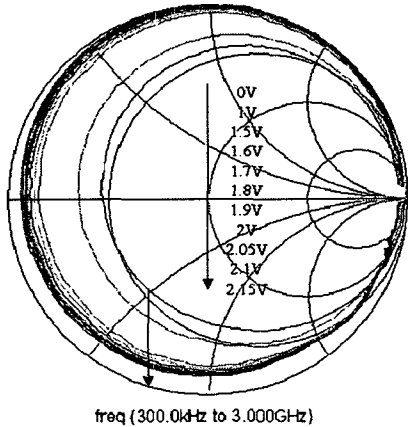


그림 3. 부성저항부와 인덕터의 임피던스(0V~2.15V)

표 3은 인덕터의 특성 개선전과 개선후의 특성변화이다. 부성저항회로의 인가전압을 2.05V로 하였을 때 부성저항부의 부성저항은 -1.5Ω 이 발생하여 Q값이 52가 증가하였다.

표 3. 개선전과 개선후의 인덕터의 특성 변화
(단, $f=2\text{GHz}$ 부성저항부 전압 2.05V)

	L[nH]	Q
L (인덕터)	8.6	38
-R+L (부성저항+인덕터)	7.9	90

III. 발진기

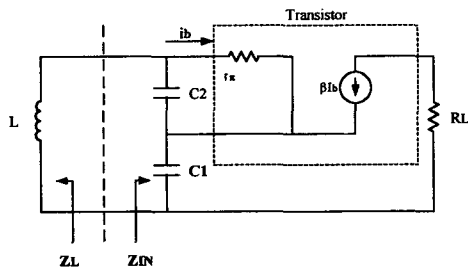


그림 4. 변형 클램프형 발진기의 회로도

그림 4는 바이어스 회로를 제외한 변형 클램프 형태의 발진기의 회로도이다. 부성 저항을 얻기 위해서 C1과 C2가 사용되었다. L은 부하단의 등가적인 인덕

턴스이다. 그림 4에서 트랜지스터의 소신호 파라미터를 이용해서 트랜지스터의 입력 임피던스를 구해보면 식 (4)와 같다.^[5]

$$Z_{IN} = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega [C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (4)$$

발진 주파수를 근사적으로 구해보면 식 (5)과 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_1 C_2 / (C_1 + C_2)}} \quad (5)$$

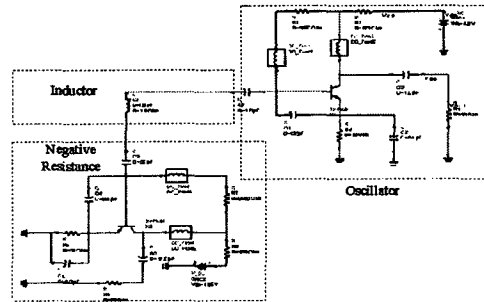


그림 5. 발진기의 회로도

그림 5는 발진기의 전체회로도이다. 발진기는 클램프형을 이용하고 부하단에는 2GHz에서 Q값이 38인 인덕터를 이용하였고 인덕터 뒷단에 부성저항을 연결하여 발진기 부하단의 Q값을 개선하여 발진기에 이용하였다.

V. 발진기 측정

제작된 발진기는 3V, 16mA의 바이어스 조건에서 측정하였고 부성저항부의 인가전압은 0V부터 2.2V까지 변화시켜 Spectrum analyzer로 측정하였다. 측정결과 부성저항의 변화에 관계없이 발진기 출력은 5dBm으로 일정하게 나타났으며 부성저항의 인가전압이 2.0V일 때는 그림 6과 같이 100kHz offset에서 -111dBc/Hz 의 결과를 얻었으며 부성저항부의 전압을 2.05V로 증가시키면 그림 7에서와 같이 100kHz offset에서 -115.34dBc/Hz 로 부성저항 2.0V일 때에 비해 -4dBc/Hz 가 향상되었다.

발진기의 고조파 특성은 그림 8에 나타난 것과 같이 -12.50dB 로 나타났다. 표 4는 부성저항의 전압변화에 따른 발진기의 특성을 나타내었다.

발진기의 위상잡음은 부성저항이 증가하여 인덕터의 직렬저항이 감소할수록 향상되었고 약 $4\text{dBc}/0.1\text{V}$ 의 개선효과를 보였다.

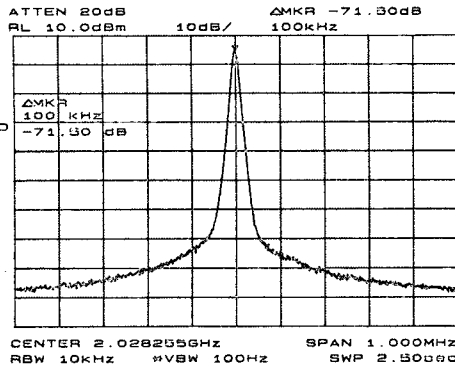


그림 6. 발진기의 위상잡음 특성(부성저항부=2.0V)

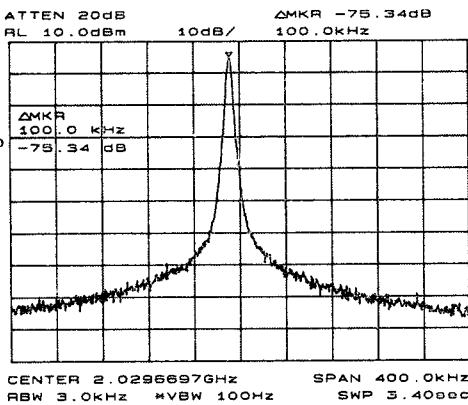


그림 7. 발진기의 위상잡음 특성(부성저항부=2.05V)

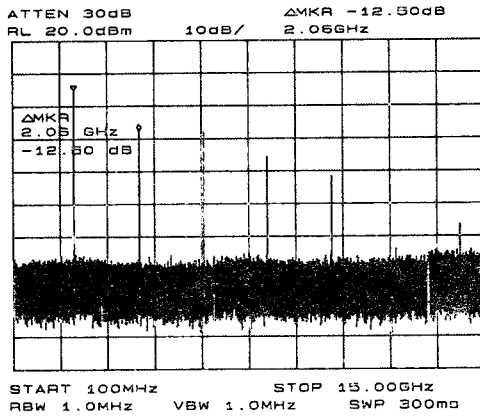


그림 8. 발진기의 고조파 특성

표 4. 부성저항부의 전압변화에 따른 발진기의 특성 변화

전압[V]	주파수 [MHz]	위상잡음 @100kHz [dBc/Hz]	인덕터의 Q	인덕터의 직렬저항 [Ω]
1.8	2.015	105.83	38.5	2.1
1.9	2.014	108.33	54	1.5
2.0	2.025	111.50	73.6	1.1
2.05	2.029	115.34	90	0.9

IV. 결론

본 논문에서는 부성저항을 이용 인덕터의 Q값을 개선하여 2GHz에서 동작하는 발진기를 설계 및 제작하였다. 2GHz에서 인덕터의 Q는 38에서 90으로 52가 증가하였다. 발진기의 위상잡음 특성은 -104dBc@100kHz에서 -115.34dBc@100kHz로 -11dBc의 위상잡음 개선효과를 보였다. 제작된 부성저항은 양호한 특성을 얻기 힘든 수GHz 주파수에서 우수한 인덕터의 구현이 가능해져 발진기나 그 외 고주파필터 또는 매칭회로에 광범위하게 이용이 가능하다.

제작된 부성저항회로는 인가전압 2.2V 이상에서 인덕터의 직렬저항보다 더 많은 부성저항이 발생하여 2GHz이외의 주파수에서도 발진하는 것을 확인하였다. 원하는 주파수에서 부성저항이 최대값을 가지도록 Feedback되는 소자 값의 선택과 기생성분의 제거가 이루어진다면 수 GHz에서 무한대의 Q값을 가지는 인덕터의 구현이 가능해질 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Randall W. Rhea, *Oscillator Design and Computer Simulation*. Prentice Hall, 1990.
- [2] G. S. Hobson, *The Gunn Effect*, Oxford, 1974.
- [3] 고윤수, 홍성용, 배홍열, 김기수, 손호원, "세라믹 적층기술을 이용한 초소형 VCO", 한국전자과학기술논문집, 1999.
- [4] Reinhold Ludwig and Pavel Bretchko, *RF Circuit Design Theory and Application*, Prentice Hall, 2000.
- [5] Ulrich L. Rohde and David P. Newkirk, *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications* Wiley, 2000.
- [6] Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice-Hall, 1984.