

접지된 결합 C형 공진기를 이용한 X대역 전압제어 발진기 설계 및 구현

김종화*, 김기래**

Design and Implementation of VCO for X-band with Shorted Coupled C type Resonator

Jong-hwa Kim*, Gi-rae Kim**

요약 본 논문에서는 평면형 마이크로스트립 공진기를 이용한 고주파 발진기의 단점인 위상잡음 특성을 개선하기 위해 접지된 결합 C형 공진기를 제안하였다. 제안된 공진기를 이용하여 위상잡음 특성 개선 효과를 나타내기 위해 발진기를 설계하여, 9.8 GHz 기본 주파수에서 4.87dBm의 출력과 -84.7 dBc@100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 다음은 제안된 공진기에 벡터다이오드를 추가하여 전압 제어발진기를 구현하였다. 전압 제어발진기의 특성은 최소 9.7807 GHz에서 최대 9.8145 GHz까지 33.8 MHz 정도의 튜닝범위를 가지고, -115~-112.5 dBc/Hz@100kHz의 위상잡음 특성을 갖는다. 본 논문의 발진기는 평면형 구조로 쉬운 작업공정과 소형화 특성 때문에 MIC 또는 MMIC 분야의 설계에 응용될 수 있을 것이다.

Abstract In this paper, a novel coupled C type resonator is proposed for improvement of phase noise characteristics that is weak point of oscillator using planar type microstrip line resonator. Oscillator using proposed shorted coupled C type resonator is designed, it has improved phase noise characteristics. At the fundamental frequency of 9.8GHz, 4.87dBm output power and -84.7 dBc@100kHz phase noise have been measured for oscillator with shorted coupled C type resonator. Next, we designed voltage controlled oscillator using proposed shorted coupled C type resonator with varactor diode. The VCO has 33.8MHz tuning range from 9.7807GHz to 9.8145GHz, and phase noise characteristic is -115~-112.5dBc/Hz@100KHz. Due to its simple fabrication process and planar type, it is expected that the technique in this paper can be widely used for low phase noise oscillators for both MIC and MMIC applications.

Key Words : MMIC, Oscillator, phase Noise, Resonator, VCO, X-Band

1. 서론

마이크로파 통신의 핵심 부품 중의 하나인 발진기는 시스템에서 가장 기본적이고 필수적인 부품으로써 시스템의 국부발진기로 사용되어 시스템의 효율과 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 소자이다. 발진기의 위상잡음 특성은 시스템의 감도와 선택도를 결정하는 중요한 요소로서 이를 개선하기 위

한 많은 연구가 진행되어왔다[1-2]. 무선 통신 시스템에서 발진기는 저가, 저전력, 저위상 잡음, 그리고 소형화가 중요한 설계 사양이다. 발진기 설계에 있어 공진기는 위상 잡음 특성에 밀접한 영향을 미침으로, 저잡음 특성을 갖는 트랜지스터에 대한 연구와 더불어 매우 중요한 연구 주제가 되어왔다. 특히, 발진기의 위상 잡음은 공진기의 Q 값과 매우 밀접한 관련이 있다[3-5]. 하지만, 유전체

*Dept. of Electronics Engineering, Silla University

**Corresponding Author : Dept. of Electronics Engineering, Silla University (grkim@silla.ac.kr)

Received November 02, 2016

Revised December 13, 2016

Accepted December 27, 2016

공진기는 3차원 구조를 갖고 있어 MIC (Microwave Integrated Circuit)나, MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 애플리케이션과 같은 다른 회로들과 집적화하기가 거의 불가능하며, 회로를 소형화하는 방식에 많은 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 M.Sagawa에 의해 제안된 2차원 상에서 구현되는 평면형 (planar) 형태의 공진기에 대한 연구를 진행하게 되었고 나아가 새로운 공진기를 구현하게 되었다 [6-7]. 본 논문에서는 평면형 마이크로스트립 공진기를 이용한 고주파 발진기의 단점인 위상잡음 특성을 개선하기 위해 중단이 접지된 결합 C형 공진기를 제안하고, 제안된 공진기의 성능 평가를 위해 발진기의 공진부에 삽입하여 발진기를 설계하였다. 또한 공진기에 벡터 다이오드를 추가하기 위해 공진기 패턴 양 끝단에 Via를 뚫고 공진기의 분리 겹에 벡터 다이오드를 추가하여 전압제어 발진기를 설계 구현하였다.

2. 공진기의 설계

그림 1은 제안된 공진기의 구조를 나타내고 있으며, 설계하고자 하는 발진기의 중심주파수가 9.8GHz 이므로 여기에 적합한 공진기의 구조적 파라미터를 시뮬레이션을 통하여 구하고 표1에 각각 나타내었다. 결합C형 공진기는 기존의 공진기 구조에서 선로의 길이를 줄여 인덕턴스 성분을 줄이고 공진기의 끝단에 연결된 스테브의 면적을 크게 하고 결합 용량을 증가하여 결합 커패시턴스 성분을 증가하였다. 이와 같이 공진기를 구성하는 마이크로 스트립 라인의 길이를 줄이고 양쪽 끝 부분에 결합용량을 증가시킴으로써 공진기의 면적을 줄일 수 있다. 공진기에서 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스는 50Ω 으로 설계하였다. 공진기의 결합 C 선로 사이에 집중소자 커패시터를 삽입하면 병렬 커패시턴스가 증가하여 보다 낮은 주파수에서 공진이 가능하기 때문에 공진기의 소형화를 추구할 수 있다. 집중소자 커패시터 대신에 벡터

다이오드를 삽입하기 위해 공진기의 양 끝단에 Via를 뚫어 전압에 의해 커패시턴스를 변하게 하여 공진 주파수를 변화시킬 수 있으므로 이것을 응용하면 전압제어 발진기의 설계에 적용할 수 있다. 제안된 공진기의 구조는 비유전율 2.3, 유전체 두께 0.7874mm, 금속 두께 0.018mm인 기판을 기준으로 Ansoft사의 HFSS 도구를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

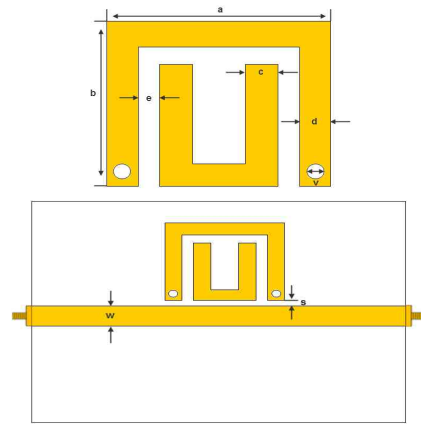


그림 1. 제안된 공진기의 구조
Fig. 1 Structure of Proposed Resonator

표 1. 제안된 공진기의 크기
Table 1 Dimension of Proposed Resonator

a	7.4 (mm)
b	6.6 (mm)
c	1 (mm)
d	1 (mm)
e	0.5 (mm)
s	0.39 (mm)
v	0.4 (mm)
w	2.3 (mm)

설계주파수에 맞는 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스와 길이를 결정하여 결합 C 형 공진기를 설계한다. 공진기의 중심 주파수는 9.8GHz으로 설계하였다. 그림 2는 공진기의 전송특성을 나타내고 있다. 그림 2에서 보는바와 같이 9.8GHz에서 공진이 발생하는 것을 알 수 있다.

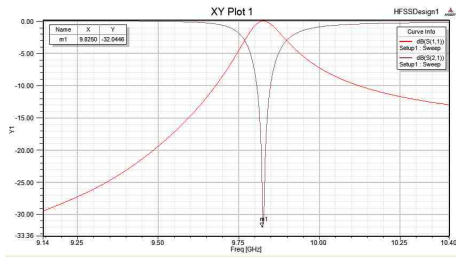


그림 2. 제안된 공진기의 S-parameter
Fig. 2 S-parameter of the proposed resonator.

9.8GHz에서 공진이 일어나는 그림 1의 결합 C형 공진기의 공진주파수를 변화시키기 위해 결합 C 선로 사이에 집중소자 커패시터를 추가한 구조를 그림 3에 나타내었다.

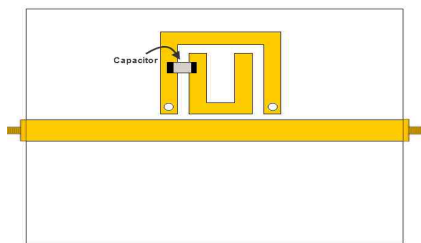


그림 3. 커패시터를 추가한 결합 C형 공진기
Fig. 3 Coupled C type resonator with Lumped Capacitor

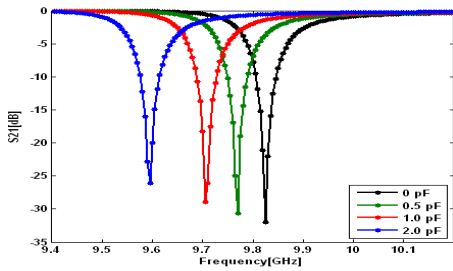


그림 4. 공진기에 커패시터의 영향
Fig. 4 The Effect of Capacitance in Resonator

결합 C형 구조에 커패시터를 추가하고 HFSS를 사용하여 특성 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 나타난 바와 같이 커패시터의 값이 커질수록 공진주파수는 낮아지는 방향으로 변함을 확인

할 수 있다.

3. 발진기의 구조 및 설계

본 논문에서는 결합 C형 공진기를 이용하여 발진기를 설계 하고자 하는데 발진기의 설계과정은 다음과 같다. 설계 사양에 맞는 트랜지스터를 선정하고 선정된 트랜지스터의 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 통해 발진기의 설계 조건에 맞는 지 확인한다. 트랜지스터의 직류 해석 시뮬레이션을 통해 바이어스 조건에 따라 동작점을 선정하고, 목표로 하는 발진 주파수에 맞도록 바이어스 회로를 설계한다. 다음은 조건에 맞는 공진기를 설계하고 발진기의 구조를 선택하고 설계한다. 발진기 구조와 트랜지스터 특성으로부터 정합회로를 설계한다. 출력 정합회로는 발진 주파수와 출력 전력, 고주파 특성 등을 고려하여 설계한다. 고주파 회로 설계 도구를 이용하여 설계한 회로를 시뮬레이션 하여 설계된 회로의 발진 조건을 검증한다. 그리고 제작하고 측정하여 초기의 목표와 비교하며, 오차를 튜닝 과정을 통하여 목적에 맞는 전압 제어 발진기를 구현한다.

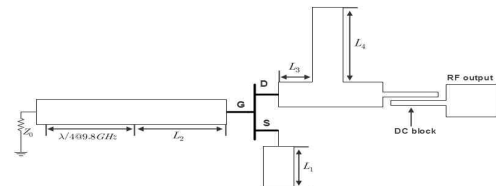


그림 5. 마이크로스트립 발진기의 기본 구조
Fig. 5 Structure of $\lambda/4$ Microstrip Resonator

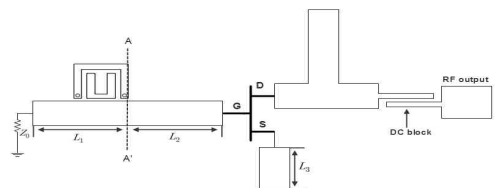


그림 6. 제안된 C형 발진기의 구조
Fig. 6 Structure of C type Resonator

그림 5는 일반적인 $\lambda/4$ 마이크로스트립 선로

공진기를 이용한 발진기의 기본 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 그림 5의 기본 구조에서 발진기의 위상잡음 특성을 개선하기 위해 결합 C형 공진기를 이용하여 그림 6과 같이 발진기의 구조를 제안하였다. 발진 주파수는 공진기의 공진 주파수와 그림 6의 L_1 , L_2 , L_3 의 길이에 의해 결정된다. 공진부의 AA'면에서 최대의 자기적 결합이 일어나도록 L_1 , L_2 를 조절하였고, L_3 는 FET의 게이트 단을 바라본 반사계수가 최소가 되도록 개방스터브를 이용하여 최적화 하였다. 발진기를 설계하기 위해서는 잠재적 불안정 영역을 가질 수 있는 트랜지스터를 선택해야 한다. 본 논문에서는 NEC사의 NE42484 트랜지스터를 사용하였다.

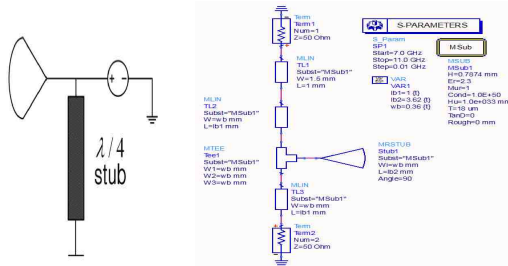


그림 7. 발진기의 바이어스 회로
Fig. 7 Bias Circuits of Oscillator

DC 바이어스의 회로의 경우, 회로 설계에 있어 능동 소자에 전원을 공급하는 동안 RF 동작에 최소한의 영향을 주는 것이 중요하므로, 이를 위해 RF choke를 신호선에 병렬로 연결한다. 즉, 그림 7에서와 같이 1/4 파장 길이의 마이크로스트립 선로와 RF short를 위한 radial stub를 두어 구현하였다. 좁은 대역폭에서 short circuit으로 동작되는 radial stub는 1/4 파장 길이의 마이크로스트립 선로를 지나면서 open circuit으로 동작하여 RF choke로서의 역할을 하게 된다. 바이어스 회로의 구현에는 그림 7에서와 같은 구조를 이용하였고 그것의 특성을 그림 8에 나타내었다.

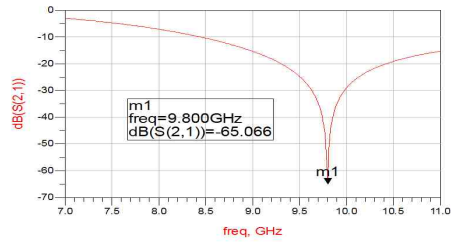


그림 8. 바이어스회로 설계 및 결과
Fig. 8 Bias Circuits Result of design

발진기를 제작하기 전에 발진가능성을 검증하기 위해 ADS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 9는 ADS용 발진기 회로도이며, 그림 10은 회로도에 대해 소신호 발진조건 결과를 그림 나타내었으며, 대신호 발진 결과를 그림11에 나타내었다. 결과를 보면 9.8GHz에서 기본 발진이 되고 있음을 알 수 있다.

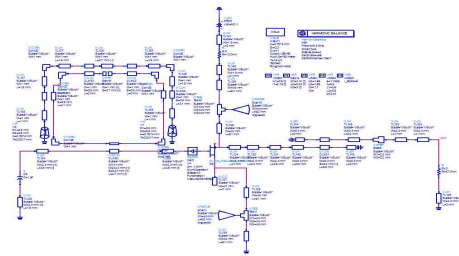


그림 9. 전송선로를 이용한 발진기 회로도
Fig. 9 Circuit of Oscillator with Transmission Line

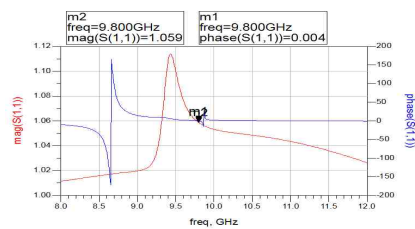


그림 10. 설계된 발진기의 발진조건 결과
Fig. 10 Oscillation Result of Designed Oscillator

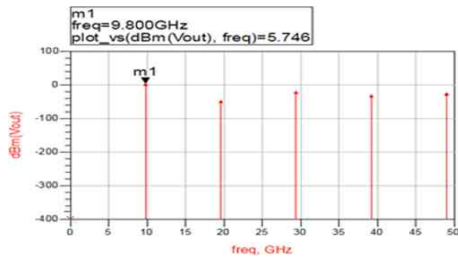


그림 11. 대신호 발진 시뮬레이션 결과
Fig. 11 Oscillation Result for Large Signal

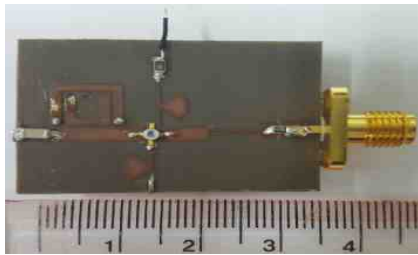


그림 12. 제작된 발진기 사진
Fig. 12 Photograph of Fabricated Oscillator

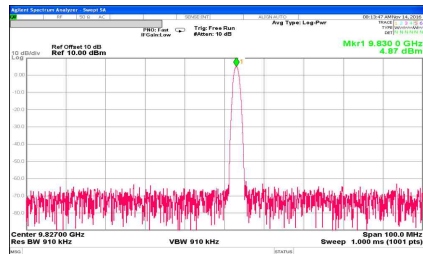


그림 13. 발진기 출력 측정 결과
Fig. 13 Test Result of Designed Oscillator

그림12는 제작한 발진기의 샘플사진을 나타내고 있다. 제작한 결합C형 공진기를 이용한 발진기 구조의 측정결과는 그림 13에 나타내었으며, 제작한 접지된 C형 공진기를 이용한 발진기의 출력은 9.83GHz에서 +4.87dBm의 출력을 나타내었다.

4. 전압제어 발진기의 제작

제작된 결합 C형 구조를 이용하여 전압제어 발진기(VCO)를 설계하기 위해 제안된 구조에 전압에 따라 커패시턴스 값이 변하는 버랙터 다이오드

를 추가하였다. 설계에서 버랙터 다이오드는 Skyworks사의 SMV1233 모델을 사용하였다. 그림 14는 SMV1233의 전압에 대한 커패시터 값을 나타내었다. 그림 15는 결합 C형 공진기에 버랙터 다이오드 SMV1233을 삽입한 구조를 나타내었다. 그림 16은 버랙터 다이오드를 삽입하여 설계한 전압제어 발진기의 구조를 마이크로스트립 선로 구조의 평면형 발진기를 제작한 샘플 사진이다.

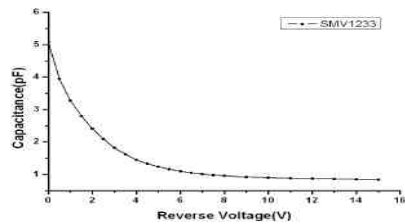


그림 14. 전압에 따른 커패시턴스
Fig. 14 Capacitance for Bias Voltage

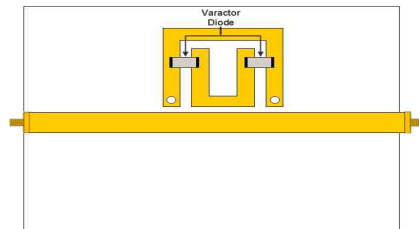


그림 15. 공진기에 버랙터 다이오드를 삽입한 구조
Fig. 15 Resonator with Varactor Diode

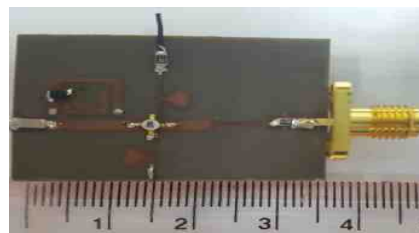


그림 16. 제작된 전압제어 발진기 사진
Fig. 16 Photograph of Fabricated VCO

제안된 전압제어 발진기에 한 개의 버랙터 다이오드를 추가하고 거기에 바이어스 전압을 인가하면 출력 주파수가 변화하였다. 그림 17에서는 버랙터

다이오드를 삽입하였을 때 대표적인 4개의 인가전압에 대해 발진기의 스펙트럼 출력을 나타내었다. 버랙터 다이오드의 바이어스 전압에 따른 발진 주파수의 결과는 삽입한 버랙터 다이오드가 1개일 때와 2개일 때에 대해 각각 그림 18에 그래프로 나타내었다.

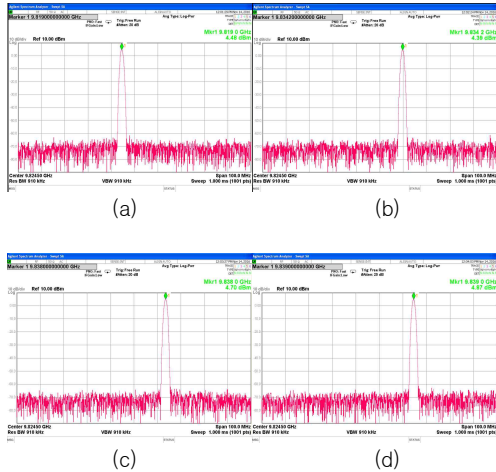


그림 17. 바이어스 전압에 따른 VCO 특성
 (a) Bias 0V (b) Bias 5V(c) Bias 10V (d) Bias 16V
 Fig. 17 VCO Characteristics for Bias Voltage
 (a) Bias 0V (b) Bias 5V(c) Bias 10V (d) Bias 16V

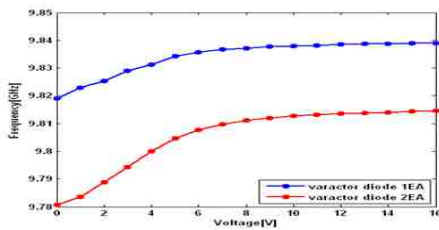


그림 18. 전압에 따른 VCO 결과 그래프
 Fig. 18 Graph of VCO characteristics for Bias Voltage

5. 결론

본 논문에서는 공진부에 결합 C형 구조를 사용하여 전압제어발진기를 설계하였으며, 9.8GHz에서 +4.87dBm의 출력을 갖는 결합 C형 발진기에 버랙터 다이오드를 삽입하여 전압제어발진기를 설계하였다. 제어전압을 0~16V 까지 바이어스 했을 때

출력주파수는 최소 9.7807GHz에서 최대 9.8145GHz 까지 33.8MHz 정도의 튜닝범위를 가진다. 제작된 발진기는 -115~-112.5dBc/Hz@100KHz의 위상잡음 특성을 갖는다. 본 논문에서 제안한 전압제어 발진기는 쉬운 작업공정과 소형화 특성 때문에 MIC 또는 MMIC 분야의 설계에 응용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] Moon-Que Lee, Keun-Kwan Ryu, and In-Bok Yom, "Phase Noise Reduction of Microwave HEMT Oscillators Using a Dielectric Resonator Coupled by a High Impedance Inverter", ETRI J., vol.23, no. 4, pp.199- 201, Dec. 2001.
- [2] K. Hosoya, S. Tanaka, Y. Amamiya, and K. Jonjo, "A low phase noise 38 GHz HBT MMIC oscillator utilizing a novel transmission line resonator", in 2000 IEEE MTT-S Dig. pp.47 -50, 2000.
- [3] D. B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", Proc. IEEE, vol. 54, pp.329-339, Feb. 1966.
- [4] A. Hajimiri, T. H. Lee, "A general theory of phase noise in electrical oscillator", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 33, no. 2, pp. 179-194, Feb. 1998.
- [5] T. H. Lee, A. Hajimiri, "Oscillator phase noise: A tutorial", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 35, no.3, pp. 326-336, Mar. 2000.
- [6] Y. T. Lee, J. S. Lim, C. S. Kim, D. Ahn, and S. W. Nam, " A compact-size microstrip spiral resonator and its application to microwave oscillator," IEEE Microwave and Wireless Components Lett., vol. 12, no. 10, pp. 375-377, October 2002

[7] S. W. Seo, H. Y. Jung, J. Jeong, and C. H. Park, "Design of an X-band oscillator using novel miniaturized microstrip hairpin resonator," Proceedings of the IEEE, Asia-pacific Microwave Conference, pp. 943-946, December 2007.

저자약력

김 중 화 (Jong-Hwa Kim) [학생회원]



- 2015년 2월 : 신라대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 2015년 3월 : 신라대학교 대학원 전자공학과 입학 (공학석사)

<관심분야>

RF Circuit, Antenna, filter RF System

김 기 래 (Gi-Rae Kim) [중신회원]



- 1986년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 - 1988년 2월 : 서강대학교대학원 전자공학과 (공학석사)
 - 1987년 12월 ~ 1993년 3월 : 삼성전자종합연구소 선임연구원
 - 1993년 3월~1998년 2월: 마산대학교 정보통신공학과 교수
 - 1998년 2월 : 경남대학교대학원 전자공학과 (공학박사)
 - 1998년 3월~ 현재 : 신라대학교 전자공학과 교수
- 마이크로파 회로설계, 전자파 해석, 안테나, MMIC

<관심분야>