

분리된 링형 DGS 공진기의 등가 파라미터 모델링

문승민* · 김기래**

Equivalent Parameter Modeling of Open Ring type DGS Resonator

Seung-Min Mun* · Gi-Rae Kim**

요 약

본 논문에서는 발진기의 위상잡음을 개선하고 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)에 적용 가능하도록 설계된 분리된 링형 DGS(Defected Ground Structure)공진기를 제안한다. 이것은 평면형 공진기로서 소형화 설계가 용이하고 상대적으로 높은 Q 값을 갖는다. 공진기를 이용하여 초고주파 발진기를 설계할 때 공진기의 등가 파라미터를 모델링하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 발진기의 설계에 필요한 공진기의 등가회로 파라미터를 공진기의 측정된 특성 값으로부터 수식적으로 계산하는 방법을 나타내었다. 방법을 검증하기 위해 공진주파수가 5.8 GHz인 링형 DGS 공진기를 제작하여 특성을 측정하고 등가 파라미터를 계산하였고, 이 결과를 ADS 도구를 이용하여 시뮬레이션한 결과와 비교하여 일치함을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, the open ring type DGS(Defected Ground Structure) resonator, applicable to MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit), is proposed to improve phase noise characteristics of RF oscillator. This resonator is planar type, therefore, it easy to design miniaturized, and takes relatively high Q value. Modeling the equivalent parameter of resonator is needed, when designing the RF oscillator with resonator. The mathematical method to solve the equivalent parameter of the resonator from the measured results of resonator is introduced in this paper. To verify the method, DGS resonator with 5.8 GHz center frequency is fabricated, for measuring characteristics and calculating the equivalent parameter. The result from this process is compared with the data of the ADS simulation, and as a result both were identical.

키워드

DGS Resonator, Oscillator, Microstrip Resonator, Phase Noise
DGS 공진기, 발진기, 마이크로스트립 공진기, 위상잡음

1. 서 론

마이크로파 통신의 핵심 부품 중의 하나인 발진기에서 위상 잡음 특성은 시스템의 감도와 선택도를 결정하는 중요한 요소로서 이를 개선하기 위한 많은 연

구가 진행되어 왔다[1-2]. 위상잡음의 주요 원인으로 는 반도체의 플리커 잡음, 대신호 조건하에서 반도체의 잡음지수, 그리고 공진기의 필터 특성 등으로 보고 되어 있다. 반도체 기술의 발달로 플리커 잡음과 잡음 지수는 많이 개선되었다. 발진기에서 주파수를 선택하

* 신라대학교 전자공학과(electronlab@silla.ac.kr)

** 교신저자(corresponding author) : 신라대학교 전자공학과(grkim@silla.ac.kr)

접수일자 : 2014. 08. 04

심사(수정)일자 : 2014. 09. 25

게재 확정일자 : 2014. 10. 17

는 공진기의 주파수 집중도를 의미하는 Q값이 발진기의 위상 잡음에 중요한 영향을 미치는 요소가 되었다[3]. 초고주파 발진기의 발진 주파수를 결정하는 소자에 대한 연구가 높은 Q값과 공진기의 크기를 줄이는 관점에서 캐비티 공진기, 마이크로스트립 공진기, 유전체 공진기 분야로 나누어져 이루어졌다. 캐비티 공진기는 Q값이 크고 제작이 용이한 장점이 있지만 부피가 크고 무겁기 때문에 집적화가 곤란한 단점을 가지고 있고 마이크로스트립 공진기는 평면구조로 소형이고 회로 구현이 용이하지만 낮은 Q값으로 인해 발진기의 위상잡음 특성이 나쁘다는 단점을 가지고 있다. 유전체 공진기는 회로 구현이 용이하고 높은 Q값, 소형화, 온도 안정화 특성이 우수한 장점을 가지고 있지만 구조가 3차원으로 되어 있기 때문에 MMIC에 부적합한 단점이 있다[4]. RF 발진기 설계에 있어서 공진기의 선택은 위상잡음과 여러 특성을 좌우하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 MMIC에 부적합한 유전체 공진기의 단점과 낮은 Q값으로 인해 발진기의 위상잡음이 떨어지는 평면형 마이크로스트립 공진기의 단점을 보완할 수 있는 링형 DGS 공진기에 대해 특성을 분석하였다. 공진기의 특성 결과를 바탕으로 등가회로를 추출하는 방법을 제시하고 이 결과를 발진기의 설계에 이용하고자한다.

II. 링형 DGS 공진기 등가회로

DGS(Defected Ground Structure) 구조는 평면형 전송선로의 접지면에 식각된 한 개 또는 몇 개의 결함(Defect)을 갖는 구조이다[5-6]. DGS는 전송선로의 유효 인덕턴스를 증가시켜 같은 폭의 마이크로스트립 전송선로보다 큰 임피던스를 갖는 특성을 발생하여 큰 특성 임피던스가 필요한 전송선로 구현의 경우 동일한 특성 임피던스를 갖는 기존의 전송선로와 비교하여 더 넓은 선폰을 제공함으로써 수동 부품의 동작 전력 특성을 개선시키는 효과를 기대할 수 있다 [7-9]. 특히 일반적인 DGS는 구조적으로 칩 저항, 인덕터, 커패시터, 그리고 트랜지스터와 같은 외부 집중소자와의 결합이 용이한 구조적 특징을 갖는다. 그림 1은 제안된 링형 DGS 구조를 나타내었다. 기판위에 마이크로스트립 선로가 있으며 기판 밑 부분에 DGS

패턴이 식각 되어 있는 구조이다.

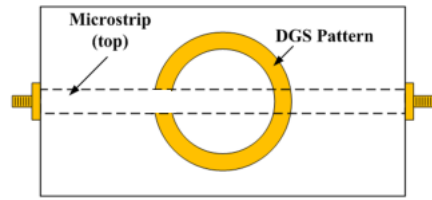


그림 1. 제안된 링형 DGS 구조
Fig. 1 Structure of ring type resonator

그림 2는 DGS 공진기의 일반적인 전송 특성을 나타내며 링의 반경에 반비례하여 공진 주파수가 결정된다. DGS공진기를 중심주파수 5.8 GHz에서 공진하도록 설계하였고 설계된 DGS 공진기의 시뮬레이션 결과를 그림 2에 나타내었다. 설계된 구조는 유전율 2.2, 유전체 두께 0.7874mm, 금속 두께 0.018mm인 기판을 기준으로 HFSS를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 1의 제안된 링형 DGS 공진기의 전송특성을 해석하기 위해서 그림 2와 같이 입력포트로 부터 링형 DGS의 중심점까지의 거리를 L 이라고 하고, 전송선로의 특성 임피던스는 Z_0 이다.

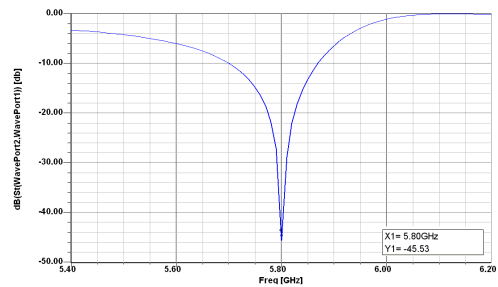


그림 2. DGS 공진기의 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Simulation result of DGS resonator

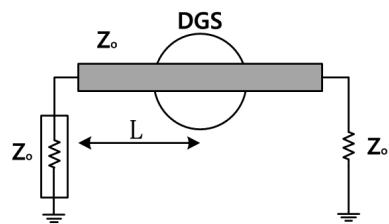


그림 3. 링형 DGS 공진기 회로
Fig. 3 Circuit of ring type resonator

그림 2에 나타난 특성에서 알 수 있듯이 포트에서 L 만큼 떨어진 점은 마이크로스트립 선로가 개방되는 곳이어서 전류가 0이 되고 결과적으로 개방 상태가 된다. 이것을 등가회로로 나타낸다면 그림 4와 같이 된다. 여기서 변압기 n은 유전체공진기와 마이크로스트립선로의 결합도 즉, 기관의 유전체두께에 따라 결정되게 되며 RLC 병렬은 공진기 특성을 나타내는 병렬공진 등가회로이다[7-8]. 그림 3의 선로에서 들여다 본 임피던스를 고려하여 변압기를 제거하고 간략화하면 그림 5와 같이 된다. 이때 공진주파수는 변화가 없으나 공진주파수에서 삽입손실의 피크 값이 다르게 되는데 이것은 결합도로서 저항 R의 함수가 될 것이다.

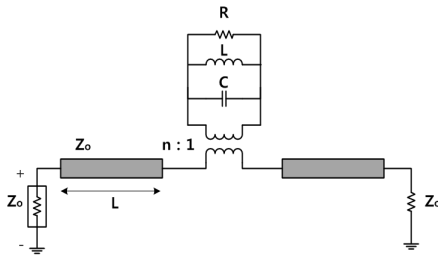


그림 4. 링형 DGS 공진기의 모델링
Fig. 4 Modeling of DGS resonator

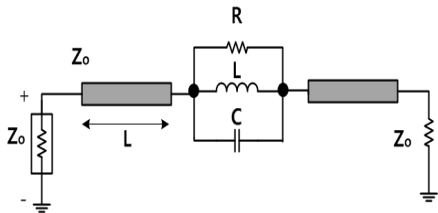
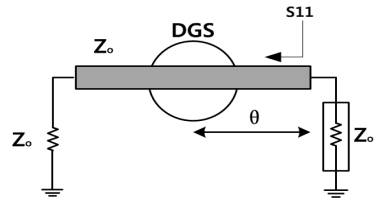


그림 5. 링형 DGS 공진기의 간략화 모델링
Fig. 5 Simplified modeling of DGS resonator

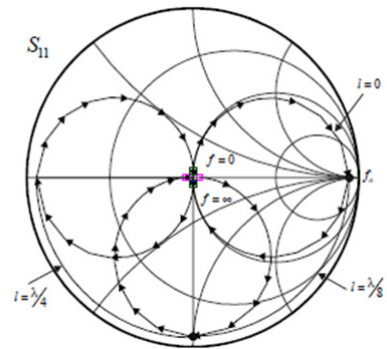
포트로부터 DGS 공진기의 중심점까지의 길이(L)를 변화시키면 포트에서 반사계수(S11)는 그림 6과 같이 될 것이다. 공진기의 공진주파수에서의 반사계수 $\Gamma(w_0)$ 이고, 또한 공진주파수에서 선로의 길이가 전기각을 $\theta(=\beta L)$ 라고 하면 이때의 반사계수 Γ_{in} 는 식(1)과 같이 된다.

$$\Gamma_{in} = \Gamma(w_0) e^{-2j\theta} \quad (1)$$

입력 반사계수는 전송선 길이에 따라 시계방향으로 2θ 만큼 회전하게 될 것이다. 이때 근사적으로 강하게 결합된 것을 개방으로 보면 여기서는 $\Gamma(w_0) = 1$ 이 되고, 따라서, 이때 들여다 본 반사 계수는 길이 $\theta(L)$ 에서 개방된 것처럼 보이는 것으로 해석할 수 있다.



(a) 회로도
(a) Circuit



(b) 입력 반사계수
(b) Input reflection coefficient

그림 6. 선로길이에 따른 입력반사계수
Fig. 6 Input reflection coefficient for line length

III. 공진기의 등가 파라미터 추출

그림 4의 회로에서 병렬공진회로의 임피던스를 Z_p 라고 하면, 이때 포트 1에서 들여다본 반사계수는 식(2)와 같다.

$$S_{11} = \frac{Z_p}{Z_p + 2Z_0} e^{-2j\theta} \quad (2)$$

병렬공진회로의 임피던스 Z_p 는 식(3)과 같고, 공진

주파수와 무부하 Q 값은 각각 식(4), (5)와 같다.

$$Z_p = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} \approx \frac{R}{1 + 2jQ_u \frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \quad (3)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (4)$$

$$Q_u = \omega_0 CR \quad (5)$$

여기서 Q_u 는 유전체공진기 자체의 Q가 되며 이것을 유전체공진기의 무부하(unloaded) Q라고 부른다. Z_p 를 식(2)에 대입하고 정리하면 반사 계수는 식(6)과 같다.

$$S_{11} = \frac{\beta}{1 + \beta + 2jQ_u(\Delta\omega/\omega_0)} e^{-2j\theta} \quad (6)$$

여기서, $\beta = R/(2Z_0)$ 이고 $Q_L = Q_u/(1 + \beta)$ 이다.

식(6)에서 $|S_{11}|$ 에 대한 주파수 응답 특성을 그림으로 나타내면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 반사계수 $|S_{11}|$ 의 주파수 응답을 측정할 경우 최대값을 주는 주파수가 바로 공진주파수 f_0 가 되고, 이때의 값은 $\beta/(1 + \beta)$ 되므로, 측정된 최대값으로부터 β 값을 알 수 있게 된다. 식(7)을 이용하여 R을 결정할 수 있게 된다. 3 dB 대역폭 BW를 그림 6과 같이 측정할 경우 $Q_L = f_0/BW$ 이므로 Q_L 을 구할 수 있게 된다. 따라서 $Q_L = Q_u/(1 + \beta)$ 이므로 Q_u 를 결정할 수 있게 된다. 식(5)에 의해 C를 결정하게 되고, 식(4)에서 L을 결정할 수 있다.

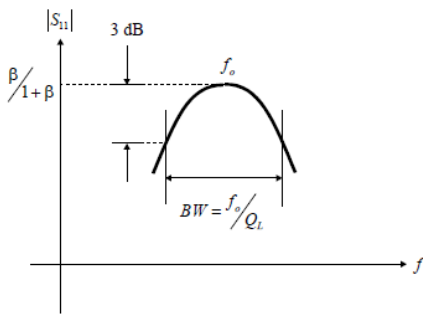


그림 7. 공진기 회로의 주파수 특성
Fig. 7 Frequency response of resonator

IV. 실험 및 결과

앞 장에서 공진기의 특성을 측정하여 등가회로의 R, L, C 파라미터를 구하는 식을 유도하였다. 본 장에서는 앞에서 유도한 결과 식을 검증하기 위해 공진주파수 5.8 GHz의 공진기를 설계하여 특성을 측정하고 그 결과를 유도된 식에 적용하여 등가회로의 파라미터를 구하는 과정을 보이고자한다. 설계의 예로서 공진주파수가 5.8 GHz인 링형 DGS 공진기를 설계하였다. 기판은 FR-4로서 비유전율이 4.4, 유전체 두께가 0.78mm이며, 구조적 치수는 L=20mm, B=10mm, w=2.3mm, d=1mm, r=3mm, G=1.4mm 이다. 그림 8의 공진기 구조에 대해 전자과 구조해석 도구인 HFSS를 이용하여 산란계수 파라미터를 시뮬레이션 하여 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

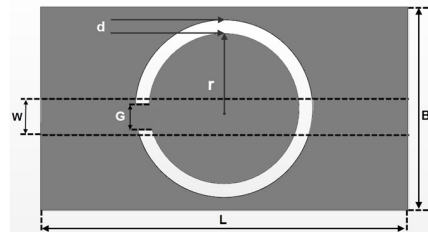


그림 8. 설계된 DGS 공진기
Fig. 8 Designed ring type resonator

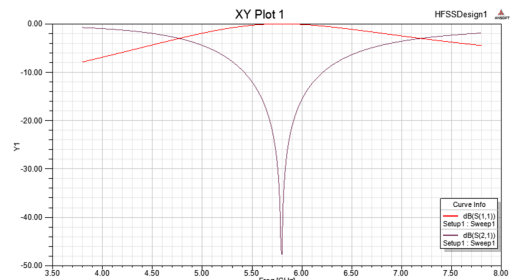


그림 9. 공진기의 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Simulation result of resonator

그림 9의 측정된 결과로부터 등가회로 파라미터를 구해보면 다음과 같다. 그림 9에서 $|S_{11}|$ 의 최대값을 구하면 -0.03448 dB 이다.

그림 6에서 $|S_{11}|$ 의 최대값과 β 와의 관계식은 식(7)과 같으므로 β 를 구하면 249 이다. 구한 $\beta=249$ 를

식(7)에 대입하면 등가회로의 R 파라미터를 구할 수 있다. 계산하면 R은 24.9 kΩ이다.

$$\frac{\beta}{1+\beta} = |S_{11}|_{\max} \quad (7)$$

$$\frac{\beta}{1+\beta} = |S_{11}|_{\max} = 10^{-0.034482/20} = 0.996 \quad (8)$$

그리고 대역폭(BW)이 1.1 GHz 이고, 공진주파수 $f_0 = 5.8$ GHz이므로 식(6)을 이용하여 $Q_L = 5.273$ 이 되고, $Q_u = 1318.25$ 이다. 식(5)를 이용하면 등가회로의 $C = 1.453$ pF이고, 인덕턴스 L은 518.23 pH 가 된다.

위에서 구한 등가회로의 파라미터를 고주파 회로 시뮬레이션 도구인 ADS를 이용하여 특성을 검증하였다. 그림 10은 구해진 등가회로 나타내며 이 회로를 ADS 시뮬레이션한 결과를 그림 11에 나타내었다[10].

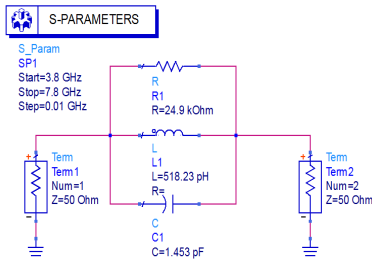


그림 10. 공진기의 등가회로
Fig. 10 ADS circuit of resonator

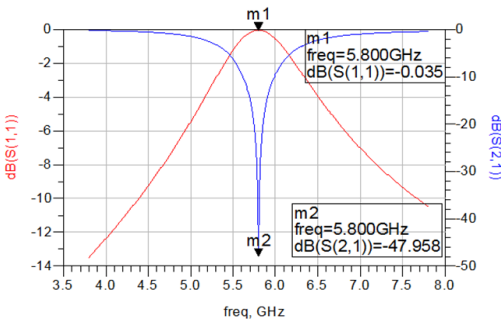


그림 11. ADS 시뮬레이션 결과
Fig. 11 Simulation result of ADS

그림 11에 나타난 바와 같이 ADS에 의한 검증 결과 공진 주파수가 5.8GHz 이고 S21의 삽입손실이

-47.958dB로서 그림 9의 HFSS 시뮬레이션 결과와 일치함을 알 수 있다. 그림 8과 같은 DGS 공진기의 구조에 대해 HFSS에 의한 구조 시뮬레이션 결과와 구해진 등가회로에 대해 ADS를 이용하여 회로 시뮬레이션한 결과를 그림 12에 비교하여 나타내었다. 그림 13은 제작한 DGS 공진기의 사진이며 그림 14에는 네트워크 분석기를 이용하여 측정한 결과와 HFSS를 이용한 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다[11].

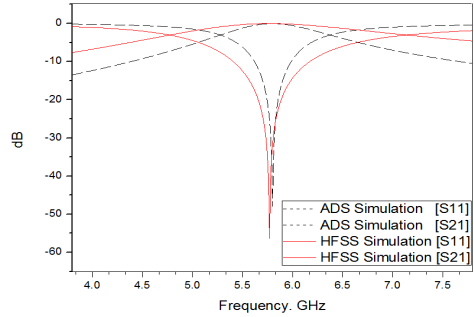


그림 12. 구조적 해석과 회로적 해석 결과의 비교
Fig. 12 Comparison of simulation results

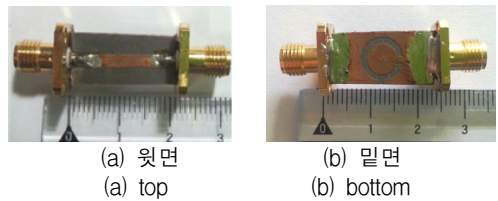


그림 13. 제작한 DGS 공진기 사진
Fig. 13 Photo of fabricated DGS resonator

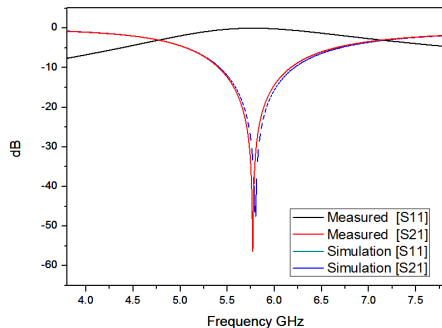


그림 14. 측정결과와 시뮬레이션 결과의 비교
Fig. 14 Comparison of simulation and measured results

V. 결론

본 논문에서는 초고주파용 평면형 공진기로서 개방된 링형 DGS 공진기를 제안하고 이것의 특성을 측정하여 공진기의 등가회로를 구하는 식을 나타내었다. 결과를 검증하기 위해 공진주파수가 5.8 GHz인 개방된 링형 DGS 공진기를 제작하여 측정된 결과를 바탕으로 등가회로의 파라미터를 구하였다. 구한 등가파라미터 결과를 검증하기 위해 ADS와 HFSS 도구를 이용하여 시뮬레이션하여 제작된 결과와 비교하여 일치함을 보였다. 본 논문에서 나타난 등가회로 파라미터를 구하는 방법은 여러 종류의 공진기를 이용한 발진기 설계에 적용할 수 있을 것이다.

References

- [1] M. Lee, K. Ryu, and I. Yeom, "Phase Noise Reduction of Microwave HEMT Oscillators Using a Dielectric Resonator Coupled by a High Impedance Inverter," *ETRI J.*, vol. 23, no. 4, Dec. 2001, pp. 199-201.
- [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," *2000 IEEE MTT-S Dig.* Boston, MA, 2000, pp. 47-50.
- [3] E. Holtzman, *Solid State Microwave Power Oscillator Design.* New York : Artech House, 1992.
- [4] D. Ahn, C. S. Kim, and J. S. Park, "Effect of a Lumped Element on Defected Ground Structure," *EUMC*, London, United Kingdom, vol. 2, Nov. 2000, pp. 75-78.
- [5] T. Xie, G. Kim, and Y. Choi, "A Study on the Novel Rectangular Split Ring Notch Resonators," *Int. J. of Information and Communication Engineering*, vol. 8, no. 4, 2010, pp. 365-369.
- [6] G.-R. Kim, "Design of Coupled Resonators Bandpass Filter With Defected Ground Structure," *Int. J. of Information and Communication Engineering*, vol. 9, no. 2, 2011, pp. 150-154.
- [7] K. Yeom, *Active Microwave Design theory and*

introduction. Seoul : Hongriling publishing company, 2008, pp. 396-499.

- [8] Y. Yoon, *RF active circuit design theory and practical.* Seoul : Hongriling publishing company, 2005, pp. 74-95.
- [9] Y. Han, "Interference Cancellation System in Repeater using Adaptive algorithm with step size," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, May 2014, pp. 549-554.
- [10] E. Lim, G. Han, and Y. Rhe, "A Design of K-Band Low Phase noise Oscillator by Direct Coupling of K-band Dielectric Resonator," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 1, May 2014, pp. 17-23.
- [11] G. Kim, "Design of Voltage Controlled Oscillator for X-band Radar Using CSRR loaded microstrip line," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 9, 2013, pp. 1277-1283.

저자 소개

문승민(Seung-Min Mun)



2014년 신라대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2014년 신라대학교 대학원 전자공학과 재학(공학석사)

※ 관심분야 : RF Circuit, Antenna, filter RF System

김기래(Gi-Rae Kim)



1986년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 서강대학교대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 경남대학교대학원 전자공학과 (공학박사)

1988년~1993년 삼성전자(주) 정보통신연구소

1993년~1999년 마산대학교 정보통신공학과 교수

1999년~현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파 회로 설계, MMIC, 전파 해석 및 모델링