

## 결합 C형 공진기를 이용한 X-대역 발진기의 설계 및 구현

김종화\*, 김기래\*\*

### Design and Implementation of Oscillator for X-band with Coupled C type Resonator

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

**요약** 평면형 마이크로스트립 공진기를 이용한 고주파 발진기의 단점인 위상잡음 특성을 개선하기 위해 본 논문에서는 결합 C형 공진기를 제안하였다. 제안된 공진기를 이용하여 위상잡음 특성 개선 효과를 나타내기 위해 발진기를 설계하여, 9.8GHz 기본 주파수에서 2.4dBm의 출력과 -82.7 dBc@100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 이것은  $\lambda/4$  마이크로스트립 공진기를 이용한 발진기와 비교하여 위상잡음 특성이 9.7dB 정도 개선되었다. 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 coupled C type resonator is designed, it has improved phase noise characteristics. At the fundamental frequency of 9.8GHz, 2.4dBm output power and -82.7 dBc@100kHz phase noise have been measured for oscillator with coupled C type resonator. The phase noise characteristics of oscillator is improved about 9.7dB compared to one using the general  $\lambda/4$  microstrip resonator. 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, X-Band

#### 1. 서론

최근 위성이동통신 개인휴대통신(PCS), 디지털 데이터 이동통신, WLL(Wireless Local Loop), 주파수 공용통신(TRS) 서비스가 발전하면서 고주파 부품의 수요가 증가하고 있고, 통신 응용 분야에 더 많은 이용 가능한 채널에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 RF시스템에서 주파수원을 공급하는 발진기는 RF의 핵심 부품중의 하나로 중요성이 증가하고 있다. 발진기 설계 시 위상 잡음과 안정도가 가장 중요한 요소가 된다. 위상 잡음은 발진 성능을 나타내는 중요한 지표 중의 하나

로 사용되는 값이다[1]. 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 되어 왔다. 특히, 발진기의 위상 잡음은 공진기의 Q 값과 매우 밀접한 관련이 있다[2-4]. 하지만, 유전체 공진기는 3차원 구조를 갖고 있어 MIC (Microwave Integrated Circuit)나, MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 애플리케이션과 같은 다른 회로들과 집적화하기가 거의 불가능하며, 회로를 소

\*Dept. of Electronics Engineering, Silla University

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

Received August 05, 2016

Revised August 17, 2016

Accepted August 18, 2016

형화하는 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 [5-6]. 발진기의 공진부는 결합 C형 공진기를 사용하였고 공진기 구조는 기존의 마이크로 스트립 구조 공진기에 비해 양호도(Q)특성이 개선되었으며, 제안된 공진기를 이용한 발진기는 위상 잡음 특성과 주파수 안정도 특성을 개선 할 수 있었다. 이를 이용하여 중심주파수 9.8GHz 대역의 발진기를 설계하였다.

## 2. 공진기의 설계

그림 1은 제안된 공진기의 구조를 나타내고 있으며, 설계하고자 하는 발진기의 중심 주파수가 9.8 GHz이므로 여기에 적합한 공진기의 구조적 파라미터를 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 기판의 유전체 두께가 0.7874 mm이고 비유전율이 2.3인 테프론을 사용할 경우  $L=23$ ,  $B=16$ ,  $W=2.3$ ,  $D=0.5$ ,  $G=0.6$  (mm)을 구하였다. 제안된 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  $50\Omega$ 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 삽입하며 전압에 의해 커패시턴스를 변하게 하여 공진 주파수를 변화시킬 수 있으므로 이것을 응용하면 전압제어 발진기의 설계에 적용할 수 있다.

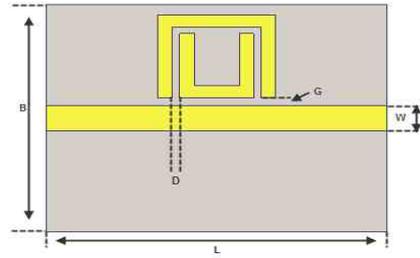


그림 1. 제안된 공진기의 구조  
Fig. 1. Structure of Proposed Resonator

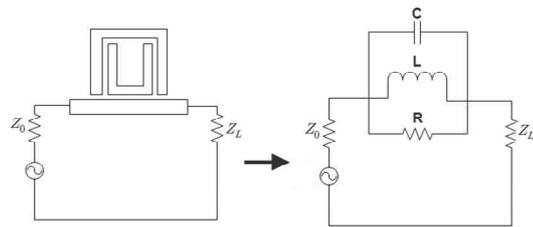


그림 2. 새로 제안된 공진기의 등가회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of the proposed resonator

그림 2는 제안된 공진기의 등가회로를 나타내고 있으며, 2-port 병렬 공진회로가 직렬로 연결되어 있는 구조로 되어 있다. 공진기 및 발진기 설계를 위하여 고주파 회로 설계 도구를 이용하였다. 설계 주파수에 맞는 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스와 길이를 결정하여 결합 C형 공진기를 설계한다. 공진기의 중심 주파수는 9.8GHz으로 설계하였다. 그림 3은 공진기의 전송특성을 나타내고 있다. 그림 3에서 보는바와 같이 9.8 GHz에서 공진이 발생하는 것을 알 수 있다.

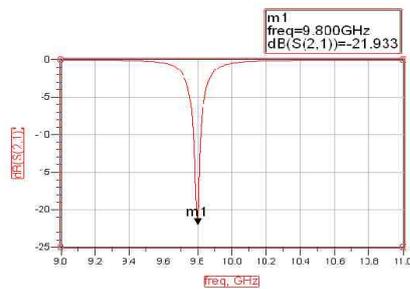


그림 3. 제안된 공진기의 S-parameter  
Fig. 3. S-parameter of the proposed resonator.

### 3. 발진기의 구조 및 설계

본 논문에서는 제안된 공진기를 이용하여 발진기를 설계하고자 하는데 발진기의 설계과정은 다음과 같다. 설계 사양에 맞는 트랜지스터를 선정하고 선정된 트랜지스터의 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 통해 발진기의 설계 조건에 맞는지 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.

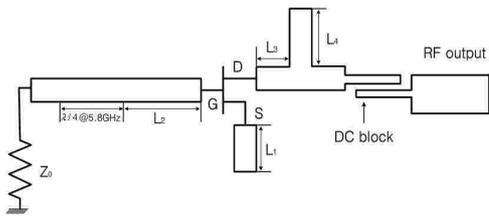


그림 4.  $\lambda/4$  마이크로스트립 발진기의 기본 구조  
Fig. 4. Structure of  $\lambda/4$  Microstrip Resonator

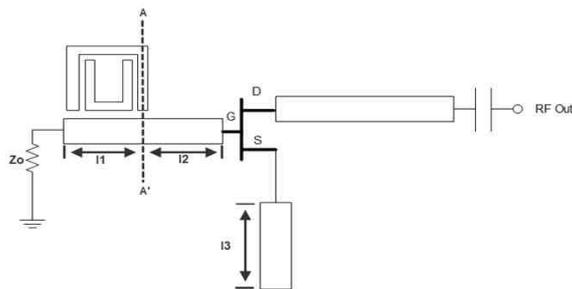


그림 5. 제안된 C형 발진기의 구조  
Fig. 5. Structure of C type Resonator

그림 4는 일반적인  $\lambda/4$  마이크로스트립 선로 공진기를 이용한 발진기의 기본 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 그림 4의 기본 구조에서 발진기의 위상잡음 특성을 개선하기 위해 결합 C형 공진기를 이용하여 그림 5와 같이 발진기의 구조를 제안하였다. 발진 주파수는 공진기의 공진 주파수와 그림 5의  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ 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 Agilent사의 ATF 13786의 트랜지스터를 사용하였다. 그림 6은 ATF 13786의 DC특성을 알아보기 위한 ADS 시뮬레이션 회로와 이에 따른 결과를 나타낸다. 그림 7은 FET의 소스 단자에 오픈 스템브를 추가하여 설계된 회로를 나타내며 ADS를 이용하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 소신호에서 발진가능성을 조사하기 위한 회로도이며, 발진 가능성 조사의 결과를 보여주고 있다. 그림 7의 결과를 보면 9.8 GHz에서 발진가능성이 있음을 알 수 있다.

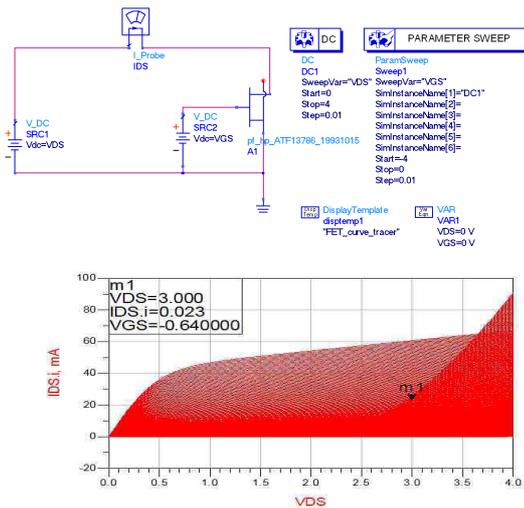


그림 6. ATF13786 DC특성  
Fig. 6. ATF13786 DC Characteristics

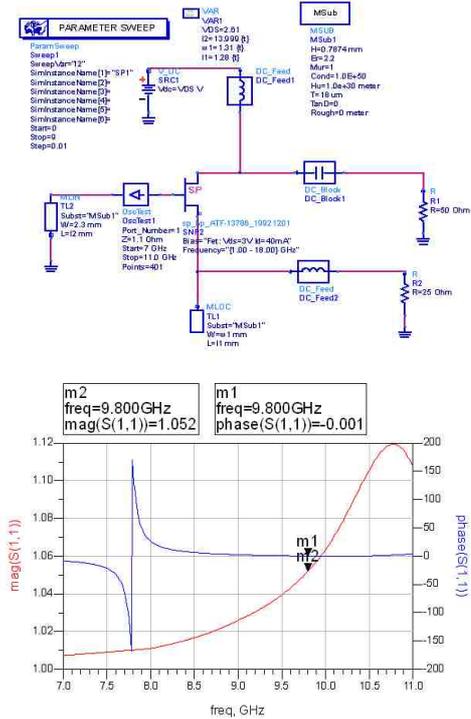


그림 7. 발진 가능성 조사 시뮬레이션  
Fig. 7. Simulation Result for Oscillation

소한의 영향을 주는 것이 중요하므로, 이를 위해 RF choke를 신호선에 병렬로 연결한다. 즉, 그림 8에서와 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 choke로써의 역할을 하게 된다. 바이어스 회로의 구현에는 그림 8에서와 같은 구조를 이용하였고 그것의 특성을 그림 9에 나타내었다.

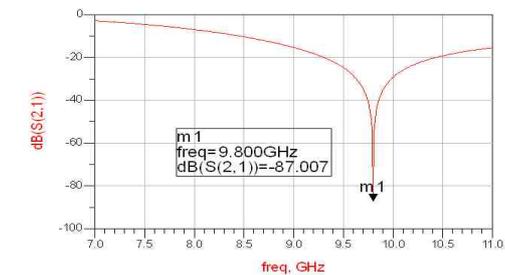


그림 9. 바이어스회로 설계 및 결과  
Fig. 9. Design and Results of Bias Circuit

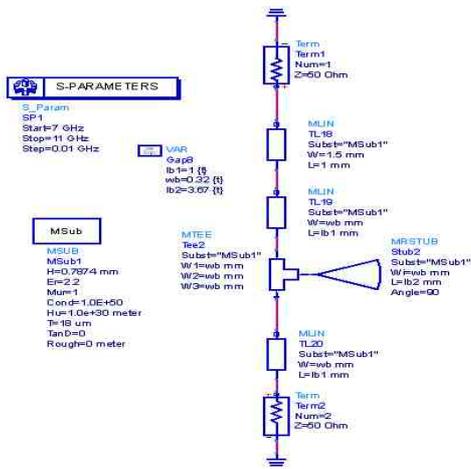


그림 8. 발진기의 바이어스 회로  
Fig. 8. Bias Circuits of Oscillator

RF에서 설계된 발진기를 동작시키기 위해서는 능동소자에 적절한 DC 전압을 공급해야 하는데, 이러한 DC공급회로는 설계된 RF 정합회로에 최소의 영향을 주어야 할 것이다. 또한 영향이 있을 경우 이를 포함 새로이 정합회로를 재구성하게 될 것이다. DC 공급을 위해 삽입된 소자를 포함하는 정합회로를 설계하기 위해서는 DC 블록과 RFC가 필요하게 되는데, 보통의 칩 커패시터의 경우 칩 커패시터에 기생하는 인덕턴스 성분으로 인해, 현재 설계 주파수 영역에서는 DC 블록으로 사용하기 어렵다. 이것을 설계하는 방법은 그림 10과 같은 결합전송선선로의 S-파라미터를 계산하여 중심 주파수에서  $|S_{21}|$ 의 크기가 1에 가깝도록 하고, 이것의 대역폭이 설계 대역폭 보다 충분히 크도록 선로의 폭과 길이 그리고 간격 등을 설정해야 한다. 또한 이로 인해 앞에서 설계된 정합회로의 결과치도 다소 변하게 되며, 이의 주파수특성으로 인해 계산된 정합회로의 결과도 다소 변하게 되며,

DC 바이어스의 회로의 경우, 회로 설계에 있어 능동 소자에 전원을 공급하는 동안 RF 동작에 최

이의 주파수특성으로 인해 계산된 대역폭보다도 좁게 나오게 된다. 그림 11은 DC 블록의 시뮬레이션 결과이다.

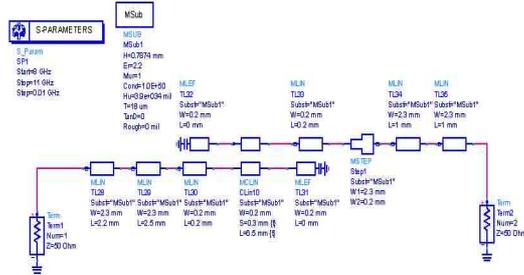


그림 10. 결합전송선을 이용한 DC 블록  
Fig. 10. DC Block using a Coupled Transmission Line

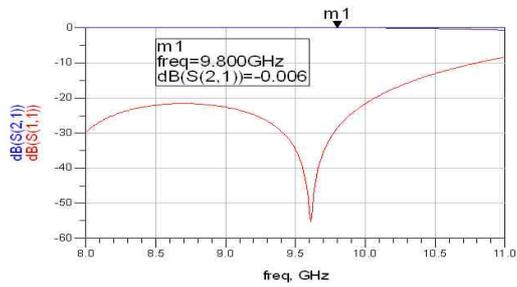


그림 11. DC 블록의 시뮬레이션 결과  
Fig. 11. Simulation Result of DC Block

마이크로스트립으로 변환하여 설계한 발진기 그림 12 회로도에 대해 소신호 발진조건 결과를 그림 13에 나타내었으며, 대신호 발진 결과를 그림 14에 나타내었다. 발진주파수는 9.8 GHz에서 정상적으로 발진하는 것을 알 수 있다.

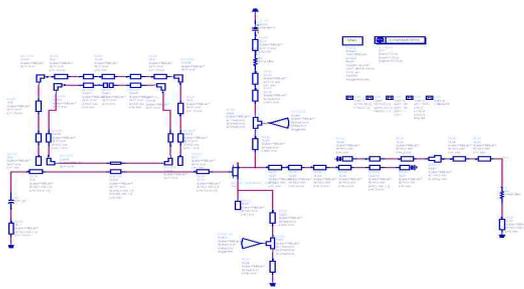


그림 12. 전송선로를 이용한 발진기 회로도  
Fig. 12. Circuit of Oscillator with Transmission Line

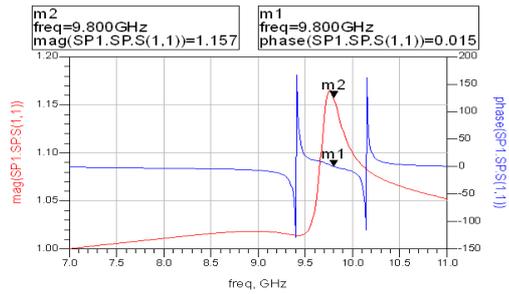


그림 13. 설계된 발진기의 발진조건 결과  
Fig. 13. Oscillation Result of Designed Oscillator

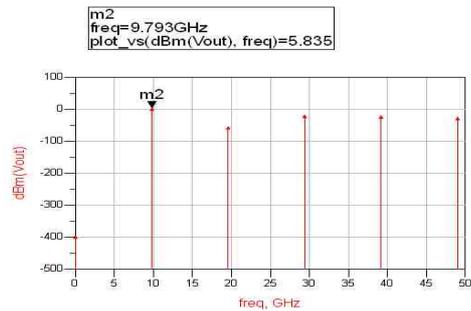


그림 14. 대신호 발진 시뮬레이션 결과  
Fig. 14. Oscillation Result for Large Signal

#### 4. 발진기의 제작 및 측정

그림 15는 설계된 결합 C형 공진기를 이용한 발진기의 구조를 레이아웃으로 나타내었으며, 그림 16은 제작한 발진기의 샘플사진을 나타내고 있다. 제작한 C형 공진기를 이용한 발진기 구조의 측정 결과는 그림 17에 나타내었으며, 제작한 C형 공진기를 이용한 발진기의 출력은 9.8GHz에서 +2.40dBm의 결과를 가진다.

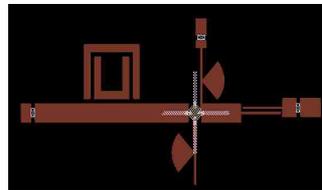


그림 15. 설계된 발진기 구조  
Fig. 15. Designed Oscillator Structure

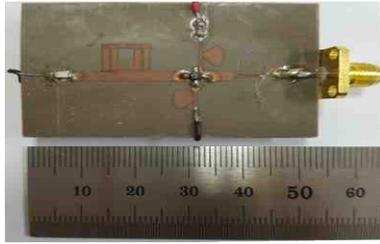


그림 16. 제작된 발진기 사진  
Fig. 16. Photograph of Fabricated Oscillator

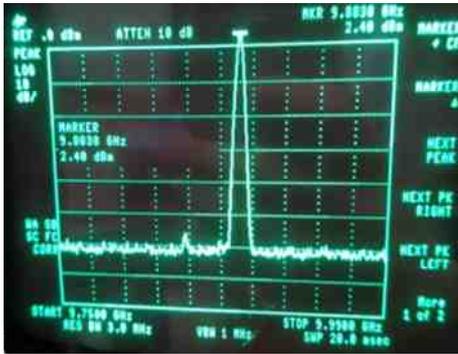


그림 17. 설계한 발진기 출력 측정 결과  
Fig. 17. Test Result of Designed Oscillator

### 5. 결론

본 논문에서는 X 대역에서 응용할 수 있는 발진기를 하이브리드 기술을 바탕으로 평면구조에 적용하여 발진기의 위상잡음 감소를 위해 새로운 결합 C형 공진기를 제안하였다. 제안된 공진기는 3차원 구조로 MMIC에 부적합한 유전체 공진기의 단점을 보완하면서 발진기의 위상잡음 특성을 개선하기 위해 협대역 공진이 일어나도록 설계하였다. 제안된 공진기를 이용하여 발진기를 설계 제작하였다. 측정 결과, 9.8GHz 기본주파수에서 2.40 dBm의 출력과 -82.7 dBc@ 100kHz의 위상잡음 특성을 나타내었다.

### REFERENCES

[1] C. D. Broomfield J. K. A. Everard, "Flicker noisereduction using GaAs microwave

feedforward amplifiers", 2000 IEEE International Frequency Control Symposium, City, Jun, 2000.

[2] D. B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", Proc. IEEE, vol. 54, pp.329-339, Feb. 1966.

[3] 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.

[4] T. H. Lee, A. Hajimiri, "Oscillator phase noise: A tutorial", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 35, no.3, pp. 326-336, Mar. 2000.

[5] 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

[6] 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)

[종신회원]



- 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>