

# Aperture와 PBG를 이용한 Hairpin 발진기의 성능 개선에 관한 연구

## A Novel Performance in Hairpin Oscillator using Aperture and PBG

장 옥 태 · 서 철 현

Uk-Tae Chang · Chul-Hun Seo

### 요 약

본 논문에서는 hairpin 발진기의 위상잡음을 개선시키기 위하여 접지면에 aperture를 구현하였다. Aperture를 마이크로스트립 hairpin 공진기에 적용함으로써 결합계수의 증가로 인해 마이크로스트립라인이 가지고 있는 Q 값을 증가시켰다. 기존의 마이크로스트립 hairpin 발진기와 비교하였을 때 aperture를 적용한 발진기가 위상잡음을 100 kHz offset에서 약 19 dBc 개선시켰다. 출력단에 PBG 구조를 연결함으로써 하모닉 특성이 우수한 발진기를 제작하였다. 5.8 GHz 대역이고, 출력전력은 0.67 dBm을 2차 하모닉과 -53.67 dBc의 특성을 획득하였다.

### Abstract

Aperture has been employed on the ground plane in the hairpin resonator. Aperture has been fabricated by etching the part of the ground effected coupling coefficient and then quality factor of hairpin resonator has been increased. When the hairpin oscillator using aperture has been compared with the conventional hairpin oscillator using microstrip, it has been improved the phase noise about 19 dBc @100 kHz. As a result of PBG connecting to the output of the employing aperture hairpin oscillator, the second and third harmonics are suppressed. In this paper, oscillator has been designed and fabricated in operating 5.8 GHz band. The output power has been obtained 0.67 dBm and the second harmonic has been suppressed about -53.67 dBc.

Key words : Aperture, PBG, Hairpin, Oscillator

### I. 서 론

근래의 무선통신에서 Direct Conversion 방식이 활발히 진행되어지고 있다. 기존의 헤테로다인 방식과는 달리 Direct Conversion 방식에서의 국부발진기의 위상잡음 특성과 2차 고조파 성분의 억제가 강조되고 있다. 시스템 전체에서 위상잡음은 통신품질과 안정성에 크게 영향을 줄 뿐만 아니라, 시스템 전체 소형화를 좌우하므로 중요한 RF 부품으로 여겨지고 있다. 또한 2차 고조파 성분은 스퓨리어스를 발생시키는 주요한 원인이 된다. 한정된 주파수 자원의 문제

로 인해 점차 높은 주파수 대역으로 통신대역이 옮겨지고 있는 상황이다. 특히 발진기의 경우 주파수가 높아짐에 따라 인덕터와 캐패시터의 제작이 힘들고, 성능이 좋은 YIG나 DR을 이용한 경우에는 직접 화하기에 용이하지 않아서 마이크로스트립을 이용한 공진기가 많이 개발되고 있다.

초고주파 발진기의 위상잡음 특성에 영향을 주는 주요 요인으로 반도체 소자의 플리커 잡음 및 전원잡음, 기판을 타고 들어오는 잡음 또는 공진기의 특성 등에 의해서 영향을 받는다고 알려져 있다. 이와 같은 원인 중에 우리가 위상잡음을 줄이기 위해

「본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.」

숭실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea)

· 논문 번호 : 20031209-174

· 수정완료일자 : 2004년 5월 7일

서는 공진기의  $Q$  값을 향상시키거나 적절한 바이어스 회로를 이용하는 방법 또는 모듈레이션된 플리커 잡음을 억제시키기 위하여 Feedforward 회로를 이용하는 방법 등이 있다<sup>[1]~[3]</sup>.

마이크로스트립을 이용한 공진기는 제작과 내장이 용이하여 여러 가지 형태에 대한 연구가 많이 진행되어왔다. 발진기에서 가장 중요한 위상잡음은 공진기가 가지고 있는  $Q$  값에 의하여 좌우된다는 이론은 이미 알려져 왔다. 마이크로스트립을 이용한 공진기의 경우 가지고 있는  $Q$  값이 작기 때문에 발진기에서 위상잡음을 억제하는 데는 그 한계가 있다. 이를 개선시키기 위하여 hairpin 발진기에 aperture를 적용하였다. Hairpin 발진기의 경우 밀리미터 웨이브 대역 및 MMIC로 된 전압제어 발진기 및 공진기에도 많이 설계되고 있다.

## II. Aperture를 이용한 Hairpin 공진기

Hairpin 공진기는 다음 수식과 같이 분석할 수 있다.

- $Z_s$  : 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스
- $\theta_s$  : 마이크로스트립 라인의 전기적 길이
- $Z_{pe}, Z_{po}$  : 병렬 결합라인의 짝수 모드, 홀수 모드
- $\theta_{pe}, \theta_{po}$  : 병렬 결합라인의 짝수 모드 전기적 길이, 홀수 모드 전기적 길이

Hairpin 공진기의 공진 조건들은 전송선과 캐패시터로 표현되는 ABCD 행렬에 의해 얻을 수 있다<sup>[4]</sup>. Hair-Pin 공진기에 있어서의 파라미터들은  $\theta_{pe} = \theta_{po} = \theta$ 일 때, 다음의 식을 만족해야 한다.

$$(Z_{pe}Z_{po}\cot\theta_p - Z_s^2\tan\theta_p)\sin\theta_s + Z_s(Z_{pe} + Z_{po})\cos\theta_s - Z_s(Z_{pe} - Z_{po}) = 0 \quad (1)$$

Hairpin 공진기는 그림 1에서 보이는 것처럼 공진점들에서 짝/홀수 모드로 표현되어질 수 있다. 개방구조를 가진 병렬 결합선들은 공진점들에서 홀수 또는 짝수 모드 전자기장 분포 중 하나를 가지고 있다고 생각할 수 있다. 식 (2)와 식 (3)은 짝/홀수 모드에서 Hairpin 공진기의 공진 조건을 보여준다.

$$\tan(\theta_s/2) \cdot \tan\theta_p = K_o = Z_{po}/Z_s \quad (2)$$

$$\tan(\theta_s/2) \cdot \tan\theta_p = K_e = Z_{po}/Z_s \quad (3)$$

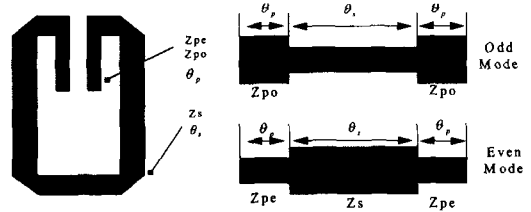


그림 1. Hairpin 공진기  
Fig. 1. Hairpin resonator.

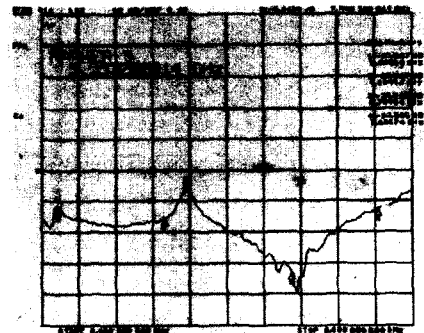
Hairpin 공진기의 경우 aperture를 적용했을 경우 공진 주파수가 변하게 된다. Aperture의 효과는 이미 앞서 여러 논문에서 발표되어 왔다. 대역통과 여파기에서 자계 결합과 전계결합으로 인해 결합계수가 증가되는 것을 알 수 있다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 마이크로스트립 hairpin 공진기의  $Q$  값을 증가시키기 위하여 aperture를 이용하였다<sup>[12],[13]</sup>. Aperture는 hairpin 공진기 중에서 커플링이 일어나는 부분에 접지면을 식각하였다. 커플링이 강하게 일어나는 곳일수록 공진기의 특성이 많이 바뀌었다<sup>[4]~[9]</sup>.

그림 2는 aperture를 적용한 hairpin 공진기에 제작



(a)



(b)

그림 2. (a) Aperture를 사용한 hairpin 공진기  
(b) Aperture를 적용한 hairpin 공진기의 S 파라미터

Fig. 2. (a) Hairpin resonator with aperture.  
(b) S-parameter of hairpin resonator with aperture.

하였으며 이 제작된 공진기의 S 파라미터 특성을 HP8719D 네트워크 분석기로 측정하였다.

Aperture 특성을 보기 위하여 그림 2에서 각각 크기가 다른 aperture를 hairpin 공진기에 적용하였다. (a)의 크기는 9.7 mm × 4.6 mm의 크기로 적용하였다. (b)에서는 aperture를 적용한 hairpin 공진기의 S 파라미터를 측정한 결과이다.

### Ⅲ. Aperture를 적용한 Hairpin 발진기 설계 및 측정결과

발진기 설계시 가장 많이 이용하는 것이 트랜지스터로 사용하는 방식이다. 트랜지스터의 역할은 증폭 및 케환회로와 함께 부성저항을 형성하여 지속적인 발진을 할 수 있도록 하는데 있다. 공진조건에 맞을 때 발진부의 발진 파형은 증폭되어 출력단으로 전달되게 된다. 원하는 주파수에서 발진하려면 트랜지스터는 불안정하게 동작하게 된다. 실제 제작된 발진기는 FET 트랜지스터를 이용하여 source 단에 인덕터와 마이크로 스트립라인을 이용하여 부성저항을 발생시켰다. 그리고 출력정합회로를 발진조건에 맞게 설계하였으며, II절에서 마이크로 스트립라인을 이용한 hairpin 공진기를 설계하였다. HP사의 Advanced Design System(ADS)을 이용하여 S 파라미터 특성을 이용하여 초기 발진 조건에 만족하는지 튜닝 작업을 거쳐 확인한 후에 실제 제작시 발진이 되는지 확인해 보기 위해 비선형 시뮬레이션인 Harmonic Balance 시뮬레이션을 통하여 확인해 보았다.

모의실험 결과 발진주파수는 5.89 GHz에서 발진하였으며, 출력전력은 0.497 dBm을 획득하였다. 2nd 하모닉과의 전력 차는 12.9 dBc의 차를 나타냈다. 일반적으로 비선형 시뮬레이션이기 때문에 비선형 모델이 제공되지 않으면 시뮬레이션 되지 않는다. 1 MHz offset에서 약 -102 dBc의 위상잡음을 획득하였다.

Aperture 효과를 비교하기 위하여 aperture를 적용하지 않은 hairpin 발진기와 aperture를 적용한 발진기를 제작하여 서로 비교하였다. 사용된 기판은 유전율이 3.2이고 두께가 0.01 mm 그리고 높이가 0.76 mm인 테플론 기판을 사용하였다. 사용된 소자는 NEC사의 NE3210S01 JFET 계열에 소자를 사용하였



(a)

(b)

그림 3. (a) Aperture를 적용하지 않은 hairpin 발진기  
(b) Aperture를 적용한 hairpin 발진기

Fig. 3. (a) Hairpin oscillator without aperture.  
(b) Hairpin oscillator with aperture.

으며, 바이어스 라인은  $\lambda/4$  스테브와 방사형 스테브를 이용하여 설계하였다. JFET 계열의 장점이 채널이 형성되어 있으므로 하나의 바이어스 라인만 이용하여 크기를 줄여 DC 전원을 공급하였다. Aperture 효과를 증명하기 위하여 일반적인 hairpin 발진기와 aperture가 적용된 hairpin 발진기를 제작 비교하였으며 제작된 회로의 크기는 57.8 mm × 32.4 mm이다.

제작된 발진기의 출력전력 및 위상잡음 특성은 HP8565EC 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 그림 3은 각각 제작된 발진기의 실제 제작된 aperture를 적용하지 않은 hairpin 발진기와 aperture가 적용된 hairpin 발진기의 모습을 보여주고 있다. 그림 3에서 보면 aperture가 적용된 hairpin 발진기의 경우 트랜지스터의 소스 단에 스테브와 출력정합회로의 스테브의 길이가 다른데 이는 틀어진 주파수를 잡기 위해 튜닝 작업을 한 것이다. Aperture를 적용하지 않은 hairpin 발진기의 발진주파수는 5.84 GHz에서 발진하였으며, 출력전력은 -4.83 dBm을 획득하였다. 또한 1 MHz offset에서 -107.83 dBc의 위상잡음을 획득하였고, 100 kHz offset에서 -86.34 dBc의 위상잡음을 획득하였다.

II에서 설계된 aperture가 적용된 hairpin 발진기를 제작하였다. 그림 4에서는 aperture가 적용된 hairpin 발진기의 출력전력과 발진 주파수를 나타내고 있다. 발진 주파수는 5.83 GHz로 hairpin 발진기와의 약 10 MHz 이동했다. 이는 aperture를 적용함으로써 위상이 변화함으로써 발진 조건이 이동한 결과이다. 출력전력은 -4.33 dBm으로 약 0.5 dBm 정도 출력이 증가되었다. 그림 5는 aperture를 적용한 hairpin 발진기의 위상잡음을 나타내고 있다. 그림 5에서는 1 MHz offset에서 -122.84 dBc를 획득하였고,

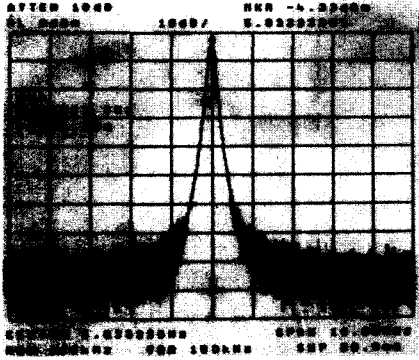
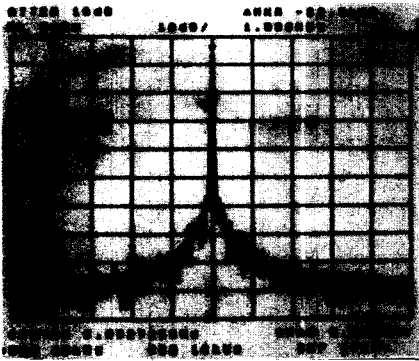
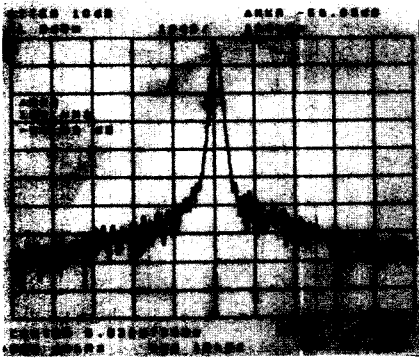


그림 4. Aperture를 적용한 hairpin 발진기의 출력전력  
Fig. 4. Output power of hairpin oscillator with aperture.



(a) 1 MHz offset



(b) 100 kHz offset

그림 5. Aperture를 적용한 hairpin 발진기의 위상잡음  
Fig. 5. Phase noise of hairpin oscillator with aperture.

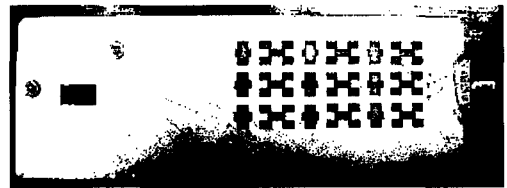
100 kHz offset에서는  $-104.83$  dBc의 위상잡음을 획득하였다.

#### IV. Aperture를 적용한 Hairpin 발진기의 PBG 연결



(a) 실제 제작한 회로 윗면

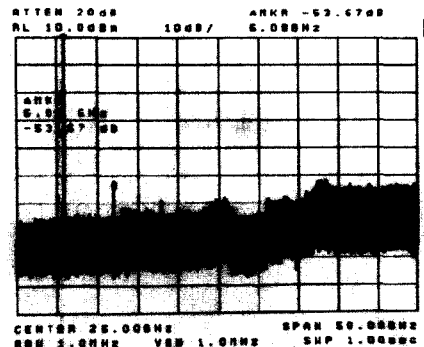
(a) Top



(b) 실제 제작한 회로 밑면

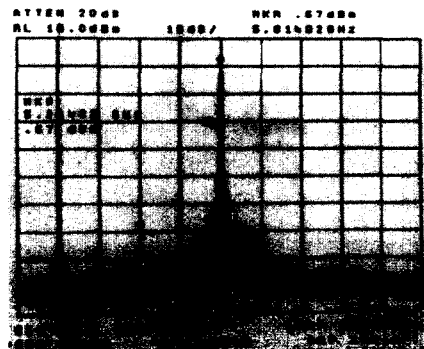
(b) Bottom

그림 6. Aperture와 PBG를 적용한 hairpin 발진기  
Fig. 6. Hairpin oscillator with aperture and PBG.



(a) 하모닉 특성

(a) Harmonic characteristic



(b) 출력전력

(b) Output power

그림 7. Aperture와 PBG를 적용한 hairpin 발진기  
Fig. 7. Hairpin oscillator with aperture and PBG.

지금까지 aperture를 적용한 hairpin 발진기에 대하여 측정결과를 보았다. 그림 6에서 보듯이 aperture가 적용된 hairpin 발진기 출력단에 PBG 구조를 연결하였다<sup>[11]</sup>. (a)는 제작된 PBG와 aperture를 적용한 hairpin 발진기의 앞면을 나타내고 있고, (b)는 후면을 나타내고 있다.

레이아웃상태로는 앞에서 aperture만을 적용한 구조와 크게 다르지 않다. 출력단에 PBG를 연결함으로써 2차 3차 등의 하모닉 성분을 억제할 수 있다는 이론에 기초로 하였다. 제작 및 측정 결과를 살펴보겠다.

그림 7(a)에서는 PBG와 aperture를 적용한 hairpin 발진기의 하모닉 특성을 측정한 결과이다. 결과를 보면, 2차 고조파 성분을 크게 억제하고 있는 것을 볼 수 있다. 2차 고조파와 약 -53.67 dBc 억제되고 있다. 그 뿐만 아니라, 3차 4차 성분들은 주파수가 높아짐에 따라 거의 무시할 정도로 측정되었다. 이와

표 1. 실험 결과

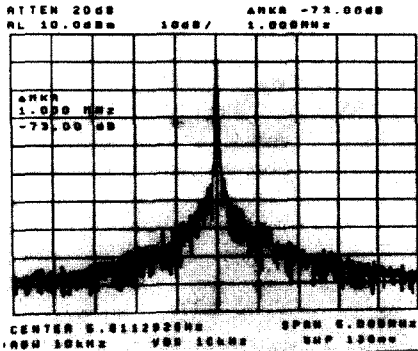
Table 1. Simulated and measured result.

	모의 실험	Hairpin 발진기	Aperture를 사용한 hairpin 발진기	Aperture와 PBG를 사용한 hairpin 발진기
발진 주파수 (GHz)	5.89	5.84	5.83	5.81
출력전력(dBm)	0.497	-4.83	-4.33	0.67
위상잡음(dBc) @100 kHz	-84.27	-86.34	-104.83	-90.5
위상잡음(dBc) @1 MHz	-104.2	-107.83	-122.84	-113

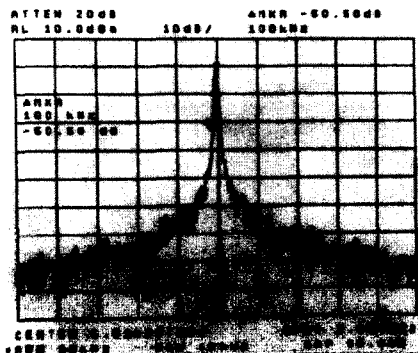
더불어 하모닉으로 분산되었던 손실을 줄임으로써, 원래 발진주파수의 전력이 증가하였다. 발진 주파수는 PBG의 위상변화 특성이 심한 이유 때문에 약간 이동하였다. 발진 주파수는 5.81 GHz 대역에서 발진하였다. 출력전력은 0.67 dBm으로 약 5 dB 이상 증가한 것을 그림 7(b)를 통하여 볼 수 있다. 위상잡음을 살펴보면 100 kHz offset에서 90 dBc로 측정결과를 획득하였다. 모의실험 결과 및 hairpin 발진기와 aperture가 적용된 hairpin 발진기, 그리고 PBG가 연결된 발진기의 측정 결과를 표 1에서 비교해 보았다.

### V. 결 론

본 논문에서는 hairpin 발진기에서 위상잡음을 개선하기 위해서 aperture를 마이크로스트립 접지면에 적용하였다. 루프간 간격을 좁히는 대신 결합이 일어나는 곳의 뒤의 접지면의 일부를 에칭한 aperture를 구현하여 스트립라인과 그라운드간의 결합을 감소시키고, 두 개의 결합라인간의 결합을 증가시켰다. 이렇게 함으로써 기존의 hairpin 발진기보다 aperture를 적용함으로써 더 우수한 위상잡음을 획득하였다. Aperture를 적용한 hairpin 발진기와 기존의 hairpin 발진기보다 100 kHz offset에서 위상잡음이 약 19 dBc 개선하였다. 출력단에 PBG를 연결함으로써, 하모닉성분을 억제하였다. 발진 주파수는 5.8 GHz 대역이고, 출력전력은 0.67 dBm 그리고 2차 하모닉을 -53.67 dBc로 억제하였다.



(a) 1 MHz offset



(b) 100 kHz offset

그림 8. Aperture와 PBG를 적용한 hairpin 발진기  
Fig. 8. Hairpin oscillator with aperture and PBG.

### 참 고 문 헌

- [1] C. D. Broomfield, J. K. A. Everard, "Flicker noise reduction using GaAs microwave feedforward amplifiers", *Frequency Control Symposium and Exhibition, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE/EIA International*, pp. 525-530, 2000.
- [2] C. D. Broomfield, J. K. A. Everard, "Flicker noise reduction using GaAs Microwave Feedforward Amplifier", *2000 IEEE International Frequency control symposium*, Kansas City, Jun. 2000.
- [3] Young-Taek Lee, Jong-Sik Lim, Jun-Seok Park, D. Ahn and Sangwook Nam, "A novel phase noise reduction technique In oscillators using defected ground structure", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE.*, vol. 12, issue. 2, pp. 39-41, Feb. 2002.
- [4] Jun-Ha Hwang, Ja-Soo Cho, Jong-Heon Kim, Jong-Chul Lee, Bok-Ki Kim, Nam-Young Kim and Ui-Seok Hong, "Effective structure of a push-push oscillator using a hair-pin resonator for K-band application", *1999 Asia Pacific Microwave Conf.*, vol. 2, no. 3, Dec. 1999.
- [5] 임석순, 서철현, 김재훈, 김영완, 김내수, "Aperture를 이용한 개방형 루프공진 여파기 성능개선에 관한 연구", *한국통신학회지*, 27(12B), pp. 1207-1213, 2002년 12월.
- [6] Y. Cheng, K. Czuba and G. Kompa, "K-band phase locked hair-pin oscillator", *Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. IEEE International Symposium on*, vol. 4, pp. 26-29, May 2002.
- [7] Y. D. Lee, M. H. Lee, K. H. Lee, W. P. Hong and U. S. Hong, "Voltage-controlled hair-pin resonator oscillator with new tuning mechanism", *Electronics Letters*, vol. 36, issue. 17, Aug. 2000.
- [8] An-Sun Hyun, Hoon-Seok Kim, Ji-Yong Park, Jong-Heon Kim, Jong-Chul Lee, Nam-Young Kim, Bok-Ki Kim and Ui-Seok Hong, "K-band hair-pin resonator oscillators", *Microwave Symposium Digest, 1999 IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 13-19, Jun. 1999.
- [9] K. Takahashi, M. Sagawa and M. Makimoto, "Miniaturized hair-pin resonator filters and their applications to receiver front-end MICs", *Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International*, pp. 13-15, Jun. 1989.
- [10] 류근관, 이문규, 염인복, 이성팔, "Ka band 위성 중계기용 저위상잡음 국부 발진기의 설계 및 제작", *한국전자과학회 논문지*, 13(6), pp. 552-559, 2002년 7월.
- [11] T. S. Kim, Chulhun Seo, "Novel photonic bandgap structure for lowpass filter of wide stopband", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.
- [12] Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster, "Aperture-coupled microstrip open-loop resonators and their applications to the design of novel microstrip bandpass filters", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 47, issue. 9, pp. 1848-1855, Sep. 1999.
- [13] F. Shnurer, "Design of aperture-coupled filters", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 5, issue. 4, pp. 238-243, Oct. 1957.

## 장 옥 태



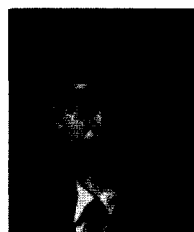
2002년: 숭실대학교 정보통신공학과  
(공학사)

2004년: 숭실대학교 공과대학원 정  
보통신공학과 (공학석사)

현재: VK주식회사 GSM H/W 연구  
소 연구원

[주 관심분야] 위성통신 및 이동통신

## 서 철 현



1983년 3월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)

1985년 3월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학석사)

1993년 3월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학박사)

1993년~1995년: MIT 연구원

1993년~1997년: 숭실대학교 정보통신공학과 조교수

1999년 8월~2001년 1월: MIT 방문교수

1997년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

[주 관심분야] 이동 및 위성통신 Microwave 부품 및 시스  
템, PBG를 이용한 RF 부품