

공진기의 결합 특성을 개선한 Push-Push 발진기 설계

Design of Push-Push Oscillator Improving Coupling Characteristics of Resonators

도지훈 · 김대웅 · 김대희 · 윤호석 · 강동진 · 홍의석

Ji-Hoon Do · Dae-Ung Kim · Dae-Hui Kim · Ho-Seok Yun · Dong-Jin Kang · Ui-Seok Hong

요 약

본 논문에서는 새로운 구조의 push-push 발진기를 제안하였다. 제안된 구조는 각각의 발진기를 HDRO(Harmonic Dielectric Resonator Oscillator)로 설계하여 push-push 구조로 결합시킴으로써 기본 주파수 억압 특성을 개선하였고, 고조파 성분의 출력 파위를 향상시켰다. 이에 따른 위상 잡음 증가를 공진기와 병렬 선로 사이의 결합 특성 개선을 통하여 보상하였다. 실험 결과 18.7 GHz에서 9.32 dBm의 출력을 나타내었고, 기본 주파수 억압 특성은 -47.2 dBc, 위상 잡음은 -99.86 dBc @ 100 kHz의 특성을 보였다.

Abstract

This paper introduces a new type push-push harmonic dielectric resonator oscillator. Proposed oscillators are utilized by HDRO(Harmonic Dielectric Resonator Oscillator) which are combined in push-push structure. As a result, fundamental signal suppression ratio and output power of harmonic signal has been improved. The increase of phase noise is compensated by improving coupling characteristic between resonator and parallel microstrip line. The proposed push-push HDRO shows the output power of 9.32 dBm, the fundamental signal suppression of -47.2 dBc and phase noise of -99.86 dBc at 100 kHz offset frequency and 18.7 GHz center frequency.

Key words : Oscillator, Harmonic, Dielectric, Resonator, Push-Push

1. 서 론

최근 국내외 통신 용량과 통신 가입자의 증가로 이동 통신 시스템이 상용화되고, 기지국 및 중계기의 수요도 증가하고 있는 추세이다. 상업용 무선 통신의 발달에 힘입어 마이크로웨이브 송수신기의 발달을 가져왔으며, 그 사용 주파수 또한 S-band(2~4 GHz)에서 Ku-band(12~14 GHz) 및 Ka-band(26.5~40 GHz)까지 확대되고 있다. 따라서 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 동작하는 고주파 회로의 개발이 요구되며, 특히 통신 시스템에 있어서 전체 시스템

의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 국부 발진기의 위상 잡음 특성과 신뢰성은 매우 중요하게 여겨진다. 또한 전체 시스템의 소형화 및 가격 절감에 국부 발진기의 영향력이 크므로 이를 해결하기 위한 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다.

1980년대 유전체 공진기를 발진기에 사용하여 위상 잡음 개선과 주파수 안정도를 향상시킨 유전체 공진기 발진기가 만들어졌다. 1985년에는 기존의 발진기에 비해 두 배의 발진 주파수를 얻을 수 있는 push-push 유전체 공진기 발진기가 만들어졌으며, 회로적인 관점에서 볼 때 기본 주파수 발진기에 비해

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2005-(C1090-0502-0034)).」

광운대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20060725-084

· 수정완료일자 : 2007년 1월 30일

더 복잡하다는 단점이 있음에도 불구하고, 능동 소자가 갖는 발진 주파수의 한계 이상에서 발진 신호를 얻어낼 수 있다는 장점이 더 크기 때문에 마이크로웨이브 응용 분야에서 널리 적용되고 있다.^[1]

본 논문에서는 기본 주파수 발진기를 이용하는 기존의 방식을 변형하여 고조파 발진기(harmonic oscillator)를 통한 push-push 발진기 구조를 취하였다. 각각의 발진기를 고조파 발진기로 설계하였기 때문에 최종 출력 전력과 기본파 억압 특성에서 큰 개선 효과를 얻을 수 있었다. 고조파 발진기는 기본파 발진기에 비해 위상 잡음 특성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 고조파 발진기를 이용하여 push-push 구조를 이루게 되면, 기본파 발진기를 결합한 것보다 위상잡음 특성이 상대적으로 나빠질 수밖에 없다. 이러한 단점을 보상하기 위하여 유전체 공진기와 결합하는 마이크로스트립 선로를 고 임피던스 변환기(high impedance inverter)로 구현하고^[2], 유전체를 감싸며 결합하는 제안된 구조를 통해 결합 특성의 개선을 얻었다.

II. Push-push 유전체 공진기 고조파 발진기

2-1 기본 원리

그림 1은 제안된 push-push 발진기의 원리를 설명하고 있다. 그림 1의 (a)는 기존의 push-push 발진기

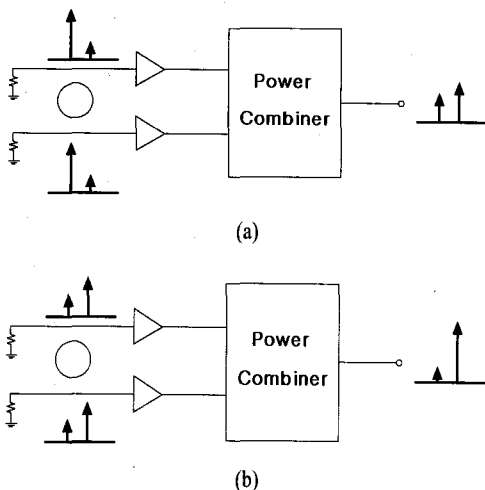


그림 1. 제안된 push-push 발진기의 원리
Fig. 1. Principle of proposed push-push oscillator.

로써 기본파 출력이 크고 2차 고조파의 크기가 작은 구조로 이루어져 있다. 이와 같은 구조는 최종 출력 신호인 고조파의 전력이 작으며, 기본파를 억압하는 특성에도 한계가 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위하여 (b)와 같은 구조를 취하였다. (b)에서는 각각의 발진기들을 2차 고조파 성분이 더 크도록 설계하여 다시 push-push 구조를 이루으로써 최종 출력에서 기본파 억압 특성을 높이고 동시에 높은 출력 전력을 갖도록 하였다.

기본파 발진기에 비해 고조파 발진기는 위상 잡음 특성이 좋지 않은 것이 일반적이다. 또한 단일 발진기와 비교할 때 고조파 성분을 이용하는 push-push 발진기도 역시 위상 잡음 특성이 좋지 않다. 이러한 두 가지를 동시에 이용하면서 발생한 위상 잡음 특성의 저하를 보상하기 위해 고 임피던스 변환기와 전송 선로가 공진기를 감싸는 구조를 제안하였다.

2-2 분석

Push-push 발진기의 공진부는 발진기의 위상 잡음을 개선하기 위해 $TE_{01\delta}$ 모드의 유전체 공진기를 사용하였고, 능동소자는 Agilent사의 ATF-13786 소자를 이용하였다. 유전체 공진기를 이용한 발진기는 여러 가지 장점을 가지고 있지만, 특히 주파수 안정성 및 반송파 근처의 위상 잡음이 우수하여 상업용으로 널리 사용되고 있다^[3]. 전체 회로의 능동 회로부와 수동 회로부의 정확한 분석과 예측을 위하여 수동 회로부로 분류되는 공진부는 Ansoft HFSS 9.0를 통해 모의실험하였으며, 이를 바탕으로 능동 회로부 및 전체 회로를 Agilent사의 ADS2006을 이용하여 모의실험하였다.

발진 주파수의 위상 잡음 특성을 개선하기 위한 방법에는 여러 가지가 있다. Unloaded Q값이 높은 공진기를 선택하거나, 외부 회로적으로 External Q값을 크게 만들어 결과적으로 Loaded Q값을 키우는 방법이 있을 수 있다. 전자는 양호도(quality factor)가 높은 부품을 선택함으로써 이를 수 있고, 후자는 앞에서 언급했던 고 임피던스 변환기를 통해 구현할 수 있다. 고 임피던스 변환기는 전송 선로와 결합 계수와의 관계에서 결합 계수의 값을 변화시켜 보면 알 수 있다. 전송 선로와 결합 계수와의 관계는 다음

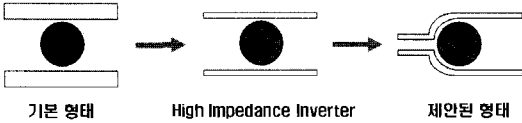


그림 2. 제안된 고 임피던스 변환기
Fig. 2. Proposed high impedance inverter.

과 같이 나타낼 수 있다^[4].

$$\beta_c = \frac{2\pi f_0 L_m^2 Q_u}{2Z_0 L_r} \quad (1)$$

여기서, f_0 는 공진 주파수, L_m 은 상호 인덕턴스, L_r 은 공진 인덕턴스, Q_u 는 무부하 양호도, Z_0 는 전송 선로의 특성 임피던스이다. 그림 2는 제안된 구조의 수동 회로부를 보인다. 공진기와 결합하는 전송 선로의 임피던스를 50 Ω에서 80 Ω으로 올려 고 임피던스를 구현하였으며 다시 제안된 형태로 공진기를 둘러싸면서 발진을 용이하게 만들었다. 각각의 특성은 그림 3에서 보이고 있다. 특성 임피던스 50 Ω의 마이크로스트립 선로를 이용한 경우보다 특성 임피던스 80 Ω의 마이크로스트립 선로를 이용한 경우가 공진 주파수 근처에서 변화의 기울기가 급격한 것을 알 수 있으며, 궁극적으로 제안된 구조를 취하면서 그 특성이 조금 더 개선되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 제안된 형태는 기본 형태에 비해 loaded Q가 상승했음을 알 수 있다. 이론적으로 볼 때, 전송 선로의 특성 임피던스가 증가하면 loaded Q값은 비례하여 증가하지만 실제로는 무한히 높은 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로를 구현할 수 없기 때문에 그 한계가 정해지게 된다. 제안된 구조는 80 Ω 마이크로스트립 라인을 이용하였으며, 공진기를 둘러싸면서 결합하여 발진이 더 잘 이루어지도록 하였다.

그림 4는 본 논문에서 설계하고자 하는 push-push 유전체 공진기 발진기의 구조를 보여주고 있다. 직렬 케환형 발진기를 채택하였으며, 이는 부하에 따른 발진 주파수의 변동이 적으며 회로가 간단하여 구현하기에 용이한 장점을 가지고 있다. 그림 4에서 게이트와 공진기 사이의 거리 L_1 과 케환요소인 개방 스타브 L_2 를 이용하여 발진기의 발진 조건을 만족시켰으며 최종적으로 부회로를 첨가하여 발진 가능성을 예측하였다. 이러한 선형 설계를 바탕으로 HB(Harmonic Balance) 기법을 이용하여 발진기의 비선형 모

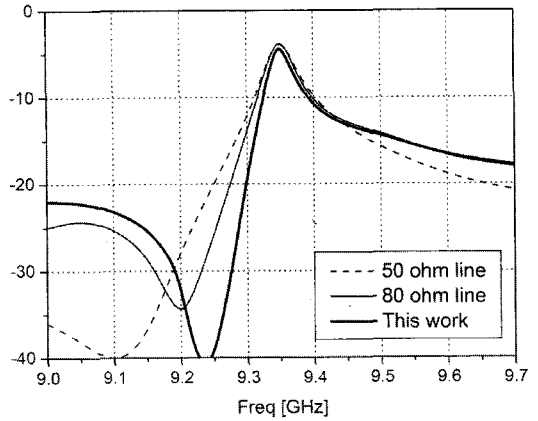


그림 3. (a) 50 Ω 선로와 결합했을 때, (b) 80 Ω 선로와 결합했을 때, (c) 제안된 구조의 공진기 특성

Fig. 3. Characteristics of resonator (a) coupled with 50 Ω transmission line, (b) coupled with 80 Ω transmission line, (c) coupled with proposed structure.

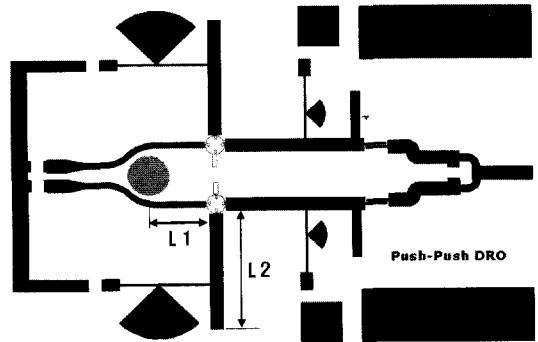
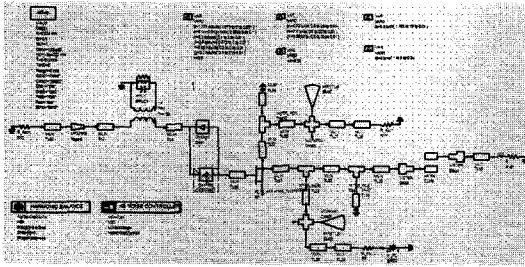


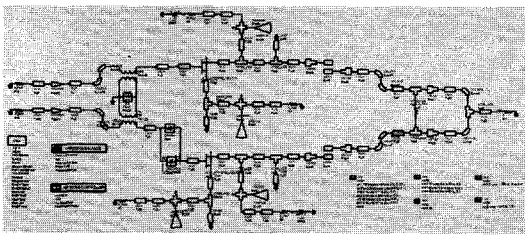
그림 4. 제안된 push-push 유전체 공진기 발진기
Fig. 4. Proposed push-push dielectric resonator oscillator.

의 실험을 하였다. 또한 소자의 비선형 모델을 통해 출력, 고조파 특성, 정상 상태에서의 주파수 변동 및 위상 잡음 특성 등을 예측할 수 있었다. 그림 5의 (a)는 고조파 발진기의 모의실험 회로도이고, (b)는 동일한 구조의 고조파 발진기들을 이용한 push-push 발진기의 모의실험 회로도를 보인다.

그림 6은 발진기의 전력 스펙트럼 모의실험 결과를 보여주고 있다. f_0 (9.35 GHz)의 출력 전력은 -60 dBc 이상으로 매우 우수한 억압 특성을 보였으며, $2f_0$ (18.7 GHz)의 크기는 약 10 dBm의 결과를 예측할



(a) 고조파 발진기 구성도
(a) Schematic of the oscillator



(b) 제안된 발진기 구성도
(b) Schematic of the proposed oscillator

그림 5. 발진기의 모의실험 구성도
Fig. 5. Simulation schematic of the oscillators.

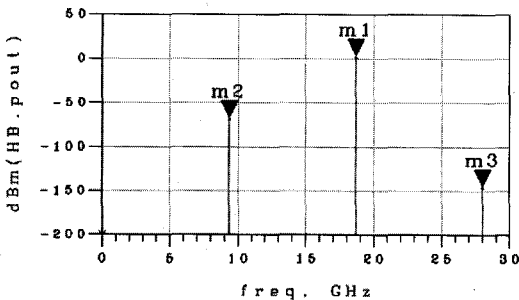


그림 6. 18.7 GHz 발진기의 전력 스펙트럼
Fig. 6. Harmonic spectrum of 18.7 GHz Oscillator.

수 있었다. 그림 7은 제작된 push-push 발진기의 실물 사진을 보인다.

III. 제작 및 측정 결과

설계된 push-push 발진기는 0.504 mm의 두께를 갖고 유전율 $\epsilon_r=2.6$ 인 Chukoh사의 teflon 기판에 하이브리드 기법으로 제작하였다. 능동 소자(ATF-13786)는 $V_{ds}=5V$ 를 인가하였으며, 게이트 바이어스는 self 바이어스 형태를 취하여 $I_{ds}=40mA$ 의 바이어스 조

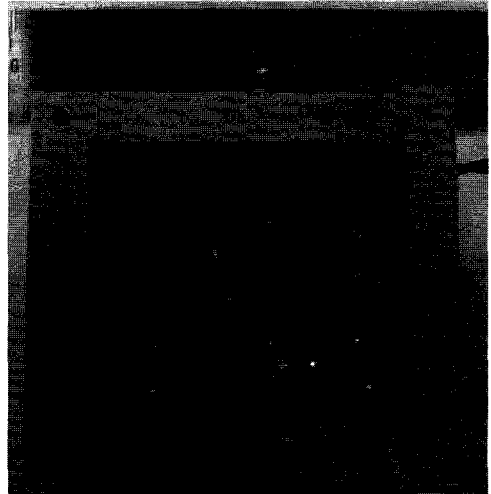


그림 7. 제작된 push-push 발진기의 사진
Fig. 7. Photograph of fabricated push-push DRO.

건을 이루었다. 위상 잡음 및 출력 전력과 고조파 억압 특성을 측정하기 위하여 Agilent사의 E4440A PSA Series Spectrum Analyzer를 이용하였으며, 그림 8과 9에서 나타낸 바와 같이 +9.32 dBm의 출력 전력과 99.39 dBc/Hz @ 100 kHz의 위상 잡음 특성을 얻었다. 이는 고조파 발진기를 이용한 push-push 발진기가 출력 전력을 증대시킬 수 있다는 점과 외부 회로적으로 External Q가 증가되어 위상 잡음이 개선되었다는 것을 나타낸다. 또한, 이미 억압된 기본파 성분을 push-push 구조로 취함으로써 -47.2 dBc라는 매우 높은 억압 특성을 보였다. 기본파 억압 특성은

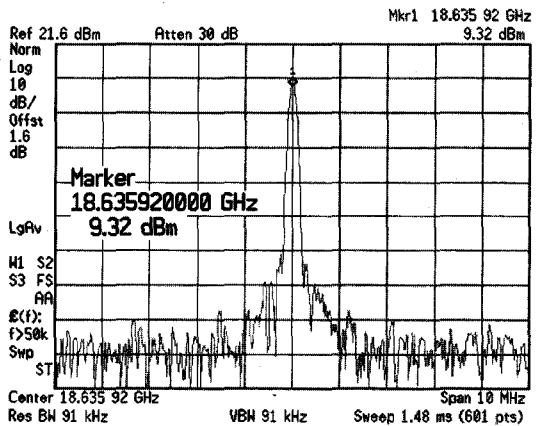


그림 8. Push-push DRO의 출력 전력
Fig. 8. Output power of the push-push DRO.

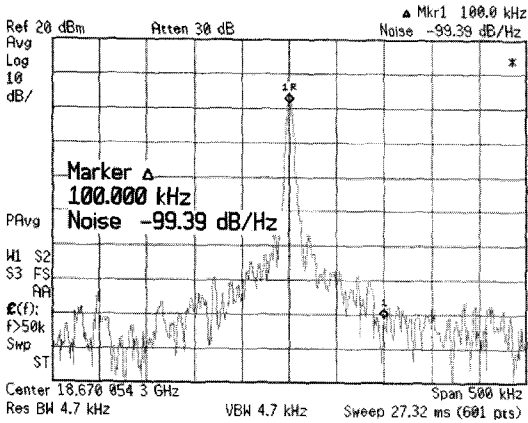


그림 9. Push-push DRO의 위상 잡음 특성(@100 kHz)
 Fig. 9. Phase noise characteristics of the push-push DRO(@100 kHz).

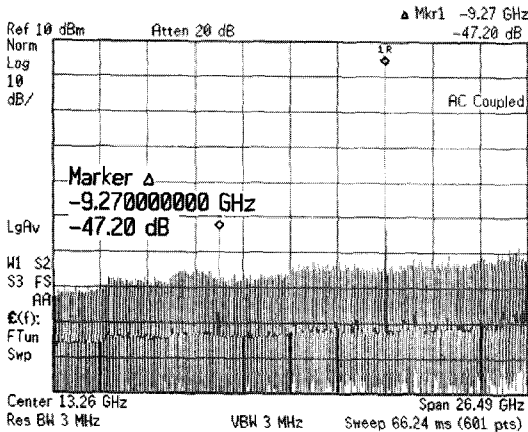


그림 10. Push-push DRO의 고조파 특성
 Fig. 10. Harmonic characteristics of the push-push DRO.

표 1. 다른 발진기와의 비교
 Table 1. Comparison with the other oscillators.

	Jun-Ha ^[3]	Dussopt, Rebeiz ^[6]	This work
발진 주파수 [GHz]	18.37	18.6	18.7
출력 전력 [dBm]	1.17	3.1	9.32
기본파 억압 [dBc]	-24.17	-17	-47.2
위상 잡음 [dBc]	-100	-103	-100

그림 10에 나타내었다. 표 1은 이미 발표된 push-

push 발진기와 특성을 비교한 것이다. 출력 전력과 기본파 억압 특성이 상대적으로 높으면서도 비슷한 수준의 위상 잡음 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. 위상 잡음의 경우, 결합 특성의 개선을 통해 보상되었다는 것을 의미한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고조파 발진기를 이용하여 push-push 발진기를 설계하고 제작하였다. 이러한 구조가 갖는 위상 잡음 특성의 저하는 공진부의 결합 특성을 개선함으로써 보상하였다. 그 결과 최종 출력은 주파수 18.7 GHz에서 9.32 dBm의 출력 전력을 얻을 수 있었으며, 동시에 -47.2 dBc라는 우수한 기본파 억압 특성을 보였다. 높은 출력 전력을 통해 완충 증폭기(buffer amp.) 없이도 원하는 특성을 얻을 수 있기 때문에, 제작시 단가 절감의 효과도 기대할 수 있을 것이다. 제작된 push-push 발진기는 전압 제어 회로와 PLL 구동 회로를 연동하여 고안정, 고출력의 위상 고정 발진기에 사용할 수 있으며, 본 논문의 발진기 설계 기법은 다양한 통신 시스템의 신호원 설계에 응용할 수 있을 것이라 기대한다.

참 고 문 헌

[1] A. S. Hyun, H. S. Kim, J. Y. Park, J. H. Kim, J. C. Lee, N. Y. Kim, B. K. Kim, and U. S. Hong, "K-band hair-pin resonator oscillators", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, vol. 2, pp. 725-728, Jun. 1999.

[2] K. K. Ryu, M. Q. Lee, I. B. Yom, and S. P. Lee, "A low phase noise local oscillator for Ka-band satellite transponder", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 36, no. 3, pp. 216-218, Feb. 2003.

[3] J. Y. Lee, U. S. Hong, "A new design of voltage controlled dielectric resonator oscillator using three-terminal MESFET varactor", *Singapore ICCS '94 Conference Proceedings*, vol. 1, pp. 14-18, Nov. 1994.

[4] M. Q. Lee, K. K. Ryu, and I. B. Yom, "Phase noise reduction of microwave HEMT oscillators using a dielectric resonator coupled by a high impedance

inverter", *ETRI Journal*, vol. 23, no. 4, Dec. 2001.

[5] J. H. Hwang, J. S. Cho, J. H. Kim, J. C. Lee, B. K. Kim, N. Y. Kim, and U. S. Hong, "Effective structure of a push-push oscillator using a hair-pin resonator for K-band application", *Asia Pacific Mi-*

crowave Conference, vol. 2, Nov./Dec. 1999.

[6] L. Dussopt, G. M. Rebeiz, "A low phase noise silicon 18-GHz push-push VCO", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 13, Issue 1, pp. 4-6, Jan. 2003.

도 지 훈



2004년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2006년 2월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로 (MMIC, Hybrid) 회로설계, SSPA, LPA

김 대 희



1988년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 1월~1993년 8월: (주)인켈 정보기기 사업부 개발팀
 1993년 8월~1994년 2월: (주)인켈 품질경영실 정보기기 인증시험과 트장
 1994년 3월~1996년 2월: (주)아남전자 TV 개발부 선임연구원
 1996년 3월~현재: 전자부품연구원 사업기획개발센터실 수석연구원
 2004년 8월~현재: 광운대학교 전파공학과 대학원 석·박 통합과정
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로(MMIC, Hybrid) 회로설계, RFID, 안테나

김 대 응



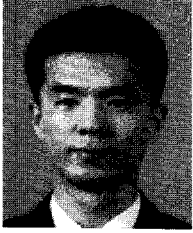
1997년 2월: 동신대학교 정보통신공학과 (공학사)
 1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 1999년 2월~2006년 2월: (기업분할) (주)에이스테크놀로지 책임연구원
 2005년 8월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
 2006년 3월~현재: (주)에이스안테나 책임연구원
 [주 관심분야] RF/Microwave System 회로 해석 및 설계, UWB, SIP

윤 호 석



1983년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2004년 2월: 광운대학교 무선통신공학과 (공학석사)
 2004년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정
 1983년 1월~1998년 10월: 삼성전자
 1998년 10월~현재: 삼성SDS 상무
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로(MMIC, Hybrid) 회로설계, RFID, 안테나

강 동 진



1993년 2월: 광운대학교 전자통신
공학과 (공학사)
2003년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학석사)
2004년 2월~현재: 광운대학교 전
파공학과 박사과정
1993년 4월~1995년 6월: 정보통신

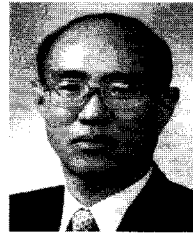
부 전파연구소

1996년 5월~2000년 7월: 강원이동통신

2000년 8월~현재: 한국정보통신기능대학 교수

[주 관심분야] 초고주파 능동회로(MMIC, Hybrid) 회로설
계, RFID, 안테나

홍 의 석



1968년 2월: 광운대학교 전자통신
공학과 (공학사)
1973년 9월: 연세대학교 전자공학
과 (공학석사)
1982년 11월: 독일 Aachen 공대 전자
공학과 (공학박사)
1986년~1987년: 미국 Univ. of Te-

xas 객원교수

2001년 1월~2001년 12월: 한국통신학회 회장

2002년 5월~2003년 12월: 한국ITS학회 초대회장

1973년 3월~현재: 광운대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고주파 수동 및 능동회로(MMIC, Hybrid)
회로설계, 이동 및 위성통신, 안테나