

380 MHz대 TRS 단말기용 전압제어 발진기 설계 및 제작

Design and Implementation of Voltage-controlled Oscillator for 380 MHz TRS Handset

홍 성 용

Sung-Yong Hong

요 약

380 MHz 대역의 TRS 단말기에서 국부발진용으로 사용되는 전압제어발진기를 설계하고 제작하였다. 위상잡음 특성을 개선하기 위하여 잡음지수가 1.2인 NEC사의 2SC4226 트랜지스터를 사용하였고, 품질계수가 70인 Toshiba사의 1SV229 배액터 다이오드를 사용하였다. 소형, 경량화를 위하여 공진부의 인덕터를 마이크로 스트립라인으로 구현하였다. 발진기의 출력단의 임피던스 변화에 발진주파수의 변화가 둔감하도록 버퍼단이 있는 콜피츠형의 발진회로를 이용하여 설계 및 제작하였으며, 측정결과 바이어스 조건이 5 V, 8 mA이고 발진주파수가 357~387 MHz에서 출력은 3.7 dBm 이상 이었고, 12.5 KHz offset 주파수에서 111 dBc /Hz의 위상잡음 특성을 나타내었다. 또한 주파수 변조 감도 편차가 ±0.4 KHz 이내로서 TRS 단말기에 만족하는 특성을 얻었다.

Abstract

A voltage controlled oscillator for the local oscillator in 380 MHz TRS handset is designed and fabricated. To improve the phase noise characteristics, the NEC's 2SC4226 transistor with NF=1.2 at 1 GHz and Toshiba's 1SV229 varactor diode with Q=70 are used. And an inductor of VCO is realized by microstrip line. At the bias condition of 5 V and 10 mA, the output power and phase noise in the operating frequency range of 357~387 MHz are above 3.7 dBm and 111 dBc /Hz at 12.5 KHz offset from the carrier, respectively. And FM sensitivity deviation are within ±0.4 KHz. This VCO is well suited for TRS handset.

I. 서 론

산업 통신망과 비상 통신망의 수요가 급격히 증가하고, 최근에 와서 사용자들 간의 무선통신 서비스의 수요가 급격히 확산 되면서 차세대 페이징, 디지털 셀룰러, PCS 등 다양한 무선 통신 시스템의

개발이 가속화 되고 있다. TRS 시스템은 사용자가 특정한 개별주파수를 할당 받아서 사용하던 종래의 무선통신 방식과는 달리 복수의 주파수를 다수의 가입자가 공유하면서 사용하는 방식으로 제한된 주파수 스펙트럼으로 볼 때 주파수 이용효율 및 시스템 구축에 대한 경제성이 우수한 통신 수단이다.

TRS 단말기에서도 기존의 휴대전화와 유사하게

충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences and Engineering, Chungnam Nat'l Univ.)

· 논문 번호 : 980117-001

· 수정완료일자 : 1998년 2월 17일

다수의 가입자에게 서비스하기 위해서는 사용주파수 대역의 채널선택을 위한 주파수 합성기가 필요하다. 이러한 주파수 합성기는 위상동기회로를 사용하며, 전압제어발진기(Voltage Controlled Oscillator), 저역통과여과기, PLL IC로 구성 된다. 이때 전압제어발진기는 송·수신단의 transceiver unit의 주파수 합성기에서 RF를 IF로 낮추거나 IF를 RF로 높여주는 국부 발진기의 역할 뿐 아니라 송신신호를 주파수 변조하는 기능을 한다. 단말기용 전압제어발진기는 발진측면에서는 낮은 위상 잡음(phase noise)을 가져야 하며, 단말기의 배터리면에서는 저전력으로 동작하여야 하고, 휴대면에서는 소형화, 경량화가 요구되며, 양산성면에서는 표면실장형(SMD)으로 생산 자동화가 가능해야 한다^[1]. 특히 채널간의 주파수 간격이 좁을 경우 VCO의 위상잡음 특성(C/N)과 주파수 안정도(frequency stability)에 따라 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 준다. 또한 TRS용 단말기는 VCO를 이용하여 주파수 변조를 하는 아날로그 방식이므로 VCO에 음성신호 입력단자(MOD)가 필요하다. 그런데 캐리어 주파수가 달라지게 되면 음성신호 주파수가 일정하더라도 배랙터 다이오드의 비선형 특성 때문에 변조된 신호의 주파수 편이가 달라지게 된다. 따라서 TRS용 VCO는 위상잡음 특성과 함께 주파수 변조 편이(FM deviation)를 일정한 범위내로 유지하는 것이 중요하다. 주파수 변조 편이 특성을 개선하기 위해서는 배랙터 다이오드의 인가 전압과 정전용량의 변화 특성을 고려해야 하고 제어전압 감도(control voltage sensitivity)를 적절히 조절해야한다.

본 연구에서는 최근에 상용화되고 있는 380 MHz 대역의 TRS용 단말기에 사용되는 전압제어 발진기를 제작하였다. 전압제어 발진기에서 위상잡음 특성에 중요한 역할을 하는 것은 트랜지스터, varactor diode, 인덕터이다. 우수한 위상잡음 특성을 갖는 VCO를 제작하기 위하여 트랜지스터는 잡음지수가 우수한 NEC사의 2SC4226, 배랙터 다이오드는 Q가 큰 Toshiba사의 1SV229를 사용

하였다. VCO의 공진부의 인덕터로는 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기가 있으나^[2] 소형화 및 양산성을 고려하여 마이크로스트립 라인으로 구현하였다. 제작된 VCO의 특성을 측정된 결과 위상잡음 및 고조파 특성 등에서 TRS 단말기의 요구조건을 만족하는 특성을 나타내었다.

II. 전압제어 발진기 설계

본 연구에서 설계하고자 하는 전압제어 발진기는 380 MHz 대역의 TRS 단말기의 국부발진용 주파수 합성기에 사용하게 되는데 380 MHz 대역에서는 사용되는 소자들의 기생성분이 크게 영향을 미치지 않으므로 발진기의 발진주파수는 공진회로만으로 거의 결정된다. 이러한 경우에는 능동소자를 포함하여 고주파를 생성하는 부저항부와 발진주파수를 안정시키는 공진부 그리고 부하에 큰 출력이 전달되도록 하는 임피던스 정합부로 나누어 해석할 수가 있다. 트랜지스터를 이용하여 발진기를 구성하는 방법에는 크게 에미터 접지회로와 베이스 접지회로로 나눌 수가 있다. 베이스 접지회로는 VCO의 부하 임피던스 변화에는 둔감하나 에미터 접지에 비해 다양한 규격을 만족시키기가 어렵다. 그런데 에미터 접지회로는 높은 출력 및 다양한 특성을 만족시키기 유리하기 때문에 그림 1과 같이 발진부는 에미터 접지회로를 사용하고 발진부와 출력단 사이에 버퍼 증폭기를 설치하여 부하의 임피던스 변화에 따른 발진주파수의 변화(pulling figure)를 개선시키는 구조를 선택하였다^[3].

표 1에 TRS 단말기에 사용되는 VCO의 규격을

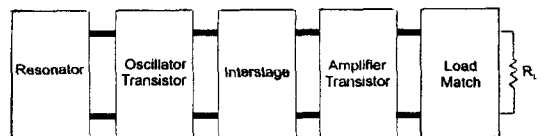


그림 1. 버퍼단을 사용한 발진기의 블록도
Fig. 1. Block diagram of buffered oscillator.

표 1. VCO의 설계 규격

Table 1. Design specifications for VCO

항목	규격
Frequency range	368~383 MHz
Tuning voltage	1~4 V
Output power	4 dBm 이상
Phase noise (12.5 KHz offset)	105 dBc /Hz 이상
S / N (S=1 KHz, dev=3 KHz)	48dB 이상
Spurious response	-20 dBc 이하
Power supply	5V
Current consumption	10 mA 이하
Pushing figure ($V_{cc} \pm 5\%$)	± 300 KHz 이내
Pulling figure ($V_{SWR}=2$)	± 300 KHz 이내

나타내었다.

VCO 회로는 380 MHz 대역에서는 인덕터보다는 캐패시터가 높은 Q값을 나타내므로 Hartley형 보다는 Colpitts형을 주로 사용한다^[4]. 그림 2에 본 논문에서 사용한 회로를 나타내었다.

본 논문에서 제작하고자 하는 전압제어 발진기는 380 MHz 대역의 TRS 단말기의 국부발진용으로

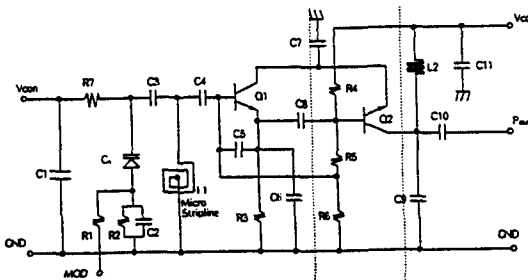


그림 2. VCO의 회로도

Fig. 2. Equivalent circuit of voltage controlled oscillator.

채널간의 주파수 간격이 12.5 KHz로서 매우 좁기 때문에 위상잡음 특성이 중요하다. 발진기의 위상잡음 특성은 트랜지스터의 잡음지수, 배랙터 다이오드의 Q값 그리고 공진부를 구성하는 소자들의 Q값에 의해 주로 결정된다^[5]. 이를 위해 트랜지스터는 잡음지수가 1 GHz에서 1.2 dB이고 f_T 가 4.5 GHz인 NEC사의 2SC4226, 배랙터 다이오드는 Q값이 70인 Toshiba의 1SV229을 이용하여 설계하였다. 또한 비유전율이 4이고 두께가 1.0 mm인 FR4 기판에 마이크로스트립 라인을 이용하여 공진부의 인덕터를 구현하였다.

그림 2에서 알 수 있듯이 VCO는 바이어스 전압 V_{cc} , 제어전압 V_{con} , 음성신호를 주파수변조시키기 위한 MOD, 발진주파수 출력단자 P_{out} 으로 구성되어 있다. 회로적으로 보면 발진단과 버퍼단으로 구성되어 있는데 발진단은 C_5, C_6, L_1 으로 구성된 Colpitts 형태임을 알 수 있으며 VCO의 주파수가 변 범위는 배랙터 다이오드의 가변 범위와 C_3 에 의해 조정할 수 있다. 또한 같은 발진주파수에서 C_4 와 C_5, C_6 의 크기는 서로 반비례하게 된다. C_4 를 크게 하면 발진출력은 증가하게 되나 C_5, C_6 가 작아지게 되어 트랜지스터에서 발생하는 잡음에 민감해지게 되고 반대로 C_4 를 작게 하면 발진출력은 떨어지나 C_5, C_6 가 증가하게 되어 잡음의 영향을 덜 받게 된다^[6]. 그리고 버퍼단은 출력을 높이는 역할뿐 아니라 VCO의 발진주파수가 부하 임피던스의 변화에 민감하지 않도록 하는 기능을 하고 있다. 그리고 C_9, C_{10} , 전송선으로 된 L_2 는 부하에 최대의 전력을 전달하기 위한 정합용 소자이다. 또한 MOD 단자로 음성신호가 들어가면 음성신호의 크기 변화에 따라 배랙터 다이오드의 캐패시턴스가 변하게 되어 발진주파수가 움직이게 된다. 따라서 음성신호의 크기 변화가 주파수 변화로 나타나는 주파수 변조회로 기능을 한다. 그런데 배랙터 다이오드의 캐패시턴스는 제어전압에 의해 비선형으로 변하기 때문에 발진주파수에 따라 주파수 변조의 주파수 변조 편이(FM deviation)가 달라지게 된다. 이러한 FM 감도(FM sensitivity) 편차를 줄이기 위

표 2. VCO의 설계된 정수값

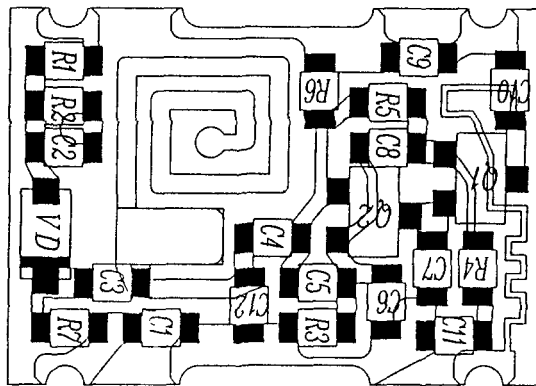
Table 2. Designed values for the VCO

부품	설계값	부품	설계값
C ₁	1000 pF	C ₁₁	1000 pF
C ₂	100 pF	C ₁₂	4.3 pF
C ₃	22 pF	R ₁	100 K Ω
C ₄	4 pF	R ₂	91 Ω
C ₅	10 pF	R ₃	150 Ω
C ₆	10 pF	R ₄	1.8 K Ω
C ₇	1000 pF	R ₅	5.1 K Ω
C ₈	4 pF	R ₆	5.1 K Ω
C ₉	27 pF	L ₁	11.6 nH
C ₁₀	51 pF	L ₂	10 nH

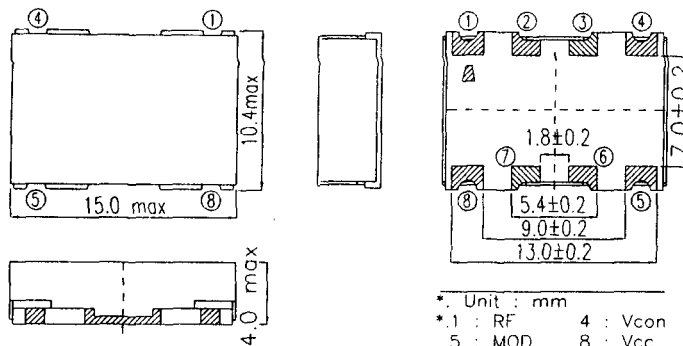
해서는 발진주파수의 대역과 제어전압의 변화 범위에 따라 적절한 배랙터 다이오드를 선택해야한다. 이와 같은 기본 원리를 이용하여 회로를 설계하였으며 설계된 정수값을 표 2에 나타내었다.

Ⅲ. 전압제어 발진기 제작 및 측정

그림 2의 회로를 이용하여 설계된 전압제어발진기를 제작하였다. 먼저 비 유전율이 4인 FR4를 이용하여 두께가 1.0 mm인 양면 PCB를 제작한 다음 그 위에 설계된 능동 및 수동소자를 실장하였다. 그림 3에 제작된 PCB의 도면과 VCO의 크기를 나타내었다. 전압제어 발진기의 크기는 15×10.4×4 mm이다.



(a) PCB 도면



(b) 크기

그림 3. VCO의 PCB 도면 및 크기

Fig. 3. PCB layout and physical dimension of the VCO.

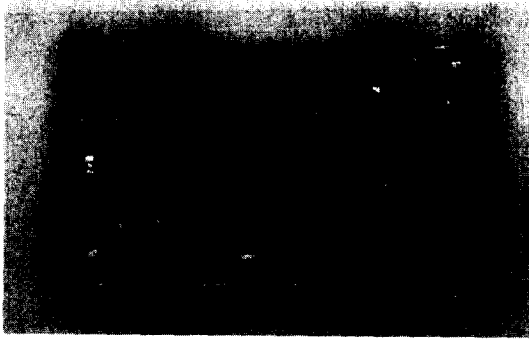


그림 4. 제작된 VCO의 사진

Fig. 4. Photograph of the fabricated VCO.

제작된 전압제어발진기의 사진을 그림 4에 나타내었으며, VCO 측정 시스템의 블록도를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 주파수 분석기(spectrum analyzer)를 이용하여 발진주파수의 위상잡음 특성, 고조파 특성, 푸싱피겨, 폴링피겨를 측정하고, Audio analyzer에서 발생한 음성신호를 VCO의 MOD 단자에 입력한 다음 주파수 변조된 신호를 Modulation analyzer로 FM 편이를 측정하고 변조된 신호를 다시 복조하여 S/N을 측정한다.

제작된 전압제어 발진기의 발진 특성을 그림 6에 나타내었는데 공급전력이 5 V, 8 mA일때 주파수 374 MHz에서 출력 레벨이 4.5 dBm이었다.

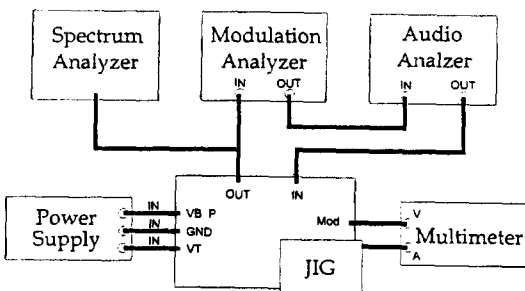


그림 5. 측정시스템의 블럭도

Fig. 5. Block diagram of the VCO measurement system.

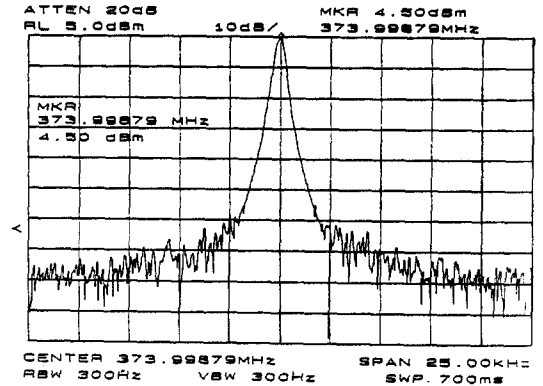


그림 6. VCO의 발진주파수 특성

Fig. 6. Oscillation spectrum of the fabricated VCO.

그림 7, 그림 8은 제작된 VCO의 위상잡음 특성과 고조파 특성을 측정한 결과이다. 위상잡음 특성은 12.5 KHz offset 주파수에서 111 dBc/Hz이었고 -40 dBc의 2차 고조파 특성을 얻었다.

또한 제어전압 변화에 대한 출력의 변화와 발진주파수의 선형 특성을 그림 9에 나타내었는데 실제 시스템에서 사용하는 주파수 범위내(368~383 MHz)에서 출력의 변화는 ± 0.5 dB 이내, 제어전압 감도 편차는 ± 1.0 MHz/V 이내로 나타났다.

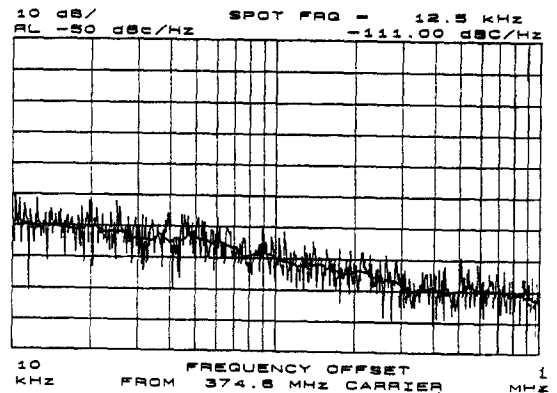


그림 7. VCO의 위상잡음 특성

Fig. 7. Phase noise characteristics of the VCO.

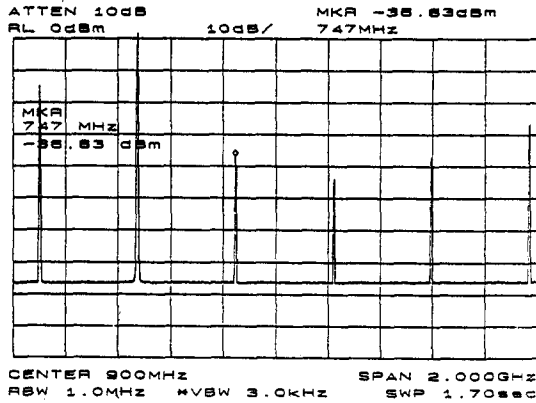


그림 8. VCO의 고조파 특성
Fig. 8. Harmonic characteristics of the VCO.

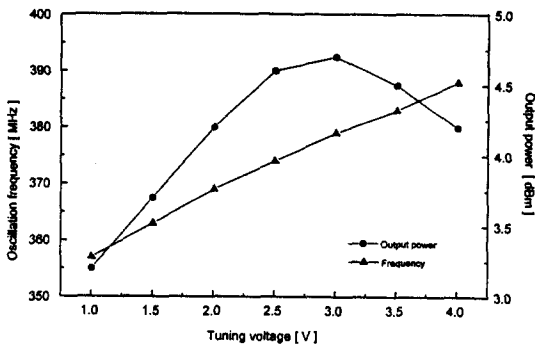


그림 9. 제어전압의 변화에 대한 발진기의 주파수 및 출력 변화
Fig. 9. Oscillation frequency and output level versus tuning voltage.

송신신호의 크기와 FM 변이 주파수의 비인 주파수 변조 감도(FM sensitivity) 편차를 그림 10에 나타내었는데 ± 0.4 KHz 이내의 특성을 나타내었다.

제작된 전압제어 발진기의 측정 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3으로부터 제작된 VCO는 출력레벨, 위상잡음, 고조파 특성에서 표 1의 설계 규격을 만족함을 알 수 있다.

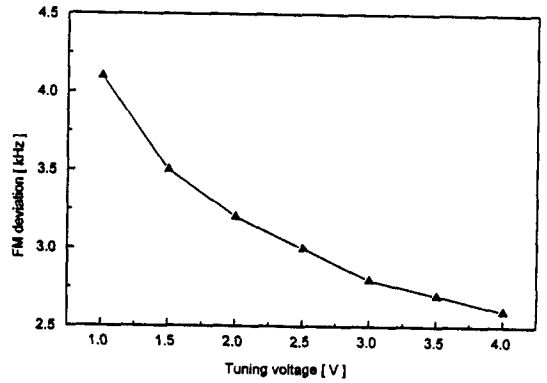


그림 10. 제어전압의 변화에 대한 FM 편이 변화
Fig. 10. FM deviation versus tuning voltage.

표 3. VCO의 측정 결과
Table 3. Measurement data of the fabricated VCO

항목	측정 결과
Frequency range	357~387 MHz
Tuning voltage	1~4 V
Output power	3.7 dBm 이상
Phase noise (12.5 KHz offset)	111 dBc /Hz
S / N (S=1 KHz, dev=3 KHz)	49 dB
Spurious response	-40 dBc
Power supply	5V
Current consumption	8mA
Pushing figure (Vcc \pm 5%)	\pm 80KHz
Pulling figure (VSWR=2)	\pm 20KHz

IV. 결 론

본 논문에서는 버퍼단을 사용한 Colpitts형 발진 회로를 이용하여 380 MHz 대역의 TRS 단말기용

전압제어발진기를 구현하였다. VCO 모듈은 FR4의 PCB 상에 도체 배선을 형성하고 그 위에 능동 및 수동소자를 실장하는 하이브리드 방식으로 제작하였으며 위상잡음 특성을 개선하기 위하여 트랜지스터는 잡음지수가 1.2 dB인 NEC사의 2SC4226, 배랙터 다이오드는 Q가 70인 Toshiba사의 1SV229를 사용하였으며 소형화를 위하여 공진부의 인덕터를 마이크로스트립 라인으로 구현하였다. 제작된 VCO는 주파수 대역이 357~387 MHz, 12.5 KHz offset 주파수에서 위상잡음 특성이 111 dBc/Hz, 출력 레벨이 3.7 dBm 이상으로 나타났다. 이때 2차 및 3차 고조파는 기본파에 비해 -40 dBc, -48 dBc로 측정되었다. 또한 음성신호가 1 KHz일때 3 KHz의 주파수 편이에서 편차는 ± 0.4 KHz 이내로 본 연구에서 제작한 전압제어 발진기는 TRS 단말기에 적용할 수 있으리라 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] 염경환, 이명성, "900 MHz 대역의 이동통신용 전압제어 발진기의 더 높은 고주파 대역에서의 적용가능성에 관한 검토," 한국통신학회

- 논문지, vol. 20, no. 8, pp. 2236-2244, 1995.
 [2] T. Nishikawa, "RF front end circuit components miniaturized using dielectric resonators for cellular portable telephones," *IEICE Trans.*, vol. E74, no. 6, June, 1991.
 [3] G. D. Vendelin, *Microwave Circuit Design using Linear and Nonlinear Techniques*, John Wiley & Sons, 1990.
 [4] 홍성용, "Frequency synthesizer용 전압제어 발진기", 이동통신용 부품설계 워크샵, 한국통신학회 통신 및 회로 부품 연구회, pp. 274-308, 1994.
 [5] T. Uwano, Y. Nakagawa, T. Nakamura, T. Ishizaki, "Design of a low phase noise VCO for an analog cellular portable radio application", 전자정보통신학회 논문지 C-I, vol. J76-C-1, no. 11, pp. 430-436. Nov. 1993.
 [6] 홍성용, 손호원, 이재명, "CDMA 기지국용 전압제어발진기 설계 및 제작", 한국전자과학회 종합학술대회 논문집, pp. 250-254, 1996.

홍 성 용



1985년 2월 : 충남대학교 전자공학과
(공학사)

1988년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학석사)

1994년 8월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학박사)

1994년 2월~1996년 8월 : 한국 쌍신전기 연구소장

1996년 9월~현재 : 충남대학교 전자공학과 전임강사