

논문 2010-6-10

120 GHz 국부발진기의 설계 및 제작

A Design and Fabrication of 120 GHz
Local Oscillator

이원희*, 정태진*

Won-Hui Lee, Tae-Jin Chung

요 약 본 논문은 캐리어 주파수가 240 GHz인 THz 대역 송수신기에 있어서, 서브하모닉 믹서의 LO 주파수로 사용되는 120 GHz 국부발진기의 설계 및 제작에 관한 것이다. 120 GHz 국부발진기는 40 GHz PLL(Phase Locked Loop), 40 GHz 대역통과필터(Band Pass Filter), 3 체배기(frequency tripler), 120 GHz 대역통과필터로 구성되어 있으며, 3 체배기는 상용품을 이용하였다. 40 GHz PLL의 위상잡음은 100 kHz offset 주파수에서 -105 dBc/Hz의 성능을 보였고, 120 GHz의 대역통과필터의 중심주파수 119 GHz, 대역폭 5 GHz 일 때 삽입손실은 1.3 dB로 측정되었다. 제작된 120 GHz 국부발진기의 최종 출력은 6.6 dBm이었다.

Abstract In this paper, a 120 GHz local oscillator(LO) for the sub-harmonic mixer in the THz transceiver with a carrier frequency of 240 GHz was designed and fabricated. A 120 GHz local oscillator was composed of 40 GHz PLL(Phase Locked Loop), 40 GHz BPF(Band Pass Filter), frequency tripler and 120 GHz BPF. The commercial model of the frequency tripler was used. The measured result of the 40 GHz PLL showed the phase noise of -105 dBc/Hz at the 100 kHz offset frequency. The measured result of 120 GHz BPF showed the insertion loss of 1.3 dB at center frequency of 119 GHz with bandwidth of 5 GHz. The output power of 120 GHz LO was measured to 6.6 dBm.

Key Words : Local oscillator, Sub-harmonic mixer, PLL, Frequency tripler, BPF

I. 서 론

테라헤르츠(THz : 10^{12} Hz)파는 전자파 스펙트럼에서 밀리미터파 대역과 원적외선(Far Infra-red) 대역 사이에 존재하는 100 GHz에서 10 THz 대역의 전자파 스펙트럼으로서, 소자 및 부품 등 관련 기술이 미개발되거나 개발 중인 미개척 주파수 대역이다. 테라헤르츠 대역의 전자파는 수증기(H_2O) 등 대기의 수분에 강하게 흡수되며, 플라스틱, 나무, 종이, 옷감 등 비이온화 물질은 투과하고 금속에는 반사하는 특성을 가지고 있다^[1].

지난 30년간을 관찰해 본 결과, 무선 데이터 속도의 지

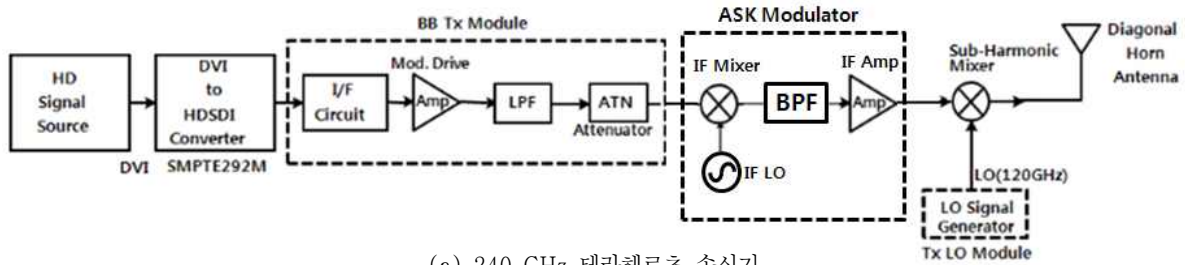
수적 성장을 감안하면 무선의 전송용량은 매 1.5년마다 2 배씩 증가해 왔고, 현재 시점에서 10년 이내에 약 15 Gbps의 데이터 속도가 필요할 것으로 판단되며, 초고속 통신기술의 발전으로 데이터 전송속도는 유선 통신시스템의 용량에 접근할 것이다^[2].

미래 무선통신 시스템의 기가 비트급 전송속도는 대단히 넓은 주파수 대역폭(10 GHz 이상)을 요구하는 다양한 분야에 응용될 것으로 기대된다^{[3]~[5]}. 기존의 Bluetooth, WLAN, WPAN 및 UWB 시스템은 수 MHz에서 수 GHz 사이의 주파수 대역폭을 사용한다. 따라서, 이들은 미래의 요구사항을 만족하는 충분히 높은 데이터 속도를 제공할 수 없으며, 향후 무선 근거리 통신네트워크는 조만간 테라헤르츠 주파수 대역으로 이동할 것으로

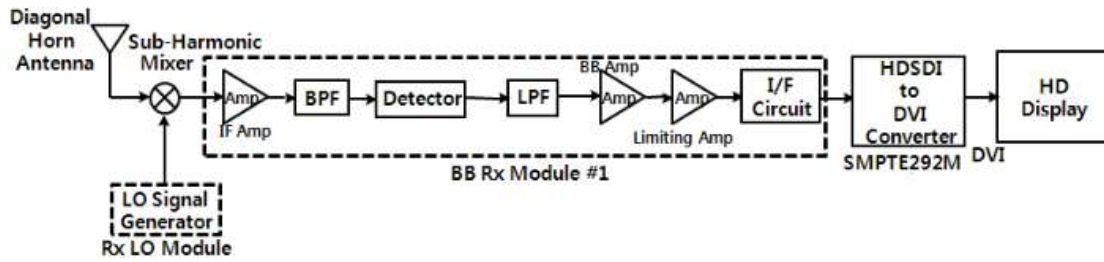
*정회원, 한국전자통신연구원(ETRI)

접수일자 2010.9.3 수정일자 2010.11.10

게재확정일자 2010.12.15



(a) 240 GHz 테라헤르츠 송신기



(b) 헤테로다인 수신기

그림 1. 240 GHz 테라헤르츠 송수신기
Fig. 1. THz transceiver at 240 GHz

예측된다. 테라헤르츠 대역은 기존의 밀리미터파에서 가용한 통신 대역폭 보다 훨씬 넓은 대역폭을 제공해 줄 수 있어 아주 매력적이다.

본 논문은 캐리어 주파수가 240 GHz인 THz 대역 송수신기에 있어서, 서브하모닉 믹서의 LO 주파수로 사용되는 120 GHz 국부발진기의 설계 및 제작에 관한 것이다. 설계한 테라헤르츠 송신기는 쇼트키 다이오드 서브하모닉(sub-harmonic) 믹서를 이용하여 1.485 Gbps 신호를 ASK 변조하는 구조이다. 수신기는 송신기와 같은 서브하모닉 믹서를 이용하여 IF 대역에서 Envelope Detector로 수신하는 헤테로다인 방식을 사용하였다. LO 모듈은 50 MHz 기준 신호를 이용하여 40 GHz PLL(Phase-Locked Loop)을 구성하고 PLL 출력은 40 GHz 대역통과필터, 3 체배기(frequency tripler)와 120 GHz 대역통과필터에 의해 120 GHz, 4.5 mW 신호를 출력한다.

II. 비디오 전송 시스템 구조

240 GHz 송수신기의 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1(a)의 송신기는 BB(BaseBand) Tx 모듈, ASK 변조기(ASK modulator), 서브하모닉 믹서 및 혼 안테나와 Tx

LO 모듈로 구성된다. BB Tx 모듈에서 출력된 1.485 Gbps 비디오 신호는 ASK 변조기의 IF LO 주파수인 5.94 GHz(1.485 Gbps×4)와 혼합되어 서브하모닉 믹서의 IF 포트에 전달되고, Tx LO 모듈은 120 GHz에서 4.5 mW의 전력을 서브하모닉 믹서의 LO 포트에 공급한다. 서브하모닉 믹서의 RF 출력은 혼 안테나에 직접 연결되어 캐리어 주파수가 240 GHz인 ASK 변조신호를 전파한다. 그림 1(b)는 헤테로다인 방식의 수신기로서 송신기의 서브하모닉 믹서와 혼 안테나는 동일하다. Rx LO 모듈의 출력 주파수는 120 GHz이며, IF 주파수는 5.94 GHz이다. IF(BB Rx) 모듈의 구성은 IF 증폭기, 대역통과필터, Envelope Detector, 저역통과필터, Limiting 증폭기로 구성되고, Limiting 증폭기의 출력은 비디오 컨버터에서 모니터로 전송된다.

III. 국부발진기의 구조

그림 2에는 120 GHz 국부발진기의 블록도를 나타내었다. 국부발진기의 최종 출력이 그림 1의 서브하모닉 믹서 LO 포트에 입력된다. 국부발진기의 구성 중 3 체배기는 VDI(Virginia Diode Inc., USA)^[6]의 상용 부품을 이용하였고, 40 GHz PLL 모듈과 120 GHz 대역통과필터는

설계 및 제작을 하였다.

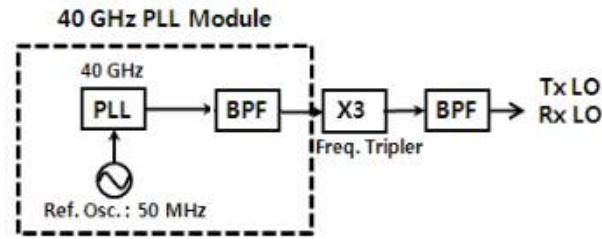


그림 2. 120 GHz 국부발진기의 블록도
Fig. 2. Block diagram of 120 GHz local oscillator

40 GHz PLL 모듈의 구성은 그림 3과 같다. 50 MHz 기준 발진기(reference oscillator)를 이용하여 2.5 GHz PLL을 동작시키고, PLL의 2.5 GHz 신호를 4 체배하면 10 GHz가 된다. 이것을 증폭기와 4 체배기를 이용하면 40 GHz 신호가 발생한다.

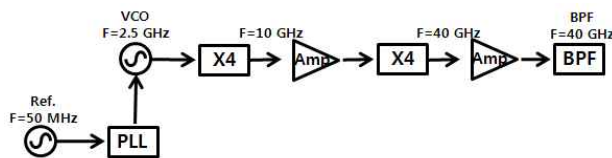


그림 3. 40 GHz PLL 모듈의 블록도
Fig. 3. Block diagram of 40 GHz PLL Module

IV. 국부발진기의 구성 부품 시뮬레이션

1. 2.5 GHz PLL

그림 4는 2.5 GHz PLL의 ADS 회로도이다. 50 MHz 기준 발진기를 사용하고, ADS의 VCO Divide by N 블록과 Phase Frequency Detector(PFD) 블록을 이용하였다.

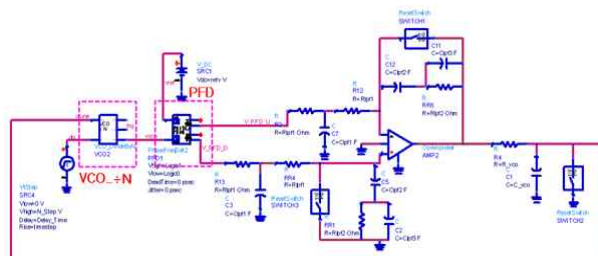


그림 4. 2.5 GHz PLL의 ADS 회로도
Fig. 4. ADS schematic of 2.5 GHz PLL

그림 5는 2.5 GHz PLL의 시뮬레이션 결과이다. 2.5

GHz의 주파수에서 18.5 μ sec 후에 Locking이 되었다.

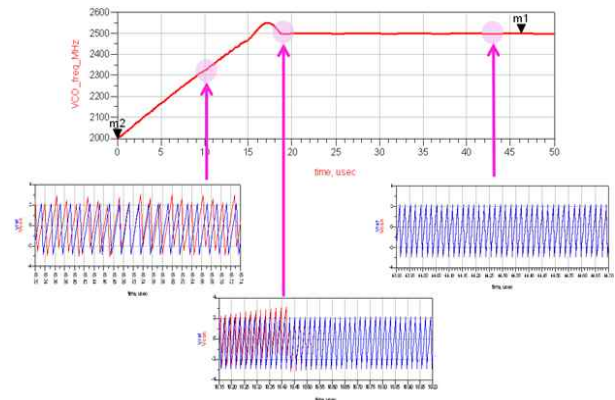
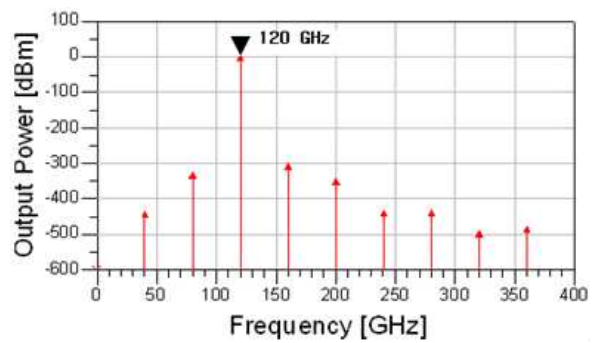


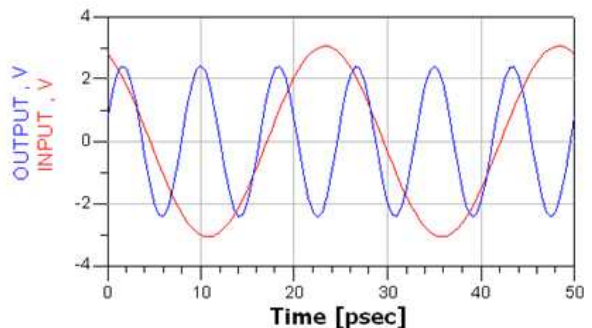
그림 5. 2.5 GHz PLL의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of 2.5 GHz PLL

2. Frequency Tripler

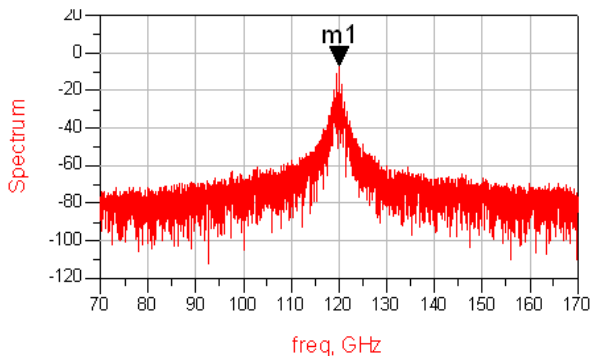
그림 6은 3 체배기의 시뮬레이션 결과이다. 3 체배기에 PLL 모듈의 주파수인 40 GHz를 인가하면 그림 6(a)와 같이 3배되는 주파수에서 신호의 크기가 가장 큰 톤(tone)이 발생되었다. 그림 6(b)의 입력과 출력 웨이브폼에서 입력 1주기 동안 출력이 3주기가 발생하였고, 그림 6(c)는 3 체배기의 출력 파워 스펙트럼의 결과이다.



(a) 출력 고조파 스펙트럼



(b) 입출력 웨이브폼



(c) 출력 파워 스펙트럼

그림 6. 3 체배기의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of frequency tripler

3. 120 GHz BPF

120 GHz 대역통과필터는 공진기 타입의 5단 필터이며, 시뮬레이션 결과 중심주파수는 120 GHz, 3 dB 대역폭은 6 GHz로 계산되었다. 그림 7에는 S 파라미터 결과를 나타내었다.

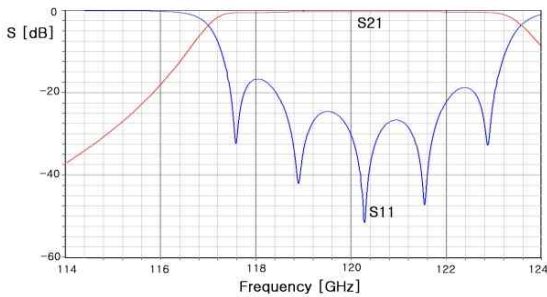


그림 7. 시뮬레이션된 120 GHz BPF의 S 파라미터
Fig. 7. S parameters of simulated 120 GHz BPF

V. 제작 및 측정

1. 40 GHz PLL

그림 8은 제작된 40 GHz PLL이다. 구성은 2.5 GHz PLL로부터 4 체배기 2개를 이용하여 40 GHz 소스를 만든다. 40 GHz 소스를 대역통과필터와 연결하여 주신호(main signal) 주변의 하모닉(harmonic) 또는 잡음(noise)을 억제시킨다. 그림 9는 40 GHz PLL의 시험 장치 구성도이다. 40 GHz PLL에 30 dB 고정형 감쇠기(attenuator)를 연결하고, 그 출력 단에는 스펙트럼 분석기를 연결하여 스펙트럼(spectrum) 및 위상 잡음(phase

noise)을 측정하였다. 40 GHz PLL의 파워 소모는 +5 V, 650 mA이며, 2.5 GHz PLL의 모니터링을 위한 단자는 50 Ω으로 중단되었다.



그림 8. 제작된 40 GHz PLL
Fig. 8. Fabricated 40 GHz PLL

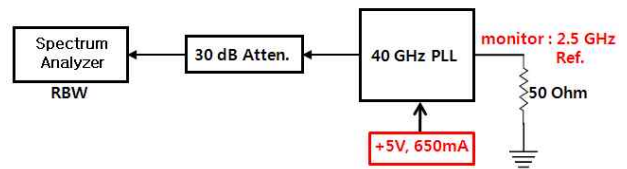
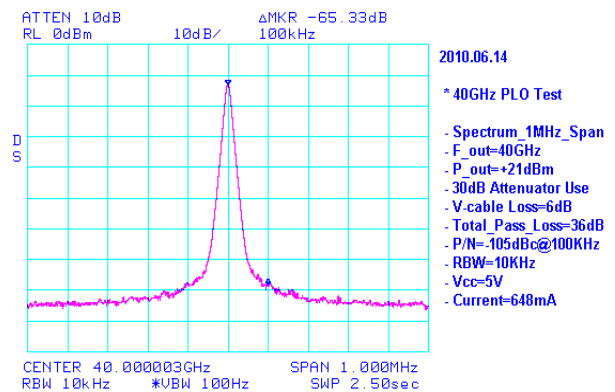


그림 9. 40 GHz PLL의 시험 장치 구성도
Fig. 9. Test set-up of 40 GHz PLL

그림 10은 측정된 스펙트럼과 위상잡음의 결과이다. 측정 결과 40 GHz PLL의 위상잡음은 10 kHz offset 주파수에서 -88 dBc/Hz의 성능을 보였고, 100 kHz offset 주파수에서 -105 dBc/Hz의 성능을 보였다.



$$\text{Phase Noise} = \Delta\text{MKR} + 10\log(\text{RBW})$$

그림 10. 100 kHz offset 주파수에서 40 GHz PLL의 위상잡음 측정결과
Fig. 10. Measurement results of 40 GHz PLL phase noise at the 100 kHz offset frequency

2. Frequency Tripler

그림 11은 VDI의 3 체배기이며, 모델은 WR6.5×3, 출력 주파수의 범위는 110~170 GHz이다. 효율은 120 GHz 주파수에서 4~4.5 %이다.

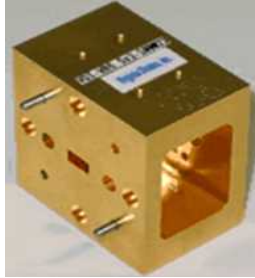


그림 11. VDI의 3 체배기
Fig. 11. Frequency tripler of VDI

3. 120 GHz BPF

그림 12는 제작된 120 GHz 대역통과필터이고, 시뮬레이션 결과를 토대로 가공하였으며 도체 손실을 줄이기 위해 알루미늄을 이용하여 가공하고 은(silver)으로 코팅하였다.

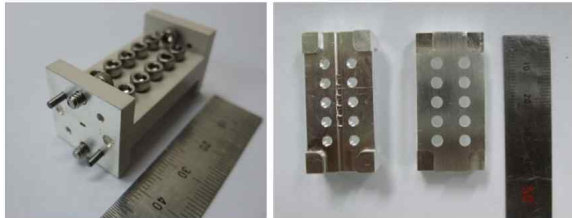
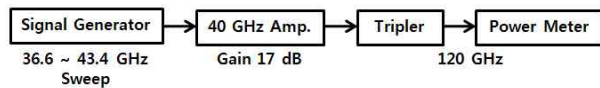
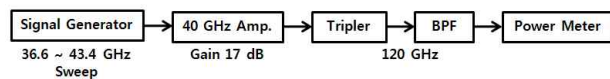


그림 12. 제작된 120 GHz BPF
Fig. 12. Fabricated 120 GHz BPF

대역통과필터의 측정은 D밴드(110 - 170 GHz)용 네트워크 분석기를 가용할 수 없어 파워미터(power meter)를 이용하여 측정하였다. 측정에 사용된 파워미터는 ELVA-1사의 DPM 파워미터이다.



(a) 측정 모듈의 Calibration 블록도



(b) 대역통과필터의 측정 블록도

그림 13. 120 GHz BPF의 측정
Fig. 13. Measurement of 120 GHz BPF

그림 13은 파워미터를 이용한 측정 방법의 블록도이다. 측정 방법은 주파수를 sweep하고, 그림 13(a)와 같이 대역통과필터를 제외한 부품의 파워를 측정 후 그림 13(b)와 같이 대역통과필터를 포함하여 파워를 측정하여 두 데이터 값의 차를 계산한다. 그 측정결과를 그림 14에 나타내었다.

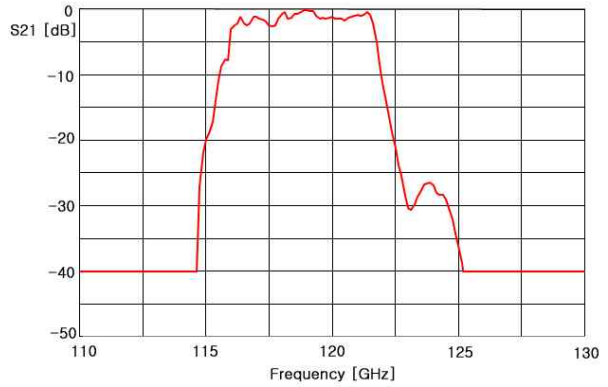


그림 14. 대역통과필터의 측정 결과
Fig. 14. Measurement result of BPF

측정 결과 중심주파수 119 GHz, 대역폭 5 GHz, 삽입 손실은 1.3 dB로 측정되었다. 시뮬레이션보다 중심주파수가 1 GHz 하향되었고, 대역폭도 1 GHz 줄어들었다. 이는 필터의 크기가 매우 작아 가공 시 발생한 오차에 의한 것이다. 대역통과필터의 중심주파수가 1 GHz 하향되었지만, 120 GHz 주파수의 통과 대역의 삽입손실이 크지 않아 국부발진기에 적용 가능할 것으로 생각된다.

4. 국부발진기의 최종 파워 측정

그림 15에는 40 GHz PLL, 3 체배기, 120 GHz 대역통과필터가 결합된 120 GHz 국부발진기를 나타내었다. 40 GHz PLL 모듈은 19 dBm의 파워가 측정되었고, 3 체배기를 결합한 파워는 7.9 dBm이 측정되었으며, 120 GHz 대역통과필터를 연결하면 필터의 삽입손실로 인해 최종 파워는 6.6 dBm이 측정되었다.



그림 15. 결합된 120 GHz 국부발진기
Fig. 15. Assembled 120 GHz local oscillator

VI. 결 론

본 논문에서는 240 GHz 대역의 THz 송수신기에 있어서 서브하모닉 믹서의 LO 신호로 사용되는 120 GHz 국부발진기를 설계 및 제작하였다. 120 GHz 국부발진기는 40 GHz PLL, 40 GHz 대역통과필터, 3 체배기, 120 GHz 대역통과필터로 구성되어 있다. 각각의 부품에 대해 시뮬레이션을 하고, 측정 결과와 비교하였다. 측정결과 40 GHz PLL의 위상잡음은 100 kHz offset 주파수에서 -105 dBc/Hz의 성능을 보였고, 120 GHz의 대역통과필터의 중심주파수 119 GHz, 대역폭 5 GHz 일 때 삽입손실은 1.3 dB로 측정되었다. 제작된 120 GHz 국부발진기의 최종 출력은 6.6 dBm이었다.

참 고 문 헌

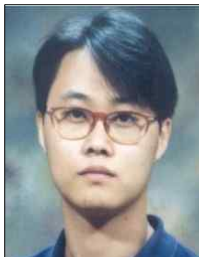
[1] Peter H. Siegel, "Terahertz Technology", IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. 50, No. 3, pp.910-928, March

2002.
 [2] S. Cherry, "Edholm's Law of Bandwidth", IEEE Spectrum, Vol. 41, No. 7, p.50, July 2004.
 [3] H. J. Song, et al., "8 Gbit/s wireless data transmission at 250 GHz", Electronics Letters 22nd, Vol. 45, No. 22, pp.121-1122, Oct. 2009.
 [4] C. Jastrow, et al., "300 GHz transmission system", Electronics Letters 31st, Vol. 44, No. 3, pp.213-214, January 2008.
 [5] Akihiko Hirata, et al, "120 GHz Band Millimeter Wave Photonic Wireless Link for 10-Gb/s Data Transmission", IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. 54, No. 5, pp.1937-1944, May 2006.
 [6] www.virginiadiodes.com

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002056, 테라헤르츠 대역 전파환경 및 무선전송 플랫폼 기술연구].

저자 소개

이 원 희(정회원)



- 2000년 건국대학교 전자정보통신공학과, 공학석사
- 2003년 건국대학교 전자정보통신공학과, 공학박사
- 1998년~1999년 건국대학교 전자정보통신공학과, 교육조교
- 1999년 전자부품연구원 고주파재료연구센터, 위촉연구원

• 2000년~2002년 대림대학, 한라대학교, 외래교수
 • 2002년~2008년 LG전자 디지털어플라이언스연구소, 책임연구원
 • 2008년~2009년 포항공과대학교 전자전기공학과, Post Doc.
 • 2009년~현재 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부, 선임연구원
 <주관심분야 : 유전체 삽입 공진기 필드 해석, 마이크로스트립 안테나 및 공진기 필터 설계, EMI/EMC, 통신 채널 모델링, 테라헤르츠 RF/IF 시스템 설계>

정 태 진(정회원)



- 1979년 충남대학교 전자공학과, 공학사
- 1979년~1983년 국방과학연구소, 연구원
- 1983년~1984년 대우중공업(주), 대리
- 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과, 공학석사

• 2004년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과, 공학박사
 • 1984년~현재 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부, 책임연구원
 <주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 RF/IF 시스템 설계, 통신시스템 기저대역(BB) 모델 설계>