

## 28 GHz 상향 및 하향변환기 설계기술 개발

나채호<sup>\*</sup>, 우동식, 김강욱  
경북대학교 전자전기컴퓨터학부

### Design Technology Development of the 28 GHz Up and Down Converters

Chae-ho Na, Dong-sik Woo, Kang Wook Kim  
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

#### Abstract

This paper introduces a new design and fabrication technology of 28 GHz low-cost up and down converter modules for digital microwave radios. The design of the converter module is based on unit circuit blocks, which are to be characterized using a special test fixture. Based on the cascade analysis of the module, the 28 GHz up and down converter modules have been designed and implemented. The measured module performance agrees with the cascade analysis. New components such as a tapped edge-coupled filter and a new Ka-band waveguide-to-microstrip transition, which are less sensitive to fabrication tolerances, have been used in the module implementation.

Key words : up converter, down converter, transceiver, unit circuit block, test fixture

#### I. 서론

최근 무선 통신을 통한 광대역 서비스의 요구가 급증함에 따라 밀리미터파 및 마이크로파 대역의 높은 주파수를 이용하는 광대역 통신 시스템에 대한 수요가 증가되고 있다. 이에 따라 LMDS(Local Multipoint Distribution System)나 디지털 마이크로파 라디오(DMR: digital microwave radios)들이 많은 관심을 끌고 있다.[1-4] 이러한 마이크로파 무선시스템은 기존의 통신 기반구조에 비해서 시스템을 단기간 내에 설치 가능 할 뿐만 아니라 유지 및 보수비용이 저렴하다는 장점이 있다.

마이크로파/밀리미터파 광대역 통신 시스템의 입력 및 출력단은 송수신기로 구성되어 있다. 따라서, 광대역 마이크로파 통신시스템의 성공적인 구현을 위해 저렴하면서도 고성능의 마이크로파/밀리미터파 가입자용 송수신기의 양산이 필수적이다.[1] 하지만, 마이크로파나 밀리미터파 같은 높은 주파수에서는 회로소자의 상호작용으로 인해 일반적으로 쓰이고 있는 표면장착(SMT) 기술을 적용할 수 없다. 또한, 통상적으로 밀리미터파 회로는 회로의 소자가 비싸고, 회로의 제작 기술이 복잡해 완성된 모듈의 가격은 상당히 비싸게 된다. 따라서, 저가의 밀리미터파

모듈 개발 기술은 광대역 통신 시스템을 구축하기 위해서 필수적으로 해결해야 할 과제이다.

본 논문에서는 28 GHz 상향 및 하향변환기의 설계와 제작에 관한 기법을 설명하고 있다. 이 상향 및 하향변환기는 저가의 고주파용 상용기판을 사용하고, 회로소자로서 MMIC나 패키징된 소자들을 사용하였다. 또한 상/하향변환기 모듈을 설계할 때, 단위 회로블록의 개념을 도입하여 특성이 측정된 각 단위 회로를 연결하여 전체 모듈을 설계함으로써 모듈설계를 간편하게 하였다.[5] 또한, 새로운 마이크로 스트립-도파관 전이구조를 개발하여 적용하였고,[6] 제작 오차에 덜 민감한 여파기를 설계/제작하였다.[7]

#### II. 28 GHz 상향 및 하향변환기의

##### 설계 및 제작

본 논문에서는 일반적인 LMDS용 송수신기에 쓰일 수 있는 상향 및 하향변환기를 단위회로 블록을 사용하여 주어진 규격에 대해 체계적으로 모듈을 구현하는 기술 개발에 중점을 두었다. 본 연구에서 목표로 하는 상향 및 하향변환기의 규격을 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. 상향 및 하향변환기 설계 규격

Parameters	Units	Up-Converter	Down-Converter
RF 주파수	GHz	28 ~ 28.5	29 ~ 29.5
IF 주파수	GHz	2	2
LO 체배수		2	2
Operating Temperature	°C	-30 to 80	-30 to 80
RF Power Output	dBm	27 min.	n/a
Gain	dB	29	30
Gain 변화량	dB	±2 max.	±2 max.
S11	dB	10 min.	10 min.
S22	dB	10 min.	10 min.
OP1dB	dBm	27 min.	-20 min. (Input)
PIP3	dBm	33 min. (Output)	-12 min. (Input)
Noise Figure	dB	n/a	5
Image Reject Ratio	dB	n/a	20 min.
Stability		Unconditionally stable	
DC Bias (+)		+8V, 1 A max.	+5V, 0.2 A max.
DC Bias (-)		-5V, 0.1A max	-5V, 0.03 A max.

표 1의 규격을 근거로 하여, 시스템 분석 및 설계용 소프트웨어인 SysCalc를 사용하여 28 GHz 상향변환기의 cascade analysis한 결과를 그림 1과 그림 2에서 보여주고 있다. 설계된 상향변환기는 상용으로 구매가 가능한 MMIC와 패키징된 소자로 구성되어 있다. 또한 온도가 높아짐에 따라 각 MMIC 증폭기 스테이지 당 약 -0.012 dB/°C 가량 전력이득이 감소한다는 것을 고려하여, 온도에 따라 감쇄지수가 변화하는 EMC사의 Thermopad<sup>®</sup>를 삽입하여 -30°C에서 +80°C까지 작동할 수 있도록 설계하였다.[5] 그림 2에서 보여주고 있는 analysis결과를 보면 Thermopad<sup>®</sup>의 역할로 인해 전력이득의 변화량이 -30°C에서 +80°C까지 1 dB 이하로 유지되고, OP1dB와 OIP3의 변화량도 2 dB이하로 유지되는 것을 알 수 있다.

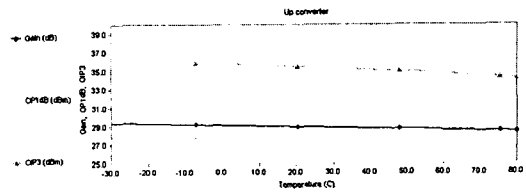


그림 2. 상향변환기 cascade analysis 결과

본 연구에서는 밀리미터파 상향 및 하향변환기의 기판으로 고주파용 기판인 Rogers사의 10 mil Duroid<sup>®</sup> 5880을 사용하였다. Duroid<sup>®</sup> 5880은 비유전율이 2.2이고, tan δ = 0.0009로서 밀리미터파에서도 손실이 적기 때문에 본 연구에 적합한 기판이다.

표 1을 근거로 상향변환기와 같은 방법으로 하향변환기를 cascade analysis하고 그 결과를 그림 3과 그림 4에서 보여주고 있다. 분석 결과 전력이득의 변화량이 -30°C에서 +80°C까지 1 dB 이하로 유지되는 것을 알 수 있다.

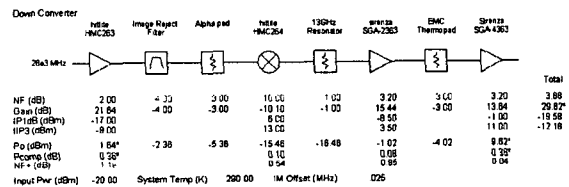


그림 3. 28 GHz 하향변환기의 cascade analysis

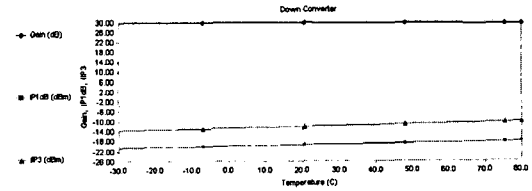


그림 4. 하향변환기 cascade analysis 결과

그림 1과 3을 근거로 하여 그림 5에서 보여주는 것과 같이 각각의 단위회로 블록을 설계하고, LPKF C-60 milling machine을 이용하여 각 회로 블록을 제작하였다.

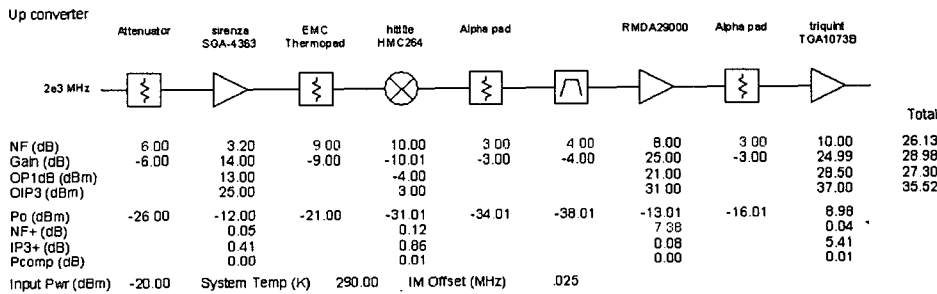


그림 5. 28 GHz 상향변환기의 cascade analysis

제작된 단위회로 블록을 측정하기 위하여 특별한 구조의 Test Fixture가 필요하다. 그림 6에서 새롭게 제작한 Test Fixture를 보여주고 있다. 제작된 Test Fixture는 3개의 입/출력 단자와 4개의 Bias단이 있기 때문에 각종 증폭기 및 혼합기를 측정할 수 있다. 각각의 단위회로 블록을 연결할 때 특성 저하를 최소화하기 위해서 각 단위회로 블록사이의 간격이 100  $\mu\text{m}$  (4 mil)이하가 되어야 한다. 따라서 Test Fixture와 Housing제작 시 정밀 가공이 요구된다. 제작된 Test Fixture에 50 $\Omega$ 의 마이크로스트립 전송선을 연결하였을 때 측정결과를 그림 7에 나타내었다.

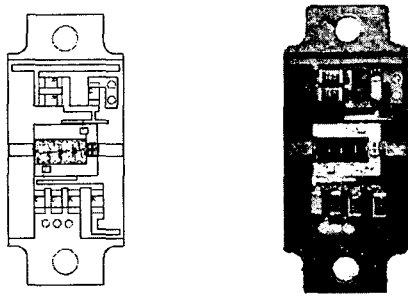


그림 5. 단위회로의 설계 및 제작(RMDA29000)

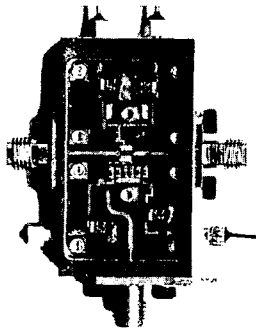


그림 6. 제작된 Test Fixture

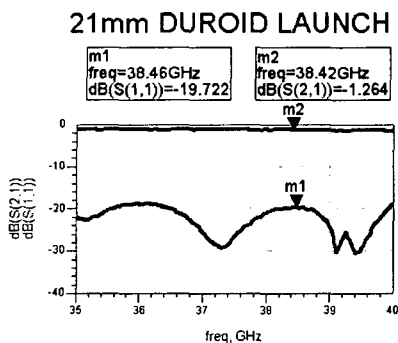


그림 7. Test Fixture의 특성

측정결과 전송선과 connector를 포함한 전체 손실은 1.3 dB로 측정되었지만, 길이가 827 mil인 connector사이의 전송선에 의한 손실 0.3 dB를 감안한다면 각 connector의 손실은 약 0.5 dB이다.

상향 및 하향변환기에 사용 될 RF 여파기를 그림 8과 같이 Tapped edge coupled filter로 제작하였다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 coupled line filter는 첫째단과 끝단의 coupled line 사이의 폭이 좁아 제작 시 오차가 많고 제작하기에도 어려움이 있다. 하지만, Tap을 이용한 구조는 첫째단과 끝단에서 발생하는 문제점을 제거하여 제작 시 오차에 덜 민감하다. 제작된 RF 여파기는 connector의 손실을 고려한다면 삽입손실이 3 dB이고, 반사손실 10 dB이상으로 그림 9에서 보여주고 있다.

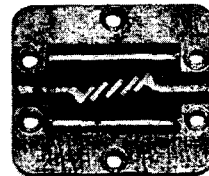


그림 8. 28 GHz RF 여파기

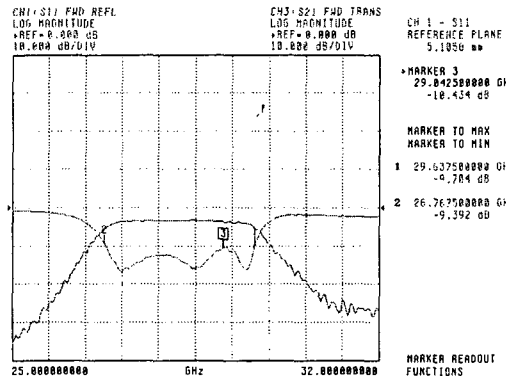


그림 9. 28 GHz RF 여파기 측정 결과

### III. 측정 결과

각각의 단위회로 블록을 그림 6과 같이 Test Fixture에 삽입하여 회로의 특성을 측정하였다. 이때 단위회로 블록과 Test Fixture사이에는 15 mil Gold ribbon을 silver epoxy를 이용하여 연결하였고, 이 때 각 연결 부위에 의한 손실은 약 1.5 dB이다. 새롭게 제작된 Test Fixture를 이용하여 각각의 단위회로 블록의 특성을 측정하고 그 결과를 그림으로 나타내었다.

그림 10은 Anritsu 37369C VNA를 이용하여 Hittite사의 HMC263 저잡음증폭기(LNA)의 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 30 GHz에서 전력이득이 14.5 dB로

측정되었다. 하지만 LNA 후단에 3 dB 감쇄기가 연결되어 있고, 약 4 dB인 Test Fixture의 손실을 고려한다면 실질적인 저잡음증폭기(LNA)의 이득은 21.5 dB로서 manufacture의 데이터와 유사하다.

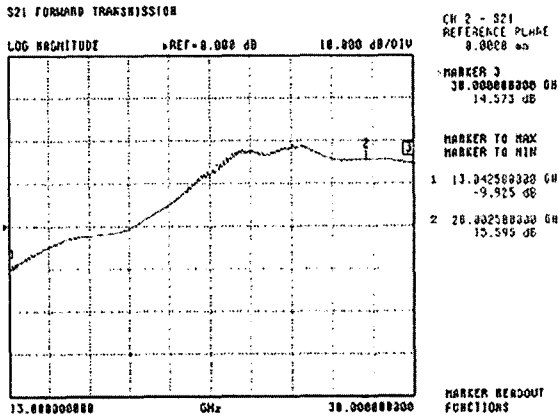


그림 10. HMC263 LNA의 전력이득 특성

그림 11은 Raytheon RMWD 29000 구동증폭기(DA)의 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 28 ~ 28.5 GHz에서 전력이득이 16 ~ 17.5 dB로 측정되었다. 하지만, 구동증폭기 후단에 3 dB 감쇄기가 연결되어 제작되었고 Test Fixture의 손실을 고려하면 실제 전력이득은 23 ~ 24.5 dB로 manufacture 데이터의 이득 값과 유사함을 알 수 있다.

다음으로 Triquint TGA1073 전력증폭기의 전력이득 특성을 그림 12에서 보여주고 있다. 측정 시 전력증폭기의 고출력에 의한 장비 피해를 방지하기 위하여 전력증폭기의 출력단에 20 dB 감쇄기를 연결하여 측정하였다. 측정 결과 28 GHz에서 전력이득이 7 dB로 측정되었다. 하지만, Test-Fixture의 손실과 감쇄기의 영향을 고려하면 실제 전력이득은 29 dB임을 알 수 있다.

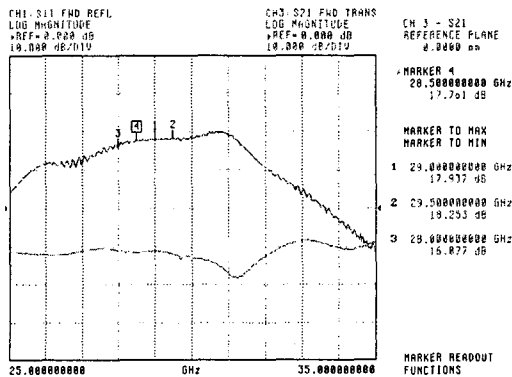


그림 11. RMWD29000 DA의 전력이득 특성

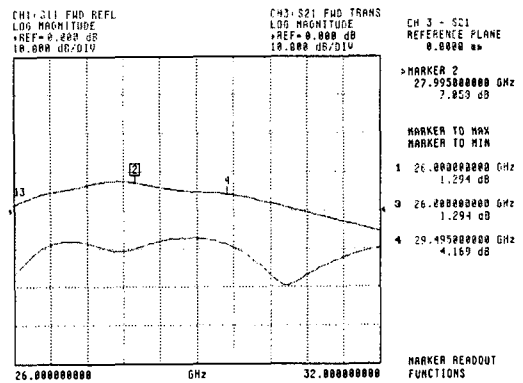


그림 12. TGA1073 PA의 전력이득 특성

개별적으로 측정된 각각의 단위회로 블록을 cascade로 연결하여 상향변환기를 제작하고 그것을 그림 13에서 보여주고 있다. 각각의 단위회로 블록을 15 mil ribbon과 silver epoxy로 연결하여 측정하였다. 또한, RF 여파기로서 tapped coupled-line filter를 사용하고 RF 출력단으로 새롭게 개발된 마이크로스트립에서 도파관으로의 전이구조를[6] 사용하였다. 상향변환기의 측정결과 -20 dBm의 입력전력에 대해서 출력전력이 -23 dBm으로 측정되었다. 하지만, 출력단에 20 dB 감쇄기가 연결되어 있고 동축선에 의한 손실 3dB를 고려한다면 실제 출력전력은 0 dBm이고, 이때 전력이득은 20 dB이다. 이는 그림 1에서 보여진 분석결과와는 9 dB의 차이를 보인다. 이는 각각의 단위회로를 연결하기 위한 5개의 연결부위의 손실 7.5 dB, 마이크로스트립-도파관 전이구조와 도파관에서 동축선 사이의 adapter에 의한 손실이 약 1 dB가 된다. 단위회로 블록을 연결한 형태로서 단일의 RF기판을 사용하여 회로를 제작하면 단위회로 블록의 연결에서 생기는 손실을 제거할 수 있다. 따라서, 실질적인 상향변환기의 전력이득은 28.5 dB로 예상할 수 있고 이는 그림 1의 분석 결과와 유사하다.

상향변환기와 같은 방법으로 단위회로 블록을 이용하여 하향변환기의 대략적인 특성을 파악하고, 그림 14와 같이 단위회로 블록을 하나의 회로로 만들어 특성을 측정하여 측정결과를 그림 15에서 보여주고 있다. 측정 결과 제작된 하향변환기의 전력이득은 29 dB이다. 하지만, RF단과 전이구조 사이의 ribbon에 의한 연결부위와 전이구조 및 adapter에 의한 손실을 감안한다면 하향변환기의 전력이득은 31 dB로 예상할 수 있고 이는 그림 3에서 보여주고 있는 분석 값과 거의 일치된 결과를 보인다. 또한, IP1dB는 -19 dBm으로 표 1에서 목표로 한 -20 dBm을 충족하고 있다.

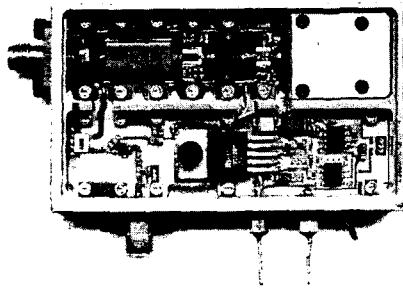


그림 13. 제작된 상향변환기

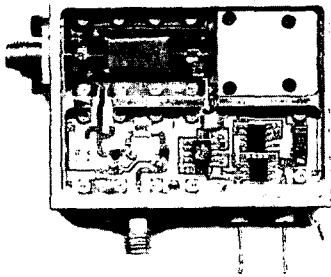


그림 14. 제작된 하향변환기

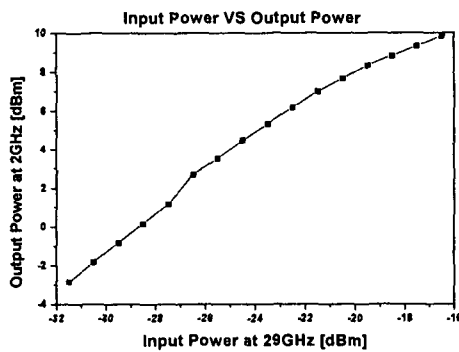


그림 15. 하향변환기의 전력이득 측정 결과

#### IV. 결론

본 논문에서는 단위 회로블록을 이용하여 28 GHz 상향변환기 및 하향변환기를 설계하는 기법을 제시하였다. 각각의 단위 회로블록은 새롭게 제작된 Test Fixture를 통해 특성을 파악할 수 있었다. 이 단위회로 블록들은 전송선에 정합되어있기 때문에 회로블록간의 상호 연결로서 상향변환기 및 하향변환기 모듈을 쉽게 설계할 수 있었다. 또한 이 모듈에는 새롭게 개발된 마이크로스트립-도파관 전이구조와 Tapped edge-coupled filter를 채택하여 제작시 생기는 오차에 덜 민감하게 하였다. 상용으로 많이 사용되고 있는 각 소자들의 특성을 미리 파악하

여 저장하여 둔다면, 새로운 규격에 대한 상향 및 하향 변환기를 쉽고 빠르게 구현할 수 있을 것이다.

#### Acknowledgement

"이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음." (KRF-2002-003-D002000)

#### 참고 문헌

- [1] A. Nordbotten, "LMDS Systems and their application," *IEEE Communication Magazine*, pp. 150-154, June 2000.
- [2] German Torregrosa-Penalva *et al.*, "Low Cost Ka band Transmitter Modules for LMDS Equipment Mass Production," *IEEE MTT-S*, pp. 953-6, 2001
- [3] T. Nguyen, *et al.*, "A Compact K-band Transceiver Module for Broadband Wireless and LMDS Applications", *IEEE MTT-S*, pp. 49-52, 2001
- [4] Smith, "LMDS", McGraw-Hill, 2002
- [5] 김 강욱, 나 채호, "광대역 통신을 위한 40GHz 상향변환기 설계 기법", *마이크로파 및 전파통신 학술대회 논문집*, pp. 361-364, May 2003
- [6] Kang W. Kim, Chae Ho Na, "Characterizations of Moisture-Sealed Waveguide-to-Microstrip Transitions for Ka+band Transceivers," *Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 2(2), pp. 105-111, 2002
- [7] Chen Y. Ho, John H. Weidman, "Improved Design of Parallel Coupled Line Filters with Tapped Input/Output", *Microwave Journal*, Oct 1983