

# 디지털위성중계기용 SHF 대역 상향주파수 변환장치 설계 및 구현에 대한 연구

김기중

## The Study on the Design and Implementation of SHF band Upconverter of Digital Satellite Communication

Ki-Jung Kim

### 요약

본 연구는 디지털위성중계기용 SHF 대역 상향주파수변환장치의 설계 및 구현에 대해 기술하였다. SHF 대역 상향주파수변환장치는 PLDRO(: Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator) 및 주파수변환기로 구현된다. 주파수변환기 내부에는 불요파 최소화를 위하여 사전 EM 시뮬레이션을 통하여 설계한 Microstrip BPF(: Band Pass Filter) 및 LPF(: Low Pass Filter)로 구현하였다. 제작 전 우주환경에 대한 사전 시뮬레이션 분석을 통하여 장비 오동작 가능성을 최소화하였으며, 발사환경 시 발생하는 진동 및 우주 방사능에 의한 TID(: Total Ionizing Dose)에 대한 시뮬레이션을 통해 신뢰성 있는 상향주파수변환장치를 설계하였으며, 제작 후 주요 성능지표에 대해 만족여부 확인 및 사전 성능 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

### ABSTRACT

This study describes the design and implementation of SHF band Upconverter Digital Satellite Communication. The SHF band Upconverter unit consists of PLDRO and frequency converter. In frequency converter, microstrip BPF and LPF designed through the pre EM simulation are implemented to minimize the unwanted spurious in frequency converter. Through the pre-simulation analysis of space environment, the possibility of and minimized about the malfunction of equipment and we designed a reliable SHF band Upconverter through simulation for a TID according to the vibration generated during the launch and space radiation environment, and compared pre-simulation of main performance results to test results about main performances of SHF band Upconverter after production.

### 키워드

Digital Satellite Communication, Upconverter, Space Environment, Simulation  
디지털 위성 중계기, 상향 주파수 변환 장치, 우주 환경, 성능 분석

### 1. 서론

기존 아날로그 위성 중계기에서 점차 위성중계기에

대해서도 디지털화가 가속화되고 있다. 아날로그 위성 중계기는 강우에 대한 신호의 감쇄 등의 단점을 가지고 있다. 아날로그 위성중계기에 비해 디지털위성중계

\* 교신저자 : 한화시스템 HW팀(레이다)  
• 접수일 : 2017. 01. 13  
• 수정완료일 : 2017. 04. 13  
• 게재확정일 : 2017. 04. 24

• Received : Jan. 13, 2017, Revised : Apr. 13, 2017, Accepted : Apr. 24, 2017  
• Corresponding Author : Ki-Jung Kim  
HW Team(Radar) Hanwha System  
Email : kj08.kim@hanwha.com

기는 자동 및 수동 이득 조정 기능 보유, 부채널 스위칭기능, 방송기능 등을 가지고 있어서 위성 통신 효율을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 디지털위성중계기의 개념도는 그림 1과 같다. 안테나로부터 미약한 신호의 SHF 대역의 신호를 수신하여 입력필터(IFA : Input Filter Assembly)로 필터링되고, 미약한 신호를 상향주파수변환장치(LNA : Low Noise Amplifier)로 증폭을 시켜준다. 그리고 입력다중화기(IMUX : Input Multiplexer)가 각 주파수 대역을 필터링하고 하향주파수변환기(Down Converter)를 통해 L대역으로 하향 변환한다. 그 신호는 디지털채널증폭부(Digital Channel Amplifier)를 사용하여 디지털신호처리를 하고, 다시 L대역을 상향주파수변환기(Up Converter)를 거쳐 SHF대역으로 변환한다. 상향 변환된 신호를 다시 TWTA:(Traveling Wave Tube Amplifier)를 통해 고출력증폭을 하며, 채널별로 필터링 하기 위하여 출력다중화기(OMUX : Output Multiplexer)를 거쳐서 안테나(ANT : Antenna)로 송출하게 된다[1-2].

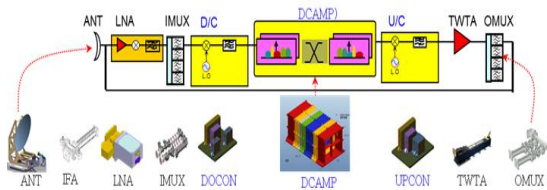


그림 1. 디지털위성중계기 개요  
Fig. 1 Overview of the digital satellite communication

본 논문에는 디지털위성중계기에서 지상국으로 Downlink 역할을 하기 위하여 주파수를 SHF 대역으로 상향주파수 변환하는 상향주파수변환장치의 설계, 구현 및 우주환경 분석결과에 대해 기술한다.

## II. 본 론

### 2.1 디지털위성중계기용 상향주파수변환장치 개요

위성디지털중계기용 상향주파수변환장치는 지상 단말에서 송신하는 신호를 다시 지상 단말로 보내기 위하여 L대역을 SHF대역으로 상향주파수 변환하는 역할을 한다. 본 위성디지털중계기용 상향주파수변환장

치의 이득은 운용대역인 SHF대역에서 10dB 이상, PLDRO의 위상잡음 특성은 1KHz에서  $-85\text{dBc/Hz}$ 를 만족하도록 설계 및 구현하였다. 또한 우주환경분석(진동, 열진공, 방사능)을 통하여 우주환경에 운용에 문제없음을 사전 검증하였다.

상향주파수변환장치는 그림 2와 같이 입력 신호의 L 대역 신호를 SHF 대역으로 주파수 변환하도록 동작하는 주파수변환기와 LO신호를 발생시키는 PLDRO로 구성된다. 또한 주파수변환기와 PLDRO에 전원을 공급해주는 전원공급기로 구성되어 있다. 상향주파수변환장치의 외부형상은 그림 2와 같다.

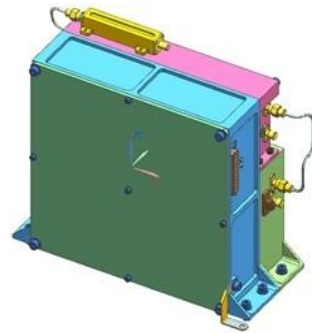


그림 2. 상향주파수변환장치의 외부형상  
Fig. 2 External figure of upconverter

상향주파수변환장치의 주파수변환기의 내부구조는 그림 3과 같다.

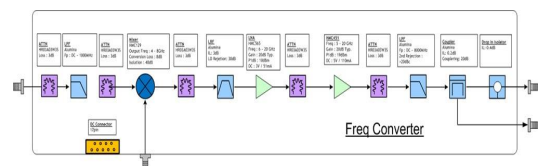


그림 3. 상향주파수변환장치의 주파수 변환기 구조  
Fig. 3 The configuration of frequency converter of upconverter

그림 4는 주파수변환기의 LO를 발생시켜주는 PLDRO의 구조를 보여준다. DRO에서 발진하는 고주파 신호를 부궤환 루프로 주파수를 고정시켜 안정적인 LO 주파수를 주파수변환기에 공급한다[3-4].

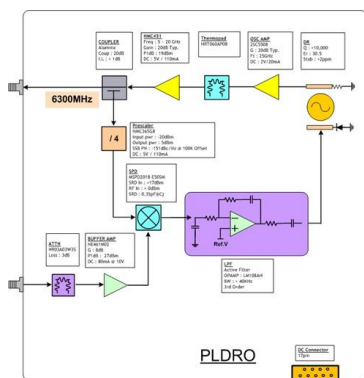


그림 4. 상향주파수변환장치의 PLDR0 구조  
Fig. 4 The configuration of PLDR0 of upconverter

## 2.2 디지털위성중계기용 상향주파수변환장치의 설계 및 시뮬레이션 결과

디지털위성중계기용 상향주파수변환장치는 전 부품에 대해서 정지궤도 급에서 사용가능한 부품으로 적용하였다. 주파수변환기의 세부구조를 소개하면, SHF 대역 MMIC 증폭 소자 및 L대역 증폭소자, L대역을 SHF대역으로 변환시켜주는 Mixer 소자와 Mixer 소자 뒤에 LO신호 및 불요파를 차단시켜주는 BPF, LPF로 구성되어 있다. 온도에 따른 보상을 위한 Thermopad와 구성된다. 뒷단에는 Alumina 기판모듈을 사용하여 2차 하모닉 성분을 감소시켜주는 Microstrip LPF로 구성되고, 입력단 및 종단에는 아이솔레이터 소자를 출력입피턴스 매칭에 의한 영향성을 최소화하게끔 구성하였다. 상향주파수변환장치의 PCB Layout 구성은 그림 5와 같다.

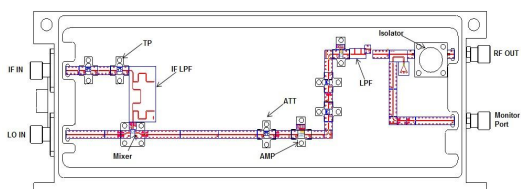


그림 5. 상향주파수변환장치의 주파수변환기의 PCB 배치 구조

Fig. 5 PCB layout of frequency converter of upconverter

제작 전 상향주파수변환장치의 주요 블록에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림의 Budget Simulation

결과와 같이 이득 10dB 이상, P1dB는 15dBm 이상으로 설계 및 분석된다.

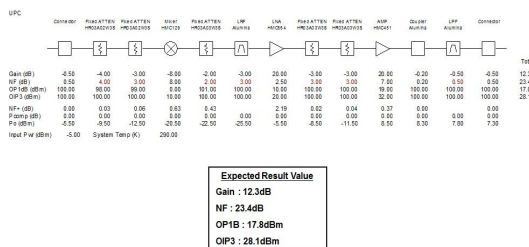


그림 6. 상향주파수변환장치의 Budget 시뮬레이션  
Fig. 6 Budget simulation of upconverter

상향주파수변환장치의 PLDR0는 주요 역할을 하는 PLDR0 모듈의 시뮬레이션 회로는 다음과 같다.

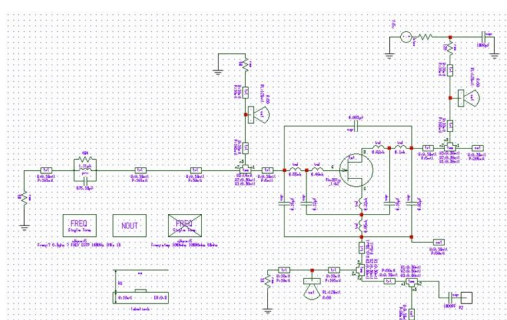


그림 7. PLDR0 시뮬레이션 회로  
Fig. 7 Simulation circuit of PLDR0

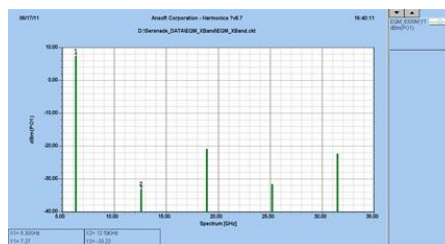


그림 8. PLDR0의 하모닉 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation result of harmonics of PLDR0

PLDR0의 출력레벨은 7.2dBm으로 분석되며, 2차 하모닉은 -33dBc로 분석되며, 위상잡음 특성은 1KHz 떨어진 지점에서 약 -85dBc/Hz로 분석된다.

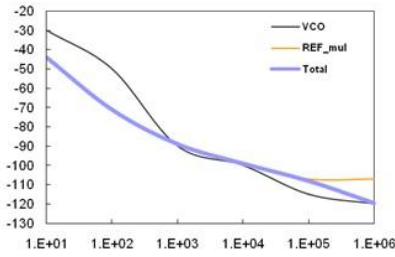


그림 9. PLDRO의 위상잡음 시뮬레이션 결과  
Fig. 9 Simulation result of phase noise of PLDRO

그림 10은 Mixer 다음단에 LO신호를 차단시켜주는 BPF Module을 시뮬레이션 하였다. Microstrip BPF는 Alumina 10mil 두께의 기판을 사용하고 HairPin 구조의 차수 5단으로 구성하였다. Microstrip BPF의 선로 형태 및 시뮬레이션 회로는 다음과 같다.

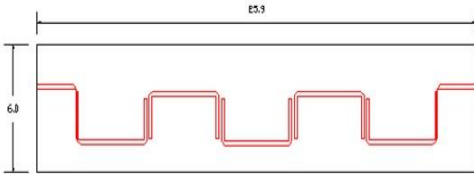


그림 10. Microstrip BPF(HairPin)의 PCB 배치 구조  
Fig. 10 Configuration of PCB layout of microstrip BPF(HairPin)

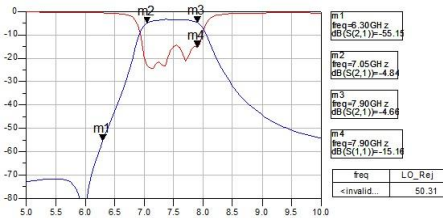


그림 11. Microstrip BPF의 시뮬레이션 결과  
Fig. 11 Simulation result of microstrip LPF

고주파까지의 특성을 분석하기 위하여 ADS의 Momentum 분석을 사용하였다. 시뮬레이션 분석결과는 다음과 같으며, LO신호에 대해서 -50dBc 이상의 감소특성을 보여준다[5-6].

### 2.3 상향주파수변환장치 제작 및 주요 특성시험 결과

상향주파수변환장치의 주파수 변환기에 대한 주요 블록의 조립 사진은 다음과 같다.

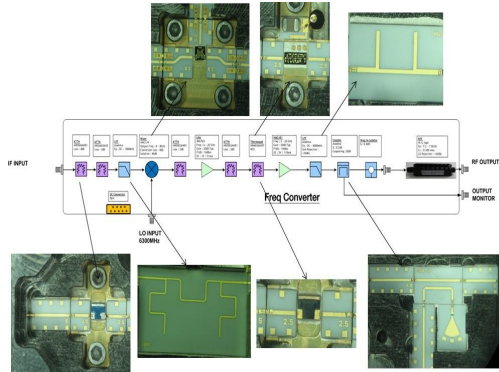


그림 12. 상향주파수변환장치의 주파수변환기 조립사진

Fig. 12 Assembly picture of frequency converter of upconverter

BPF 및 LPF 모듈은 제작 후 사전 측정을 위하여 모듈화 구성하고 주파수변환기 내부 주 PCB에 레이저웰딩으로 선로를 연결하였다.

그림 13은 상향주파수변환장치의 이득 특성 위상잡음 특성 시험결과를 나타낸다. 상향주파수변환장치의 입력에 -10dBm을 인가하였을 때 0.94dBm으로 이득 10dB 규격을 만족한다.

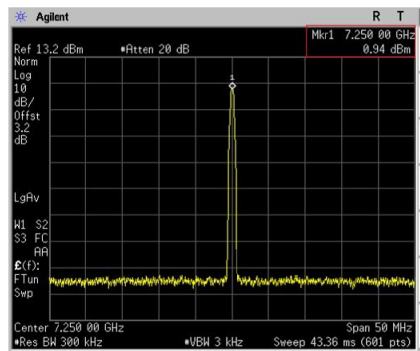


그림 13. 상향주파수변환장치의 출력 및 이득 시험결과

Fig. 13 Output level and gain test result of upconverter

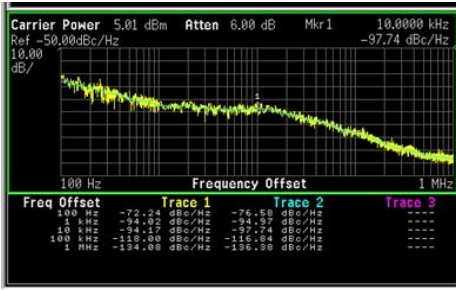


그림 14. 위상잡음 시험결과  
Fig. 14 Phase noise test result

상향주파수변환장치의 위상잡음 특성은 1KHz에서 -94dBc/Hz로 목표 규격 대비 약 9dB 좋게 측정된다.

### 2.4 디지털채널증폭부용 상향주파수변환장치의 우주환경 시뮬레이션 분석

우주환경은 태양에 의한 방사능이 존재하는 환경과 태양표면의 흑점 등의 분출로 인한 전자회로에 입플스 잡음 등의 발생 및 공기가 존재하지 않아 공기에 의한 열대류가 존재하지 않는 혹독한 환경이다.

발사환경 및 우주환경에 대한 생존성을 사전 검증하기 위하여 본 논문에서는 진동, 열진공, 우주방사능에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.

우선 발사환경의 디지털채널증폭부용 상향주파수변환장치에 대한 진동 모달분석(Modal Analysis)는 그림 15와 같다.

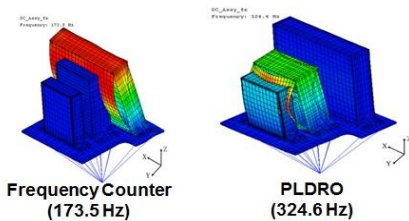
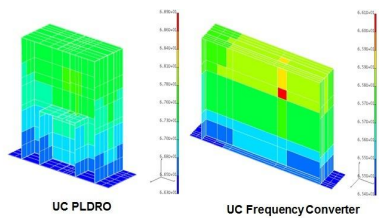


그림 15. 상향주파수변환장치의 진동분석  
Fig. 15 Vibration analysis of upconverter

진동주파수가 주파수변환기는 173.5Hz, PLDRO는 324.6Hz로 시스템 요구사항인 150Hz이상이므로 진동조건을 만족한다.

그림 16은 진공상태의 최대부하를 소모하는 상황에서의 상향주파수변환장치의 열분석을 보여준다.

우주에서는 공기가 없는 구조로 Bottom Plate만 최대운용온도로 가열되어 장비에 전도를 통해 온도가 상승된다. 또한 장비내부의 발열소자의 열도 단지 전도로만 Bottom Plate로 열전달되는 구조이다[7-8]. Bottom Plate는 최대 운용온도 요구사항인 +65℃로 분석을 하였다. 이때 상향주파수변환장치 외관의 가장 높은 온도는 +68.9℃로 수렴하여 외기 온도대비 약 4.9도 정도 상승하여 수렴되는 현상을 보인다. 내부 부품최대 온도는 +85℃ 이상의 부품을 적용하여 안정적으로 운용이 가능할 것으로 판단된다.



Module	Temperature [°C]	
	Min. Temperature	Max. Temperature
UC PLDRO	+66.3	+68.9
UC Frequency Converter	+65.4	+66.1

그림 16. 상향주파수변환장치의 열분석  
Fig. 16 Thermal analysis of low noise amplifier

그림 17은 방사능 분석으로 상향주파수변환장치의 외부에 0.8mm의 금속으로 둘러싸였으며, 상향주파수변환장치 기구 하우징 두께 3mm 상태를 가정하고 분석을 하였다[9-10].

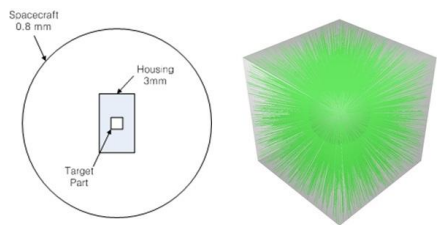


그림 17. 상향주파수변환장치의 방사능분석  
Fig. 17 Radiation analysis of upconverter

방사능 피폭량 분석결과는 상향주파수변환장치의 증폭부는 86.76krad-Si로 분석되고, 사전 상향주파수변환장치의 능동 소자는 모두 100krad-Si로 적용하였기 때문에 문제가 없음을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문은 디지털위성중계기용 상향주파수변환장치 설계 및 구현에 대해 기술하였다. 설계 단계에서 구성품 요구사항에 대해 상향주파수변환장치의 이득 및 P1dB와 위상잡음규격에 대해 설계에 반영하였으며, 우주환경운용에 대비하여 사전 시뮬레이션을 통하여 회로에 반영하였고, 열해석 및 진동해석, 방사능해석을 통하여 사전 검증을 진행하였다.

제작 전 상향주파수변환장치의 이득 및 P1dB, 위상잡음에 대한 시뮬레이션 분석을 진행하고 제작 후 주요 성능지표에 대해서 시험을 통하여 요구사항 만족 여부 및 시뮬레이션 분석결과와 비교하였다. 본 연구 과정 및 결과를 바탕으로 고신뢰성이 요구되는 정지궤도 및 저궤도 위성용 상향주파수변환장치 개발에 활용할 예정이다.

### References

[1] K. Kim and H. Seo, "The system performance analysis and implementation of Digital Communication Satellite," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 9, 2014, pp. 439-445.

[2] K. Kim and H. Ko, "The Optimization using PCB EM interpretation of GEO satellite's L Band Converter," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1219-1226.

[3] M. Go, "Design and Fabrication of wideband low-noise amplification stage for COMINT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 221-226.

[4] S. Kim and Y. Rhee, "Implementation of Ku-band Low Noise Block for Global Multi-Band Digital Satellite Broadcasting," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 1, 2016, pp. 23-28.

[5] M. Go, H. Shin, and H. Park, "A RF Module for

digital terrestrial and multi-standard reception," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 1, no. 1, 2006, pp. 16-27.

[6] K. Kim and B. Kim, "The Study on the design and implementation of a X-band 25W Power Amplifier Module using GaAs MMIC," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 11, 2014, pp. 1311-1316.

[7] M. AcCullar, "Thermal vacuum testing: test preparation," In *Proc. Thermal Fluids Anal. Workshop (TFAWS 2010)*, League City, USA, Aug. 2010.

[8] S. Kim, H. Seo, J. You, E. Han, T. Kim, H. Kim, and H. Huh, "Development and verification of thermal analysis model for thermal vacuum test of satellite components," *J. Korean Soc. Aeronautical Space Sci. (KSAS)*, vol. 38, no. 8, Aug. 2010, pp. 842-847.

[9] ESA Requirements and Standards Division, "Space Engineering: Testing," *European Space Agency ECSS-E-10-03A*, Feb. 2002.

[10] T. Kim, J. Park, and Y. Rhee, "Implementation of Ka-band Low Noise Block Converter For Satellite," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 2, 2008, pp. 93-100.

### 저자 소개

#### 김기중(Ki-Jung Kim)



2002년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
 2005년 ~ 2008년 LG이노텍 전자 부품연구소  
 2008년 인하대학교 대학원 전자통신공학 졸업(공학석사)

2008년~현재 한화탈레스 HW팀(레이더) 재직중

※ 관심분야 : 다기능위상배열레이더, 위성중계기, 데이터링크