Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 23-28, vol. 11, no. 1, Jan. 31 2016, t. 69, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2016.11.1.23

# 글로벌형 다중대역 디지털 위성방송용 Ku-대역 LNB 개발

김선효* · 이영철**

# Implementation of Ku-band Low Noise Block for Global Multi-Band Digital Satellite Broadcasting

Sun Hyo Kim* · Young-Chul Rhee**

요 약

본 논문에서는 범 세계적으로 이용가능한 다중대역 디지털 위성방송용 Ku-대역 하향변환기를 설계하였다. 설계된 다중대역 하향변환기는 광대역 잡음 정합에 의한 3단 저 잡음 증폭회로와 10.7~12.75GHz의 입력신호를 VCO-PLL에 의한 저 위상잡음을 나타내는 4개의 국부발진주파수(9.75, 10, 10.75 및 11.3GHz)를 형성하고 디지털 제어에 의하여 4개대역 중 하나의 IF 주파수 채널을 선택할 수 있도록 설계하였다. 개발한 저 잡음 하향 변환기의 전체 변환이득 64dB, 저 잡음 증폭기의 잡음지수는 0.7dB, 출력신호의 P1dB는 15dBm, band 1반송주파수 9.75GHz에서 위상잡음은 - 73dBc@100Hz를 나타내었다. 설계한 다중대역 디지털 위성방송용 하향변환기(LNB)는 국제적으로 이동하는 선박 등의 위성방송용으로 사용가능하다.

ABSTRACT

In this paper, a Multi-Band Ku-band down converter was designed for reception of multi-band digital satellite broadcasting. The Multi-band low-nose down converter was designed to form four local oscillator frequencies (9.75, 10, 10.75 and 11.3GHz) representing a low phase noise due to VCO-PLL with respect to input signals of 10.7 to 12.75GHz and 3-stage low noise amplifier circuit by broadband noise matching, and to select an one band of intermediate frequency (IF) channels by digital control. The developed low-noise downconverter exhibited the full conversion gain of 64dB, and the noise figure of low-noise amplifier was 0.7dB, the P1dB of output signal 15dBm, and the phase noise - 73dBc@100Hz at the band 1 carrier frequency of 9.75GHz. The low noise block downconverter (LNB) for receiving four-band digital satellite broadcasting designed in this paper can be used for satellite broadcasting of vessels navigating international waters.

키워드

Ku-band, LNB, Multi-band, Downconverter
Ku 대역, LNB, 다중 대역, 하향 변환기

## I. 서 론

최근 광대역 전송의 발전과 함께 차세대 영상 기기에 대한 관심이 증가하면서 위성 방송(Satellite Broadcasting)에서도 고화질 영상에 대한 수요가 증가하고 있으며 범세계적으로는 디지털 TV 영상기술

* 경남대학교 정보통신공학과(micropt@kyungna,.ac.kr)
** 교신저자: 이 영 철
· 접 수 일 : 2015. 12. 02
· 수정완료일 : 2016. 01. 13
· 게재확정일 : 2016. 01. 24
· Received : Dec. 02, 2015, Revised : Jan. 13, 2016, Accepted : Jan. 24, 2016
· Corresponding Author : Young-Chul Rhee
Dept. of Information and Communication Engineering , Kyungnam University,
Email : micropt@kyungnam.ac.kr

의 발전과 함께 기존의 위성방송시스템에서 HD급 이상의 광대역 디지털 영상TV의 전송에 따라 Ku-대역 위성방송수신기의 설계 방향은 10.7~12.75GHz의 주파수 대역을 수신하여 셋톱박스(set-up box)에서 각 국가의 인공위성이 점유해 있는 대역을 선택할 수 있도록 범세계적으로 광대역 수신용 셋톱박스를 개발하고 있다[1-3].

본 논문에서는 글로벌형에 적합하도록 4개의 채널을 하나의 LNB로 수용하는 글로벌형 Ku-대역 광대역 저 잡음 하향변환기를 설계하고자 한다. 위성 통신 방송용 수신기 RF단은 위성으로부터 낮은 신호를 증폭시켜 수신기로 신호를 증폭시켜 출력하고 외부의 높은 신호에 의한 간섭을 최소화 하여야 된다. 이러한 특성을 만족하기 위해서는 고감도 특성을 나타내어 대기중의 감쇄특성을 고려하여 넓은 동적 범위는 갖는 특성이 요구되며 이와 관련된 설계방법이 연구되고 있다[4]. 본 연구에서는 저 잡음 LNB의 설계에서 광대역 저 잡음 증폭기는 잡음 정합기법[5-6]을 적용하고 각 모듈의 잡음지수와 이득관계를 최적화시켰다. 4개의 채널[7-8]에 맞는 IF 출력신호로 변환시키기 위하여 4개의 국부발진 주파수 VCO/PLL에 의한 국부발진 신호를 디지털 제어에 의하여 조정하도록 설계하여 우수한 위상잡음 특성을 나타내고 경제성이 있으며 글로벌형 고화질 디지털 위성방송(DBS) 수신기에 적용 가능함을 제시하고자 한다.

## II. 광대역 위성방송용 저 잡음 하향변환기 설계 및 제작

글로벌형 위성방송 수신기는 Ku-대역 디지털 위성방송신호를 수신하여 안테나로 수신된 10.7~12.75GHz의 신호는 매우 미약하여 수신감도 개선을 위하여 주파수 하향변환기는 대기 중의 손실과 동축케이블의 손실을 고려하여 권장되는 저 잡음 하향 변환기의 기술규격은 1.0dB의 잡음지수(noise figure)의 특성을 갖는 저 잡음 증폭기와 IF단에서의 60dB의 모듈이득 및 10GHz에서 -95dBc/Hz@100KHz의 위상잡음을 만족시켜야 하며 10.7~12.75GHz의 대역폭 2.05GHz 대역에서 +5dBm 이상의 P1dB 등으로 주어진다[9-12].

저 잡음 증폭단을 설계할 때, 첫째단의 저 잡음 증폭기는 잡음지수를 가장 최소화시키고 수신된 영상신호를 적정하게 증폭하는 기능을 나타내도록 잡음 정합법을 적용하였으며 저 잡음 증폭 3단을 설계할 때 잡음지수는 저 잡음 증폭기의 동작범위(dynamic range)와 밀접한 관계가 있으므로 증폭소자의 동작범위(dynamic range)를 고려[6]하고 하향변환기의 전체이득, 선형성, 소비전력, 경제성 등 절충조건(Trade-off) 관계를 고려하여 주어진 설계조건에 맞추어 각 모듈별 설계 요건을 최적화하였다.

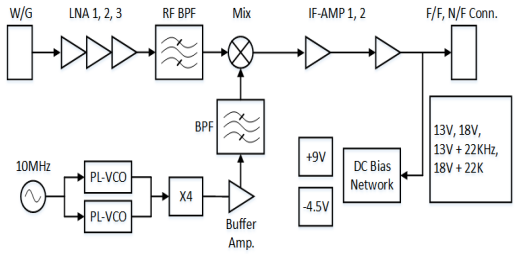



그림 1. Ku-대역 광대역 저잡음 하향변환기 구성도
Fig. 1 Blockdiagram of Ku-band wideband low Noise down-converter

저 잡음 증폭부 설계에서 2, 3단에서는 최대 30dB 이상의 이득을 나타내도록 임피던스를 정합시킨 저 잡음 증폭단은 저 잡음 HEMT 부품을 이용하여 3단으로 구성하여 이득 30dB이상, 잡음 지수 0.7dB이하, 반사계수 10±1dB이하로 선정하였다. 주파수 변환 믹서는 다중대역 특성과 낮은 변환 손실을 갖는 부품을 사용하였으며 IF증폭기는 15dBm의 P1dB 특성을 갖는 증폭기를 선정하였으며 IF 대역통과 필터는 표면실장형 부품을 사용한 저역통과필터로 구성하였다. 국부발진은 발진주파수의 안정성을 높이기 위한 위상동기루프(PLL)를 이용하였다. 그림 2는 위상동기루프의 구성도를 보여준다. VCO는 DC 바이어스 전압을 가해주고 VCO 제어 전압을(V_tune) 가변해 주면 제어전압에 따른 출력 주파수가 변화하는 소자이다. 국부발진회로에서 네 가지 신호를 발생하기 위하여 두 개의 전압조정 발진기(VCO)와 사용하였다. 루프 필터는 저항과 커패시터를 이용하여 2단으로 설계하였다. 국부발진회로의 VCO 특성은 표 1와 같다. VCO1은 9.75GHz, 10GHz, VCO2는 10.75GHz, 11.3 GHz 국부

발진 신호이다. 표 2은 설계된 4-채널의 스위칭 모드와 출력 신호, 국부발진 신호를 표시하였다.

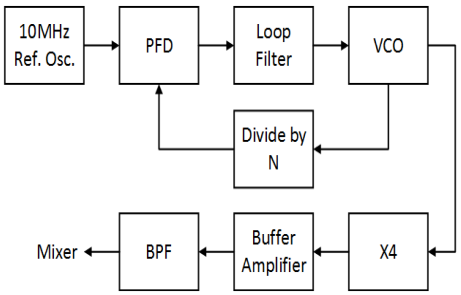



그림 2. PLL/VCPO 국부발진회로 구성도

Fig. 2 Blockdiagram of loacal oscillator with PLL/VCO

표 1. VCO 기술적 특성

Table 1. Technical specification of VCO

| standard | VCO 1 | VCO 2 | Remark |
|---|---|---|---|
| Output Frequency | 2400~2580 | 2630~2880 | MHz |
| Output signal strength | More than 4.0 | More than 4.0 | dBm |
| V_tune | 45 | 75 | MHz/V |
| Phase Noise @10Khz | 92.5 | 91.5 | dBc |
| @100kHz | 115.5 | 116.2 | dBc |

표 2. 4-채널 IF 주파수 대역 선택조건

Table 2. Choice conditions of 4-Ch IF frequency band

| Division | Switching Mode | | LO | IF frequency |
|---|---|---|---|---|
| band1 | 13V | – | 9.75GHz | 950~1950MHz |
| band2 | 13V | 22KHz | 10.00GHz | 950~1700MHz |
| band3 | 18V | – | 10.75GHz | 950~2000MHz |
| band4 | 18V | 22KHz | 11.30GHz | 950~1450MHz |

## III. 제작된 광대역 하향변환기의 시험 결과

설계 된 저 잡음 하향변환기 기판은 유전율 2.17, 두께 0.508mm인 테프론(TLX-9)을 사용하였으며 3단 저 잡음증폭 모듈에 대한 모의실험 한 결과는 그림 3과 같다. 마이크로파 프로그램 AWR에 의한 모의실험 결과 최대이득은 36.03dB, 최소이득은 34.44dB이었으며 이득 평탄도는 2dB이내, 잡음지수는 0.61dB의 결과를 얻었다. 그림 4는 설계한 VCO/PLL의 발진신호를 보여 주고 있으며 디지털 제어 신호에 의하여 4개의 국부발진신호를 발생하고 있음을 확인하였다. 그림 5는 국부발진 신호의 위상잡음 특성이며 -73.6 / -83.45 / -87.35 / -109.5 / -119.6 @100 Hz / 1KHz / 10KHz / 100KHz / 1MHz 특성을 갖는다. 그림 6은 Ku-대역 4-채널 광대역 저 잡음 하향변환모듈의 시제품을 보여주고 있다. 그림 6는 제작된 PCB기판에 부품을 실장한(SMD) 사진이며 입력 포는 WR-75 도파관 형태이다. 사용하고 있는 임피던스 75옴이 F-type Female 커넥터를 사용하였다. RF보드에는 저 잡음 증폭기, 마이크로 스트립라인으로 설계한 이미지 제거 필터, 주파수 변환기(Mixer), IF 증폭 및 대역통과필터 부분의 구성으로 되어 있다. 표 3는 일반적인 FEM 모듈과 제작된 다중대역 FEM 모듈의 특성을 비교 분석하였다.

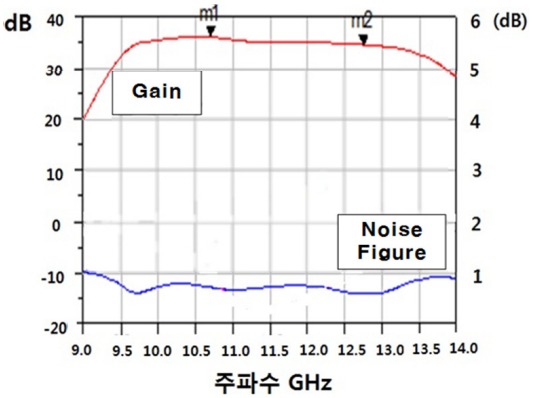



그림 3. Ku-대역 광대역 3단 저 잡음증폭모의실험

Fig. 3 Simulation of Ku-band wideband 3 stage low noise amplifier module

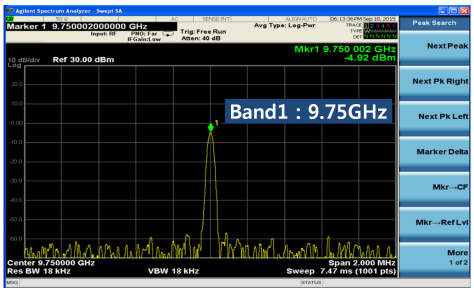



그림 4. VCO/PLL 국부발진신호
Fig. 4 Local oscillator signals of VCO/PLL

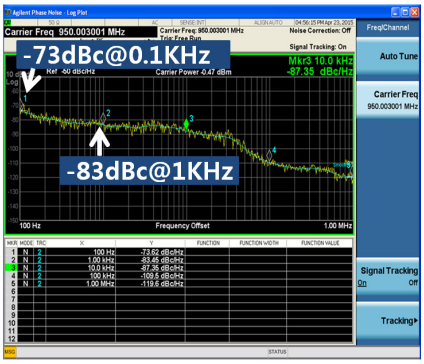



그림 5. 국부발진신호의 위상잡음
Fig. 5 Phase Noise of Local Oscillator

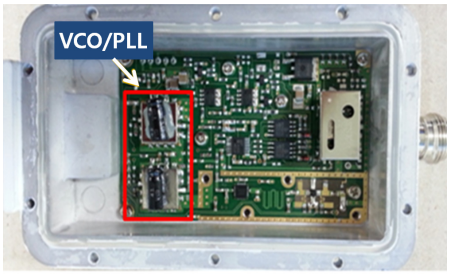



그림 6. 제작된 Ku-대역 4-채널 저 잡음 하향변환기
Fig. 6 Implementation of Ku-band 4-channel low noise down-converter

표 3. 제작된 FEM 모듈과 일반 FEM 모듈 비교 분석
Table 3. Comparision between conventional and designed Ku-band low noise down-converter

| Division | Unit | Existing Ku LNB module | Crafted modules |
|---|---|---|---|
| Input Frequency | GHz | 10.7~11.7 | 10.7~12.75 |
| IF Frequency | MHz | 950~1950 | 950~2000 |
| Local Oscillator | GHz | 10.75 | 9.75,10,10.75,11.3 |
| Total Gain | dB | 60 typ. | 59 ~ 61 |
| Noise Figure | dB | 0.80 | 0.72 |
| P1dB | dBm | +5.0 typ. | 17.5 |
| Phase Noise | | −60dBc@100Hz<br>−70dBc@1KHz<br>−80/dBc@10/K | −73dBc@100Hz<br>−83dBc@01K<br>−87dBc@10/K |

그림 7는 제작된 저 잡음 하향변환기의 전체 이득 및 잡음지수 측정결과이며, 이득은 약 64dB, 잡음지수는 약 0.7dB 이하 특성을 나타내었다. 그림 8는 하향변환기에서 고유하게 나타나는 이미지 신호가 대역통과 필터에 의해 억압관계를 보여 주고 있다.

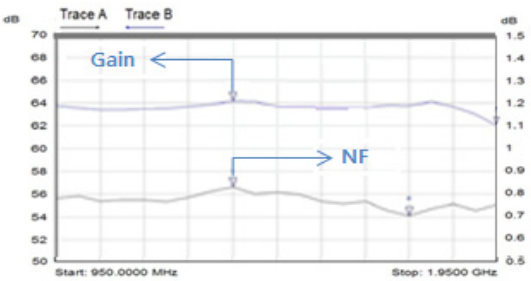



그림 7. Ku-대역 저 잡음 하향변환기의 이득 및 잡음 지수)
Fig. 7 Gain and Noise Figure of designed Ku-band low noise down-converter

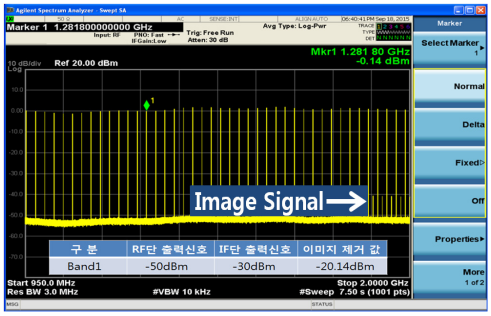



그림 8. 설계한 하향변환기의 이미지 신호

Fig. 8 Image signal of designed down-converter

## IV. 결 론

디지털 TV의 기술발전에 따라 고해상도를 나타내는 UHD급의 고화질의 영상정보를 전 세계에서 수신하기 위하여 다양한 형태의 디지털 위성 방송용 하향변환기가 개발되었으며 나라별 할당된 대역을 수용하기 위하여 4개의 국부발진 신호를 발생함으로서 하나의 LNB로 4개의 대역을 형성하도록 설계방안을 제시하였다.

본 논문에서는 저 잡음 HEMT와 전압 조정 발진기(VCO)를 이용하여 Ku-대역 다중대역 FEM 모듈을 설계 및 제작 하였다. 제작된 주파수 변환 장치는 이득 62~64dB 잡음지수 0.7~0.83dB으로 일반적인 Ku-대역의 주파수 변환 모듈보다 우수한 특성을 나타내었으며 P1dB는 15dBm이상을 보였으며 위상잡음은 -73dBc@100Hz, -83dBc@1KHz, -87dBc@10KHz, 109dBc@100KHz, -119dBc@1MHz 특성을 보였다. 제작된 모듈은 여러 개의 LNB가 사용되는 국제적으로 이동하는 글로벌 이동체의 디지털 위성방송 수신기를 하나의 모듈로 대체가 가능하기 때문에 설치의 용이함과 유지보수에 장점이 있으며 향 후 Ku-대역 위성 통신 수신 장치에 많이 사용될 것으로 기대된다.

## References


[1] Y. Suzuki, K. Tsuchida, Y. Matsusaki, A. Hashimoto, S. Tanaka, T. Ikeda, and N. Okumura, "Performance Evaluation of Transmission System for 8K Super Hi-Vision Satellite Broadcasting," *Symp. of Selected Areas in Communications: GC 14 SAC Satellite & Space Communication, Globecom*, Austin, TX, Dec. 2014, pp. 2889-2891.

[2] M. Hajjar and L. Hanzo, "A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques," *IEEE Communication and Survey & Tutorials*, vol. 15, no. 4, 2013, pp. 1924-1949

[3] S. Pandya and C. Patel, "Evolution of DVB-S2 from DVB-S For the Efficient Real Time Implementation," *IEEE Int. Conf. on Computational Intelligence and Computing Research*, Coimbatore, India, 2014, pp. 1-4.

[4] P. Wang, M. Chou, P. Su, Y. Chang, K. Chuang, and S. Hsu, "A fully integrated Ku-band down-converter front-end for DBS receivers," *2014 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. (IMS)*, Tampa, FL, June 2014, pp. 1-3.

[5] A. Harter, "LNA Matching Techniques for Optimizing Noise Figures," *RF design*, Feb. 2003, pp. 20-30.

[6] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers, Analysis & Design, 2nd ed*, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996

[7] S. Sayilir, W. Loke, J. Lee, H. Diamond, B. Epstein, D. L. Rhodes, and B. Jung, "A-90 dBm Sensitivity Wireless Transceiver Using VCO-PA-LNA-Switch-Modulator Co-Design for Low Power Insect-Based Wireless Sensor Networks," *IEEE J. of Solid State Circuits*, vol. 49, no. 4, Apr. 2014, pp. 996-1006.

[8] G. Bent, P. Hek, R. Dijk, and F. Vliet, "Four-channal Ku-band downconverter MMIC," *2010 European Microwave Conf. (EuMC)*, Paris, France, Sept. 2010, pp. 1074-1077.

[9] ETSI, "Satellite Earth Station and System(: SES);TeleVision Receiver Only(: TVRO) Satellite Earth Station Operating in 11/12GHz Frequency Bands," *Technical Report*, European Telecommunication Standard *300 784*, July 1997.

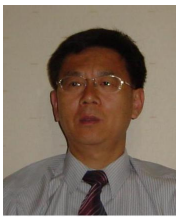
[10] G. Patrice and T. Olivier "Impact of the packaging Technology on a SiGe : C, Ku-band

Low Noise Converter for Satellite Reception," *Proc. of the 43rd European Microwave Conf.* (EuMA), Nuremberg, Germany, Oct. 2014, pp. 219-222.

[11] G. Patrice and T. Olivier, "Impact of packaging technology on a SiGe:C Ku-band low noise converter for satellite reception," *European Microwave Conference(EuMC)*, Nuremberg, Germany, Oct. 2013, pp. 219-222.

[12] S. Shawn, W. Pingyi, S. Pocheng, C. Minchih, C. Yincheng, and C. Dachiang, "Design of Ku/Ka band down-converter front-end for digital broadcast satellite receivers," *IEEE Int. Wireless Symp. (IWS)*, Shenzhen, China, Apr. 2015, pp. 1-4.

## 저자 소개



**김선효(Seon-Hyo Kim)**

1995년 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 창원캠퍼스 스마트전기전자과 교수

※ 관심분야: 초고주파 통신

**이영철(Young-Chul Rhee)**

1981년 ~ 현재 : 경남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야: 마이크로파 능동회로 응용, RF power Amplifier, 무선통신시스템