

Ka-대역 UHD 위성방송용 저 잡음 하향변환기의 선형성 분석

목광윤* · 이영철**

The Linearity Analysis of Low Noise Down-Converter for
Ka-band UHD Satellite-broadcasting

Gwang-Yun Mok* · Young-Chul Rhee**

요 약

본 논문에서는 20GHz 이상의 Ka-대역 위성링크에서 대기 중의 감쇠가 심하므로 높은 품질의 영상신호를 수신하기 위하여 최저 잡음지수를 나타내는 하향변환기의 RF-전단부를 제시하였다. 또한 RF-전단부의 CDR, SFDR 및 OIP3을 버짓 분석에 의하여 높은 동적영역을 나타내는 파라미터 값과 선형성을 분석하였다. 설계된 Ka-대역 하향변환기의 전체이득은 61.8dB, 잡음지수는 1.05dB로 매우 우수한 특성 나타내었으며, 설계 제작된 하향변환기는 우수한 선형성을 요구하는 UHD 급의 고화질 영상전송용 Ka-대역 위성방송 하향변환기에 적용할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we suggested that a RF-front module of down-converter that represents the lowest noise figure to receive high quality video signals because the attenuation occurs in the atmosphere over 20GHz. By budget analysis of CDR, SFDR and CIP3 of RF-FEM, we also analyzed the parameters and linearity that presents high dynamic range. The total gain of designed Ka-band down-converter is 61.8dB and noise figure is 1.05dB, so gain and noise figures show excellent properties. In the future, the designed RF-FEM will be applied to the Ka-band satellite down-converter for UHD-class video transmission.

키워드

High Dynamic Range, LNA, Mixer, Attenuation
넓은 동적 범위, 저 잡음 증폭기, 혼합기, 감쇠

1. 서 론

디지털-TV의 대형화에 따라 영상신호는 HD에서 4K 또는 8K 화소의 UHD(Ultra High Definition)급

의 차세대 실감 멀티미디어방송기술로서 발전하고 있으며, 이러한 4K 이상의 UHD급 고화질 영상신호는 무선 및 유선방송을 통하여 일반 가입자에게 전송되고 있다[1-2].

* 경남대학교 정보통신공학과

** 교신저자 : 경남대학교 정보통신학과

• 접수일 : 2017. 02. 24

• 수정완료일 : 2017. 04. 13

• 게재확정일 : 2017. 04. 24

• Received : Feb. 24, 2017, Revised : Apr. 13, 2017, Accepted : Apr. 24, 2017

• Corresponding Author : Gwang-Yun Mok

Dept. of Information & Communication Engineering, Kyungnam University,

Email : mky419@naver.com

그러나 UHD 영상신호를 압축하여 전송할 경우, 4K-UHD TV 영상은 현재 케이블과 지상파 방송에서 6MHz 단위의 물리계층을 한 채널 기준으로 하므로 고화질 영상신호를 전송하면 기존의 ATSC보다 더 높은 C/N 값이 필요하므로 HFC망 기반의 케이블 방송에서는 대용량의 데이터를 보내기 위하여 채널 결합 등의 방안을 채택하고 있다[2]. 이와 같은 단점을 극복하는 방안으로 광섬유를 이용한 기가인터넷 망이 유력하나 이 방법은 국내외에서 한정된 트렁크 망(Trunk Network)으로 FTTH(Fiber To The Home) 기반 기가망의 적용을 고려할 때, 대규모 설치 및 공사가 예상되므로 제한적이다. 이러한 문제점을 고려하여 난시청지역을 위한 유일한 방안은 위성방송에 의한 고화질 차세대 UHD-위성방송시스템이며[3-4], 일본에서 이미 시험방송을 실시하였으며 국내에서도 ETRI 중심으로 4K-UHD 고화질 위성방송에 대한 시험을 실시하였다[5].

위성방송에서 사용하는 주파수 대역은 Ku-대역을 이용하였으나 Ku-대역의 채널이 포화됨에 따라 향후 위성방송 주파수 대역은 범세계적으로 이용하고 있는 Ka-대역을 이용할 것으로 예상된다. 그러나 20GHz 이상의 Ka-대역에서는 대기권에서 발생하는 수증기 및 강우량 등 여러 가지의 요인으로 인해 전파 전송 과정에서 대기 감쇠가 발생하며[6-7] 이러한 전파 감쇠는 Ka-대역 위성방송의 영상품질을 저하시키므로 DVB-S2 CCM 및 H.264/AVC 등 다양한 디지털 영상신호 개선을 위한 시나리오[5],[8-9]를 개발하고 있으며, Ka-대역 위성방송용 하향변환기를 CMOS에 의해 집적화(IC)를 적용한 연구가 추진되고 있으며 광대역성과 UHD TV에 적용하기 위한 개선방안 또한 요구되고 있다[10].

본 논문에서는 기존의 Ka-대역 위성방송용 하향변환기와 달리, RF-수신단의 전파 감쇠에서도 미세한 전파 검출이 가능하도록 하향변환기의 동적영역(dynamic range)을 크게 하여 즉, 영상신호의 최소감지신호의 감도를 높이고자 수신기의 RF-전단부의 선형성에 영향을 미치는 특성 파라미터를 구하여 Ka-대역 UHD-위성방송용 하향변환기의 설계방안을 제시하고자 한다.

II. Ka-대역 RF-front-End Module의 선형성 분석

4K-UHD급 이상의 고화질 영상신호가 위성에서 지구로 하향 전송되는 동안 대기권의 전파 감쇠를 고려하여 지구국에 도달할 때 수신되는 최소 수신감도는 식(1)과 같이 주어지며 식(1)에서 최소잡음전력 P_{noise_floor} 은 식(2)와 같다[11].

$$\text{수신감도} = P_{noise_floor} + SNR \quad (1)$$

$$P_{noise_floor} = -174dBm/Hz + NF + 10\log(BW) \quad (2)$$

위 식(2)에서 잡음지수(NF)는 RF-전단부 전체 잡음지수이므로 전체 잡음지수는 식(3)과 같이 RF-전단부를 구성하는 모듈의 이득과 각각의 잡음지수와 연관된다.

$$NF = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (3)$$

RF-전단부 설계방안은 식(1)-(3)을 고려하고 전체 잡음지수, 동적 범위 및 선형성 관계를 최적화하여 설계한다. 한편 동적 범위를 나타내는 CDR(Compress Ed Dynamic Range), SFDR(Super Free Dynamic Range)은 각각 다음 식(4), 식(5)와 같이 정의된다[12].

$$CDR = P_{1dB} - P_{noise_floor} = P_{1dB} - (-174dBm + NF + 10\log(BW)) \quad (4)$$

$$SFDR_3 = 2/3(IIP3 + 174 - NF - 10\log BW) \quad (5)$$

이와 같이 설계 파라미터를 고려하여 하향변환기에 적용되는 동적영역을 넓게(높게)하고 우수한 선형성을 유도하기 위하여 다음과 같은 설계방안을 고려하였다.

첫 번째 단의 저 잡음 증폭기 설계는 첫째, 전체 주파수 변화과정에서 RF-전단부 전체 잡음에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 최저 잡음지수로 나타나도록 저 잡음 증폭기의 잡음 정합(noise matching)을 설계하며, 두 번째 단과 세 번째 단은 이득과 잡음의 중간지점에 정합하여 첫 번째 단의 저 잡음 증폭기보다 이득을 높이는 설계하고자 하였다. 둘째, 혼합기에서는 변환 이득(conversion gain)이 되도록

록 설계하여 전체 RF-전단부의 손실을 줄여주도록 설계함과 동시에 RF-전단부의 선형성을 높여주어 P_{1dB} 를 향상시켜 동적 범위를 개선시키는 효과를 나타내도록 하였다. 셋째, 하향변환기의 동적영역에 영향을 미치는 또 다른 요인은 국부발진기의 위상잡음이며 이것을 가장 작게 하기 위하여 PLO(Phase Locked Oscillator)에 의한 고 안정발진기를 설계하였다. 그림 1의 구성도를 고려하여 3단 저 잡음 증폭기에 적용한 소자는 NE350184C이며, 3dB 손실을 나타내는 헤어핀대역통과필터[13] 및 NE3514S02 HEMT를 이용한 능동형필터를 적용하여 주파수변환 믹서로 설계하였으며 UPC2709TB와 ASW204를 이용하여 23dB와 18dB의 IF단 증폭기를 구성하였다.

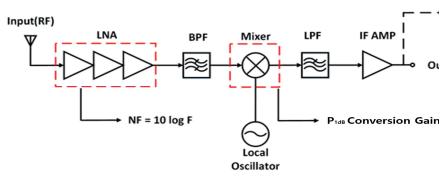


그림 1. 동적 범위 개선방안을 위한 수신기 설계 구성도
Fig. 1 Receiver design diagram for dynamic range improvement

구성된 Ka-대역 RF-전단부 모듈의 이득과 잡음 지수에 대한 모의실험 결과는 그림 2와 같이 전체 이득은 61.25dB, 잡음지수는 1.25dB를 얻었다. RF-전단부의 각 모듈을 구성하고 다양한 수신기의 요구사항을 결정하기 위하여 버짓 분석 및 식(4)와 식(5)를 통해 모의 실험한 결과 CDR과 SFDR은 그림3과 같이 CDR은 99.3dBm, SFDR은 36.7dBm의 결과 값을 나타내었다.

본 논문에서 설계될 수신기의 대역폭은 1GHz이므로 수신 감도를 추정하기 위해 사용된 SNR은 일반적으로 10dB로 가정하며 최소감지신호의 이론적 계산 결과는 -82.75dBm 이므로 수신감도는 -72.75dBm이 된다. 설계한 RF-전단부의 P_{1dB} 는 14dBm이고 OIP3는 26dBm으로 나타나며 이로써 최적의 파라미터를 제시하였다.

표 1은 이론적인 수신기 전단부의 잡음 및 선형성에 대한 동적 범위 값을 계산한 결과로서 NF는 1.1dB ~1.35dB까지 예상하고 전체이득은 59dB ~ 64dB으로 설계할 때, 동적범위를 판단하는 선형성을 나타내는 파라미터의 값을 나타내었다. 이때, P_{1dB}

는 14dBm, OIP3는 26dBm로 하였을 때 IIP3는 -33dBm ~-38dBm이며 CDR은 96.90dBm~96.65dBm, SFDR은 29.77dBm~33.27dBm으로 예상된다. 표 1에서 수신기 전단부의 최적 설계에서 잡음지수는 1.2dB~1.25dB, 이득은 61dB~62dB를 설계 목표로 설정할 수 있다.

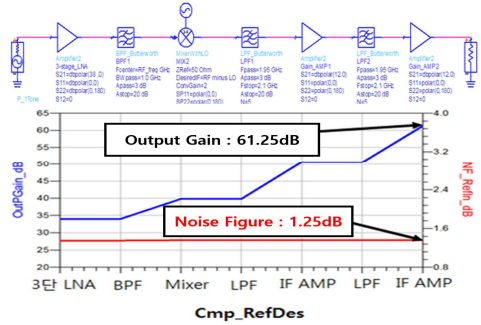


그림 2. Ka-대역 수신기의 모의실험 블록도 및 결과
Fig. 2 Simulation block diagram and results of Ka-band receiver

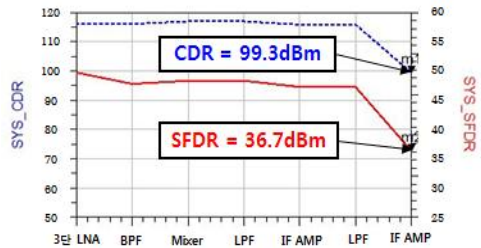


그림 3. Ka-대역 수신기 CDR, SFDR의 모의실험
Fig. 3 Simulation of Ka-band receiver CDR, SFDR

표 1. 잡음 및 선형성에 따른 동적 범위 비교
Table 1. Dynamic range comparison with noise and linearity

KTB	-174	-174	-174	-174	-174	-174
NF	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35
Gain	59	60	61	62	63	64
BW	1GHz	1GHz	1GHz	1GHz	1GHz	1GHz
P_{noise_floor}	-82.90	-82.85	-82.80	-82.75	-82.70	-82.65
SNR	10	10	10	10	10	10
Sensitivity	-72.90	-72.85	-72.80	-72.75	-72.70	-72.65
P_{1dB}	14	14	14	14	14	14
OIP3	26	26	26	26	26	26
IIP3	-33	-34	-35	-36	-37	-38
CDR	96.90	96.85	96.80	96.75	96.70	96.65
SFDR	33.27	32.57	31.87	31.17	30.47	29.77

III. 고 선형성 광대역 Ka-대역 RF-전단부 제작

위성방송에 적용되는 Ka-대역 하향변환기는 슈퍼헤테로다인 형태로 구성되며, 19.2GHz~20.2GHz의 1GHz 대역에 대한 상용화된 Ka-대역 저 잡음 하향변환기[1]를 대상으로 설정하고 본 연구에서 제안하는 설계방안과 비교분석하도록 하였다.

그림 4는 표 1에서 제안된 잡음지수 1.25dB를 기준으로 설계한 Ka-대역 하향변환기의 형태를 보여 주고 있다. PLO에 의한 고 안정 저 위상잡음의 국부발진기를 보호하고 Ka-대역 저 잡음 증폭단의 불요불금의 기생복사(radiation)를 억제하기 위하여 금속으로 차폐시켰다. 설계 제작된 하향변환기의 전체이득과 잡음지수를 측정된 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서는 이득이 59.15dB~61.84dB, 잡음지수가 1.05dB~1.25dB인 측정 결과 값을 확인할 수 있다.

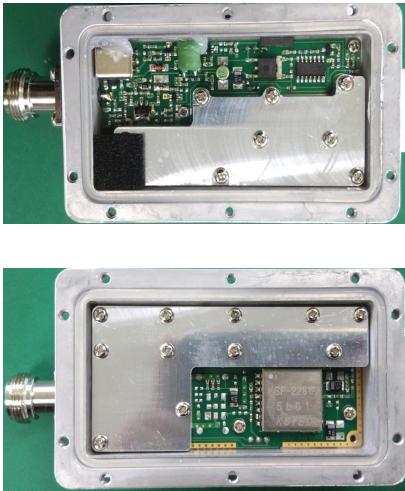


그림 4. 조립된 Ka-대역 위성방송용 RF-전단부 모듈

Fig. 4 RF-front module for assembled Ka-band satellite-broadcasting

설계된 하향변환기의 고 안정 국부발진기의 발진 주파수는 18.25GHz이며 그림 6은 제작된 국부발진기의 출력 파형을 나타내며, 출력 파형은 약 4dB를 나타내었다. 그림 7은 위상잡음으로 -103.4dBc@100kHz의

특성이 나타났다. 설계된 국부발진기의 위상잡음 값은 일반적으로 제시되는 기준값 -85dBc@100kHz보다 매우 우수한 저 위상잡음 특성을 보여 주고 있다.

그림 8은 설계 제작한 Ka-대역 하향변환기의 P_{1dB} 점이며 출력주파수는 950MHz~1950MHz에서 P_{1dB} 점으로 약 13dBm의 결과를 얻었다. 그림 9는 위성방송용 수신기의 IMD를 측정된 결과로써 출력 주파수 950MHz~1950MHz에서 -58dBm의 결과 값을 얻었다. 위의 측정값으로 동적 범위를 계산한 결과 값은 표 2와 같다.

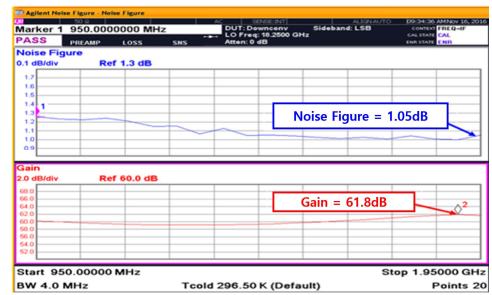


그림 5. 수신기의 이득과 잡음지수 그래프
Fig. 5 Gain and noise figure graph of receiver

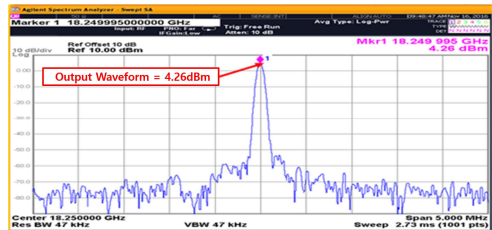


그림 6. 국부발진기의 출력 파형
Fig. 6 Output waveform of local oscillator

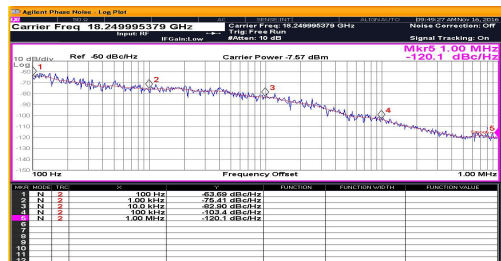


그림 7. 국부발진기의 위상잡음
Fig. 7 Phase noise of local oscillator

1) Norsat International Inc., www.norsat.com

IV. 결론

UHD급 이상의 고화질 영상을 Ka-대역 위성방송으로 적용하기 위하여 본 논문에서는 광대역 특성과 잡음지수, 선형성 및 동적영역이 우수한 하향변환기의 설계방안을 제시하였다. Ka-대역 RF-수신기의 동적범위 개선방안으로 수신단의 저 잡음 증폭기에서의 잡음지수에 대해 이득과 잡음간의 상관관계를 고려하여 최소잡음지수를 갖도록 설계해야 하며, 하향변환기의 P_{1dB} 점을 개선함으로써 넓은 동적 범위를 나타낼 수 있었다. 특히 국부발진기는 저 위상 고 안정 국부발진기로 설계되어야함을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 설계방안으로 제작하였을 때, 제작된 Ka-대역 위성방송용 수신기의 출력 이득은 59.15dB ~ 61.8dB, 출력 잡음지수는 1.05dB~1.25dB, 수신기의 잡음지수에 의한 최소잡음신호는 -82.95dBm, P_{1dB} 는 12.9dBm을 이용하여 동적 범위를 계산한 결과로 CDR은 95.85dBm, SFDR은 31.3dBm의 값을 얻었으며 상용화 제품과 비교하였을 때 하향변환기의 선형성은 7dB 높은 결과를 보여줌으로써 잡음지수 및 선형성이 향상되어 넓은 동적 범위를 확보하였다. 설계된 광대역 RF-전단부는 향후 Ka-대역 UHD 위성 방송용 수신기로 기대된다.

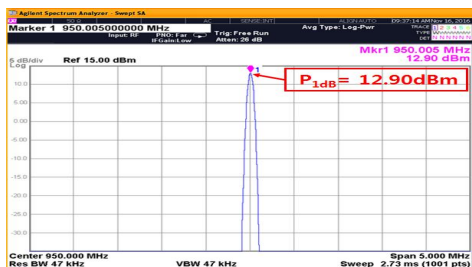


그림 8. Ka-대역 위성방송용 수신기의 출력 P_{1dB}

Fig. 8 Output P_{1dB} of Ka-band satellite broadcasting receiver

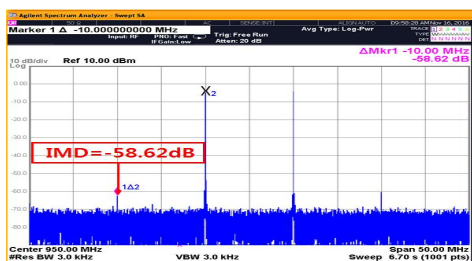


그림 9. Ka-대역 위성방송용 수신기의 IMD

Fig. 9 IMD of Ka-band satellite broadcasting receiver

표 2. 동적범위에 대한 이론적 값과 측정값 비교

Table 2. Measured dynamic range comparison between the theoretical values and measurement

Parameter	Theoretical value	Commercial off the shelf	Production module
NF(dB)	1.25	< 1.5	1.05 min
Gain(dB)	62	< 60	61.8
P_{1dB} (dBm)	14	5 >	12.9
OIP3(dBm)	26	15 >	25
IIP3(dBm)	-36	< -40	-36.8
CDR(dBm)	96.75	87.75	95.85
SFDR(dBm)	31.17	28.5	31.3

표 2와 같이 본 논문에서 설계한 Ka-대역 하향변환기의 이론적 목표값과 실제 제작 측정된 하향변환기의 기술적 특성을 비교분석한 결과, 하향변환기의 제반특성 파라미터는 이론적인 값과 측정된 값이 흡사함을 보였으며 기설 상용화 제품보다 우수한 특성과 높은 선형성을 보이며 넓은 동적 범위를 가지는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2015_H1C1A1035526)

References

- [1] S. Park, D. Kim, and G. Mark, "Technology Trends and Effective Frequency Utilization for UHD TV Broadcasting," *J. of Broadcast Engineering*, vol. 18, no. 2, Apr. 2013, pp. 57-72.
- [2] S. Cho, "UHDTV technology and standardization status," *TTA J.*, vol. 140, (no. 3) Mar. 2012 pp. 49-54.
- [3] V. Labrador and P. Galace, "The South Korea Satellite Market," *Satellite Executive Briefing*, June 2016, PP. 8-11.

- [4] S. Gahm, "Satus of UHDTV broadcasting in Republic of Korea.," *ITU-R SG6 WP6C Workshop*, Mar. 2014
- [5] M. Shin, J. Ryu, and D. Gh, "A Study on the Ka-band Satellite 4K-UHD Broadcasting Service provisioning in Korea," *Proc. the 8th Int. Conf. on Mobile Ubiquitous computing, Sysyems, Services an Technology*, Rome, Italy, aug, 2014, pp. 204-209.
- [6] M. Kamruzzaman and M. Islam, "Rain Attenuation Prediction for Satellite Communications Link at Ku and Ka Bands Over Bangladesh," *2014 Int. Conf. on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*, Dhaka, Bangladesh, Apr. 2014.
- [7] Y. Lee and S. Winkler, "Effects of Rain Attenuation on Satellite Video Transmission," *Proc. of IEEE 73rd, Vehicular Technology Conf.*, Budapest, Hungary, may, 2011, pp. 1-5.
- [8] E. Casini, R. Gaudenzi, and A. Ginesi, "DVB-S2 modem algorithms design and performance over typical satellite cvhannel," *Int. J. of Satellite. Communications and Networking.*, vol. 22, no. 2, 2004, pp. 281-381.
- [9] X. Fi, N. Zhou, and S. Liu, " Joing Sourc/Channel Coding Based on Two-Dimensional Optimization for Scalable H.264.AVC Video," *ETRI J.*, vol. 33, no. 2, Apr. 2011, pp. 155-162.
- [10] 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.
- [11] A. Vaeff, "Minimum Detectable Radar Signal and Its Dependence Upon Parameters of Radar Systems," *Proc. of the IRE*, vol. 34, no. 11, Sept. 2006, pp. 857 - 861.
- [12] R. Watson, "Receiver Dynamic Range : Part 2," *WJ Tech-notes*, vol. 14. no.2, Apr. 1987.
- [13] T. S. Yun, "Harmonic-Suppressed Hairpin Bandpass Filter for the Microwave Radiometer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1169-1174.

저자 소개



목광윤(Mok-Gwang Yun)

2015년 경남대학교 정보통신학과 졸업(공학사)
2016년 경남대학교 대학원 첨단공학과 (공학석사 과정)

※ 관심분야 : 초고주파 회로설계, 전력증폭기



이영철(Rhee-Young Chul)

1981년~현재 : 경남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파 회로설계, 전력증폭기, 무선통신시스템