

Ku-band 광대역 위성방송용 LNB 설계

홍도형* · 목광윤* · 박기원* · 이영철*

*경남대학교 정보통신공학과

Design of Wideband Ku-band Low Noise Down-converter for Satellite Broadcasting

Do-Hyeong Hong*, Gwang-Yun Mok*, Gi-Won Park*, Young-Chul Rhee*

*Dept.of Information & Communicstion Engineering, Kyungnam University

E-mail : smsrtguy1999@naver.com

요 약

본 논문에서는 여러 대역의 주파수를 하나의 모듈로 통합하여 선박이 해외 각국에서도 하나의 위성안테나로 사용할 수 있는 다중대역 FEM(Front-End Module)모듈을 설계하였다. 설계된 FEM은 다중대역 저잡음 수신 증폭회로, 주파수 변환 회로, IF 증폭회로, 전압 제어 발진기(VCO : Voltage Control Oscillator)를 이용한 신호발생회로 네 가지 회로로 구성하였다. 다중대역 2.05GHz대역을 변환하기 위하여 4개(대역1, 대역2, 대역3, 대역4)의 국부 발진 신호를 생성하여 4개의 IF신호를 출력하도록 설계하였으며 개발된 변환 장치는 변환이득 64dB, 잡음지수 1dB 이하, 출력 P1dB 15dBm 이상, 위상잡음은 $-73\text{dBc}@0.1\text{KHz}$ 를 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper study for VSAT(very small aperture terminal) LNB(low noise block). ship LNB was demanded high stability and low noise figure. We designed FEM(Front-End Module) that was operated multi-band. FEM designed was constructed in a multi-band low noise receiver amplifier, a frequency converter, IF amplifier, Voltage Control Oscillator signal generating circuit four circuit using. To convert the multi-band 2.05GHz band, it generates four local oscillator signals, the four(band1, band2, band3, band4) designed to output an IF signal developed conversion apparatus, the conversion gain 64dB, noise figure 1dB or less, output P1dB 15dBm or more, phase noise showed $-73\text{dBc}@100\text{Hz}$.

Key Words

FEM, VCO, Multi-band, LNB

I. 서 론

일반적으로 위성으로부터 방송신호를 수신하기 위한 안테나는 실외에 설치되고 셋톱장치는 실내에 설치된다. 안테나로 수신된 10~12GHz의 신호는 매우 미약하여 수신감도 개선을 위하여 저잡음 증폭기가 필요로하며, 실내의 셋톱장치와 주파수 변환 모듈

감사의 글 : 본 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2015_HICIA1035526)

(FEM) 사이 신호를 전달하기 위해 동축선로가 사용된다. 주파수 변환 모듈은 위성 신호를 중간주파수를 사용하여 셋톱박스의 입력신호로 사용되기 때문에 낮은 잡음지수의 특성을 갖는 저잡음 주파수 변환기(LNB :Low Noise Block Down Converter)가 필요하게 된다[1]. 위성방송에 이용되고 있는 LNB 수신단의 최신행은 하나의 모듈로 다중 대역(multi-band)을 수신할 수 있는 FEM(Front-End Module) 연구개발이다 [2]. 본 논문에서도 여러 대역의 주파수를 하나의 모듈로 통합하여 선박이 해외 각국에서도 하나의 위성 안테나로 사용할 수 있는 다중대역 FEM모듈을 설계하였다. 설계된 FEM 모듈은 4개의 대역으로 10.7~

12.75GHz 위성신호를 각각의 4개로 구분하여 대역1은 950~1950MHz, 대역2는 950~1700MHz, 대역3은 950~2000MHz 및 대역4는 950~1450MHz의 출력신호로 변환하게 된다. 각 대역의 선택은 셋톱박스 등 외부 제어 신호에 의해서 선택된다. 개발된 변환 장치는 변환이득 약64dB, 잡음지수 1dB이하, 출력 P1dB는 15dBm 이상, 위상잡음은 -73dBc@100Hz, -83dBc@1KHz, -87dBc@10KHz, -109dBc@100KHz, -119dBc@1MHz 특성을 보였다.

II. 다중대역 FEM 설계 및 시뮬레이션

Ku-band 다중대역 FEM 모듈은 슈퍼헤테로다인 형태를 취하며, 수신기는 그림 1과 같이 RF 수신 블럭(저잡음 증폭 수신부), 신호 발생 블럭, 주파수 변환 회로단으로 나누어 설계하였다. 슈퍼헤테로다인 수신 시스템에서 주파수 설정(Frequency planning)은 각 모듈별 블럭에서의 동작주파수, 스푸리어스(Spurious) 및 이미지 주파수(image frequency)에 대해 설정되어야 한다.

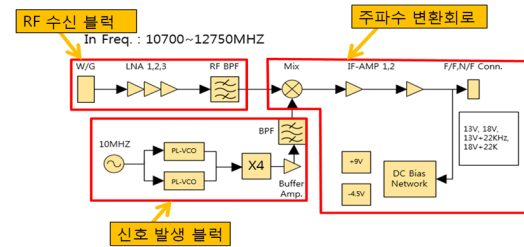


그림 1. Ku-band 다중대역 FEM 모듈 블럭도

RF 수신 블럭의 저잡음 증폭 회로는 Renesas사의 NE3210S01 저잡음 HEMT 부품을 이용하여 3단으로 구성하여 이득 30dB이상, 잡음 지수 0.7dB이하, 반사 계수 10 ± 1 dB이하로 설계하였다. 주파수 변환회로는 다중대역 특성과 낮은 변환 손실을 갖는 Hittite사의 부품을 사용하였다. IF 회로는 높은 P1dB 특성을 갖는 Berex부품의 증폭기를 사용하였으며 IF필터는 Lump 부품을 사용한 LPF로 구성하였다. 신호 발생 블럭의 주파수 발생기는 발진 주파수의 안정성을 높이기 위한 위상 동기루프 시스템(PLL)이다. 그림 2는 설계된 PLL 블럭도이며, 각 블럭은 위상검출기(PD : Phase Detector), 루프필터(Loop Filter), 그리고 전압 제어 발진기(VCO : Voltage Controlled Oscillator)의 세 부분으로 구성된다.

위상동기루프의 동작원리를 살펴보면, PD에서 기준입력신호 위상 θ_i 와 VCO의 출력신호 주파수 θ_o 를 비교하여 두 신호의 위상차에 상응하는 전압 v_d 를 출력하고, 이 신호는 저역통과 필터의 특성을 갖는 루프필터로 입력되어 VCO 주파수의 제어전압 v_c 를 출력한다. 이 제어전압은 VCO의 출력 주파수를 변화시켜 두 입력 주파수가 동일할 때까지 주파수의 추적이

이루어지며, 두 주파수가 동일하게 되면 PD로부터 오차출력이 0이 되어 VCO의 발진주파수가 고정되는 동기(Locked)상태로 동작한다. 국부 신호 발진부 회로 네 가지 신호를 발생하기 위하여 두개의 전압조정 발진기(VCO)와 ADF4153을 사용하여 구성하였다. 루프 필터는 저항과 커패시터를 이용하여 2단으로 설계하였다. VCO는 전압이 변화함에 따라주파수가 변화하는 특성을 가지는 소자이다.

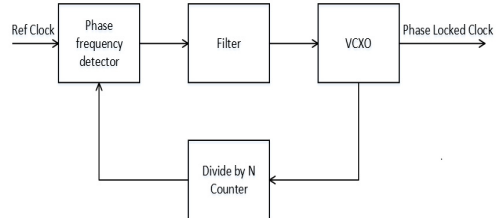


그림 2. PLL(Phase Lock Loop)의 블럭도

본 논문에서 사용된 전압조정 발진기는 위상잡음 특성이 뛰어난 FEM공진기를 갖는 VCO를 사용하였다. VCO는 DC 바이어스 전압을 가해주고 VCO 제어 전압을(V_{tune}) 가변해 주면 제어 전압에 따른 출력 주파수가 변화하는 소자이다. 국부 신호 회로의 VCO 특성은 아래의 표 1과 같다. VCO1은 9.75GHz, 10GHz, VCO2는 10.75GHz, 11.3 GHz 국부 발진 신호에 사용된다.

표 1. VCO 특성

규격	VCO 1	VCO 2	비고
출력주파수	2400~2580	2630~2880	MHz
출력신호세기	4.0이상	4.0이상	dBm
V _{tune}	45	75	MHz/V
위상잡음 @10KHz	92.5	91.5	dBc
@100kHz	115.5	116.2	dBc

표 2는 설계된 다중대역 FEM 모듈의 각 대역의 스위칭 모드와 출력 신호, 국부발진 신호를 표시하였다.

표 2. 다중대역 및 다중 IF단 특성조건

구분	스위칭 모드	LO	IF 주파수
대역1	13V	-	9.75GHz
대역2	13V	22KHz	10.00GHz
대역3	18V	-	10.75GHz
대역4	18V	22KHz	11.30GHz

저잡음 증폭기(LNA:Low Noise Amplifier)는 낮은 잡음지수를 갖는 증폭기를 말한다. Friis의 공식에 의하면, 전체 잡음지수는 초단증폭기의 잡음지수뿐만 아니라, 뒷단의 잡음지수와도 관계가 된다. 따라서 저잡음 증폭기의 이득 또한 전체 잡음지수와 관계되는 것을 알 수 있다. 이러한 면에서 저잡음 증폭기는 잡음과 이득, 선형성, 소비전력, 제작단가 등이

Trade-off 관계가 있어서 동시에 좋은 특성을 얻기 힘들기 때문에 목표에 맞추어 최적화가 필요하다 [3,4]. 저잡음 증폭기 설계는 능동소자의 조사, 최적의 전원 및 부하 임피던스 선정, 정합회로 구성, DC 바이어스 회로의 추가, 안정도의 확인 등의 과정으로 볼 수 있다. 안테나로부터 입력된 RF신호는 송신단으로 보내온 신호가 유전 공간 내에서 감쇠 및 손실로 인해 전력 값이 아주 미약한 상태이다. 여기에는 송신단에서 보내고자 하는 신호와 잡음이 섞여있어 저잡음 증폭기에서는 이러한 잡음을 최소화하여 원하는 신호만을 증폭시켜야 한다. 그림 3과 같이 신호(P_s) 뿐만 아니라 잡음(N_s)도 존재하게 되며, 이를 증폭할 경우 신호와 잡음을 동시에 증폭하게 되는 것이다. 즉, 저잡음 증폭기의 역할은 뒷단에 연결된 신호처리 소자들이 신호를 원활하게 처리 할 수 있도록, 출력에 최소의 잡음을 추가하며 신호를 증폭하는 기능을 하는 것이다. 여기에 저잡음 증폭기의 잡음지수는 수신기 전체에 대한 잡음지수를 결정하기 때문에 동작 영역과도 밀접한 관계가 있다. 이러한 저잡음 증폭기를 설계하는 방법으로는 증폭소자로 사용되는 능동소자의 등가회로를 이용하는 방법과, 측정된 S-파라미터를 이용하는 방법이 알려져 있다. 일반적으로 고주파에서 사용되는 능동소자는 GaAs와 같은 화합물 반도체의 등가회로를 이용하여 설계한다. 대부분 저잡음 증폭기의 설계는 능동소자에 대하여 주어진 DC 전압에서 측정된 S-파라미터와 잡음 파라미터를 이용하여 설계하게 된다. 측정된 파라미터를 이용한 일반적인 저잡음 증폭기의 설계는 그림 4와 같은 구성으로 능동소자에서 전원과 부하를 들여다본 임피던스를 설계하는 것이 된다.

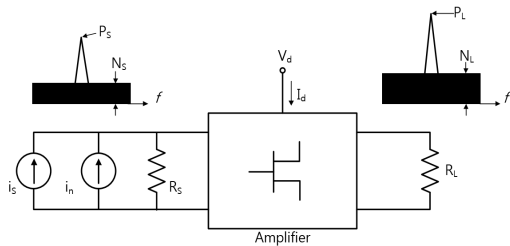


그림 3. 저잡음 증폭기의 설계 개념

능동소자의 부하와 전원에 따른 이득과 잡음을 구하기 위하여 입출력 반사계수를 정의하며, 이는 그림 4에 나타내었다. 일반적으로 전원과 부하 임피던스는 $R_s = R_L = Z_0$ 로서 고정된 값이고, 이는 정합회로를 통하여 능동소자로부터 최적의 성능을 도출하기 위하여 적절한 임피던스로 변환하게 된다. 이때 능동소자에서 입력정합회로를 들여다본 반사계수를 Γ_s 로 나타내며, 능동소자가 부하 쪽을 들여다 본 반사계수를 Γ_L 로 나타낸다.

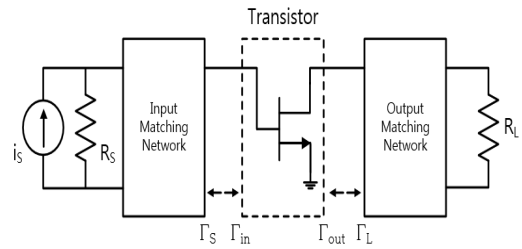


그림 4. 반사계수 정의

또한, 능동소자에 부하가 Γ_L 이 연결되었을 때 능동소자 입력 측에서 들여다본 반사계수를 Γ_{in} 으로 나타내며, 유사하게 전원 측에 Γ_s 가 연결되었을 때 능동소자 출력 측에서 들여다본 반사계수를 Γ_{out} 으로 나타낸다. 따라서 능동소자의 S-파라미터가 주어졌을 경우 이는 식 2-1, 식 2-2와 같이 나타남을 알 수 있다.

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (2-1)$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s} \quad (2-2)$$

설계된 저잡음 증폭기는 NE3210 소자를 사용하였고, 기판은 유전율 2.17, 두께 0.508mm인 테프론(TLX-9)을 사용하였다. 그림 5은 Ku-band 다중대역 3단 저잡음 증폭기의 시뮬레이션 결과이다. 통과대역 내에서 최대이득 36.03dB, 최소이득 34.44dB, 이득 평탄도는 2dB 이내, 잡음지수는 0.61dB의 결과를 얻었다.

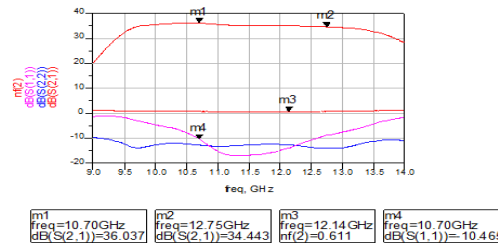


그림 5. Ku-band 다중대역 3단 저잡음 증폭기 시뮬레이션

III. 제작된 다중대역 FEM 모듈 시험 결과

수신기 성능 분석 결과를 도출해내기 위하여 아래 표 3과 같은 실험 장비를 사용하였다. 그림 6은 Ku-band 주파수 변환 장치 테스트 구성도이다. 주파수 변환 장치의 대역1,2,3,4 스위칭 신호는 제어보드의 외부 입력 신호 13V, 18V, 13V/+22KHz, 18V/+22KHz가 입력되고 수신기 내부의 스위칭 부품에 의해서 각 모드에 대한 on/off 신호를 마이크로프로

로세서(PIC12C058A) 입력되어 주파수 합성기에 PLL 데이터 신호(LE, DATA, CLK)를 전송한다.

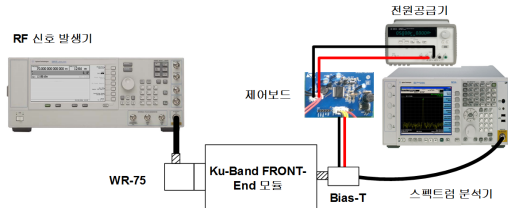


그림 6. Ku-band 다중대역 LNB의 측정 구성도

그림 7은 제작된 PCB기판에 부품을 실장한(SMD) 사진이며 입력 포는 WR-75 도파관 형태이다. 출력단은 일반적으로 많이 사용하고 있는 임피던스 75옴이 F-type Female 커넥터를 사용하였다. 설계된 PCB는 RF 보드와 LO보드가 분리되어 있다. RF보드에는 저잡음 증폭기, 마이크로 스트립라인으로 설계한 이미지 제거 필터, 주파수 변환기(Mixer), IF부분의 구성으로 되어 있다. LO보드는 전압 조정 발진기, 4체배기, LO 필터(BPF), LO Buffer 증폭기로 구성된다.



그림 7. Ku-band 다중대역 LNB 제작 사진

그림 8는 LNB의 이득 및 잡음지수 측정결과이며, 이득은 약 64dB, 잡음지수는 약 0.7dB 이하 특성을 나타냈다.

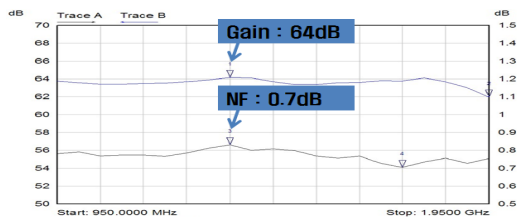


그림8. Ku-band 다중대역 LNB 특성1(이득, 잡음 지수)

그림 9는 Ku-band 다중대역 FEM 모듈 위상잡음 특성이며 -73.6 / -83.45 / -87.35 / -109.5 / -119.6 @100 Hz / 1KHz / 10KHz / 100KHz / 1MHz 특성을 갖는다. 아래의 표 3는 일반적인 FEM 모듈과 제작된 다중대역 FEM 모듈의 특성을 비교 분석하였다.

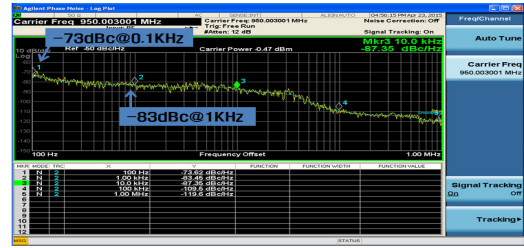


그림9. Ku-band 다중대역 LNB 특성2(위상잡음)

표3. 제작된 FEM 모듈과 일반 FEM 모듈 비교 분석

구분	Ku LNB모듈	제작된 모듈	비고
입력주파수	10.7~11.7	10.7~12.75	GHz
출력주파수	950~1950	950~2000	MHz
발진주파수	10.75	9.75,10,10.75,11.3	GHz
이득	60 typ.	59 ~ 61	dB
잡음지수	0.80	0.72	dB
출력1dB압축점	+5.0 typ.	17.5	dBm
위상잡음	-60/-70/-80/ dBc@0.1/1K/10K	-73/-83/-87 dBc@0.1/1K/10K	

IV. 결론

본 논문에서는 저잡음 HEMT와 전압 조정 발진기(VCO)를 이용하여 Ku-band 다중대역 FEM 모듈을 설계 및 제작 하였다. 제작된 주파수 변환 장치는 이득 62~64dB 잡음지수 0.7~0.83dB으로 일반적인 Ku-band의 주파수 변환 모듈보다 뛰어난 특성을 보여준다. 제작된 모듈은 여러 개의 LNB가 사용되는 선박용 위성 방송 수신기를 하나의 모듈로 대체가 가능하기 때문에 설치의 용이함과 유지보수에 장점이 있다. 향후 Ku-band 위성 통신 수신 장치에 많이 사용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. J. Douville "A 12-GHz Low-cost Earth Terminal for Direct TV Reception from Broadcast Satellites." IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-25, no. 12, pp. 1000-10008. Dec.1977
- [2] Kevin McClaning and Tom Vito, "RADIO RECEIVER DESIGN", 2000
- [3] Manidipa Bhattacharya, "Design of a Broadband Filter", Progress In Electromagnetics Research Symposium, Cambridge, USA, July 2008.
- [4] Y.S. Poberezhskiy, "On Dynamic Range of Digital Receivers", IEEE Aerospace Conf., March 2007.