
K-band SMDS용 저잡음 하향변환기의 설계

정인기* · 이영철* · 김천석**

The Design of Low Noise Downconverter for K-band
Satellite Multipoint Distribution Service

In-Ki Jeong* · Young-chul Rhee* · Chun-suk Kim**

본 논문은 2000년도 정보통신부 대학기초지원 사업으로 이루어졌음

요 약

본 논문에서는 K-band 위성방송다점분배서비스(SMDS)용 하향변환기를 설계하였다. SMDS용 하향변환기는 입력신호 주파수 19.2GHz~20.2GHz에 대한 3단 저잡음 증폭기, 대역통과필터와 고 안정 국부발진기 및 드레인 믹서, IF단으로 구성하였다. 저 잡음 증폭단은 28dB의 이득과 1.5dB의 잡음지수 특성을 보였으며, 국부 발진기는 고 안정 유전체 공진 발진기로 구성하여 주파수 18.25GHz에서 0.5dBm의 출력전력과 $-84.67\text{dBc}/\text{Hz}@10\text{KHz}$ 의 위상잡음을 나타내었다. 드레인믹서는 19.2GHz~20.2GHz의 RF신호를 인가하였을 때 950MHz~1950MHz 범위에서 변환이득은 5dB를 나타내었다. 본연구에서 설계된 K-대역하향변환기는 SMDS 및 국내 K-band 위성인터넷 규격을 만족시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we designed a downconverter for K-band satellite multipoint distribution service(SMDS). The designed downconverter consists of a low noise amplifiers, bandpass filter, stable local oscillator, drain mixer and IF Amplifiers. Low noise amplifiers show 28dB gain and 1.5dB noise figure in the frequency range of 19.2GHz~20.2GHz, and a band pass filter has a -1dB insertion loss, and 18.25GHz Stable local oscillator which is dielectric resonant oscillation, We obtained that the output power of the 18.25GHz oscillation frequency is 0.5dBm and the phase noise is the -84.67dBc at 10KHz offset frequency. With the input RF signal the 19.2GHz~20.2GHz, conversion gain of the drain mixer shows 5dB at the Intermediate frequency range of 950MHz~1950MHz. We have proved that the designed downconverter satisfied the specification of a K-band satellite multipoint distribution service and it can be applied to the satellite internet receiver.

키워드

Downconverter, 하향변환기

* 경남대학교 정보통신공학과
접수일자: 2001. 11. 5

** 여수대학교 전자통신공학과

I. 서론

21세기의 정보화 사회에서 다양한 정보전송을 위하여 B-WLL(Broad-band Wireless Local Loop)와 같은 광대역 무선통신망[1]의 구축이 진행되고 있으며 기존의 주파수자원이 이미 포화상태에 있으므로 20~40GHz대역의 준(quasi)-밀리미터파 대역에서의 무선통신 기술개발이 이루어지고 있다. 한편 위성통신에 의한 멀티미디어 전송방안도 쌍방향 위성인터넷의 기술의 발달에 따라 위성 통신의 장점을 이용한 광대역 통신망이 필연적으로 요구되고 있으며 위성다점다채널분배서비스(SMDS:Satellite Multipoint Distribution Service)는 넓은 지역에 정보를 동시에 전달하므로 가까운 장래에 위성디지털 영상방송망의 중추적 역할을 할 것으로 예상된다[2,3]. 최근의 위성통신의 발전방향은 자국 위성을 이용하여 보다 효율적인 통신 및 방송에 대한 서비스를 제공하고 다양한 정보를 전달하고자 주파수 자원의 한계로 인해 Ku-대역에서 K 또는 Ka-대역을 이용하여 대역폭 확대 및 데이터 전송량의 증가를 위한 기술개발이 진행되고 있으며 우리나라의 무궁화 위성 3호에도 K-대역의 채널이 확보되어 있는 상황이다[4]. Ka-대역은 기존의 C, Ku-대역에 비하여 기본적으로 지구국 안테나의 빔 폭이 기존 주파수 대역의 지구국 시스템에 비해 1/2~1/4 크기에 불과하므로 보유 가능한 위성수가 증가시킬 수 있으며 작은 위성 안테나로 충분한 하향링크의 유효 등방성 복사전력(EIRP)을 제공할 수 있고, 스팟 빔의 크기가 작으므로 주파수 재 사용도를 향상과 지구국 안테나 크기를 소형화시킬 수 있는 특징이 있으나 Ka-대역의 경우 강우에 의한 신호감쇄가 Ku 대역에 비하여 10dB 이상 높아 신호 감쇄 보상 기술이 필요하며 지상망과의 연동, 멀티미디어 서비스를 위한 프로토콜 등의 문제점 등은 위성관련 선진국에서는 활발한 연구가 진행되고 있다[5]. K-대역 및 Ka-대역의 중요성을 고려하여 본 논문에서는 K-band 위성통신용 하향변환기를 설계하고자 한다. 하향 변환기는 슈퍼헤테로다인형으로 구성되며 저 잡음 증폭단과 이미지신호를 제거해주는 대역통과 필터 및 고 안정 국부발진기로 구성되며 다이오드형 믹서 대신 변환이득이 우수한 드레인형 믹서[6]를 설계하므로써 IF단에서의 증폭 단을 가능한 줄일 수 있도록 하였다.

II. SMDS용 하향 변환기 구성과 모듈설계

마이크로파 수신시스템의 하향변환기를 설계함에 있어서 코헤어런트한 디지털 마이크로파 신호에 대하여 영향을 주는 이미지신호를 제거하기 위하여 대역통과필터를 이용한 슈퍼헤테로다인(superheterodyne)방식과 직접 변환(direct conversion)방식[7]이 이용되고 있으며 직접변환방식의 경우 RF 및 마이크로파 대역의 수신기의 전반부(Front-end)를 중심으로 디지털 신호처리에 의한 기저대역 신호를 추출하는 방식으로서 일반적으로 2GHz대역의 낮은 주파수대역에서 이용되고 있으며 20GHz 이상의 준 밀리미터파 영역에서는 슈퍼헤테로다인형 수신방식을 이용하고 있다.

그림1은 슈퍼헤테로다인 방식의 하향변환기를 나타내고 있으며 하향변환기의 구성 요소는 수신된 20GHz 대역의 영상신호를 증폭하기 위해 저 잡음 증폭단(LNA)과 증폭기에서 증폭된 RF신호만을 통과시키기 위한 대역통과필터(BPF) 및 국부발진을 위한 18.25 GHz의 유전체 공진 발진기, RF입사신호와 국부발진신호의 하향 신호를 950~2050MHz 대역의 IF 신호로 바꾸어주는 드레인 믹서, IF신호를 증폭시키기 위한 IF 증폭기로 이루어진다. K-대역 위성다점 분배서비스용 하향 변환기 설계를 위하여 프로그램 ADS[8]을 이용하여 설계하고 각각 설계된 모듈블록을 결합하여 front-end단을 설계하기 위하여 다음과 같이 설계방향을 설정하였다.

저 잡음 증폭단의 설계 원칙은 첫째 단은 저 잡음특성을 나타내도록 잡음정합기법(noise matching)을 적용하여 설계하고, 둘째 및 셋째단에서는 가능한 주어진 주파수 대역에서 높고 균일이득을 나타내도록 임피던스정합을 시켜 설계하도록 하였다[9].

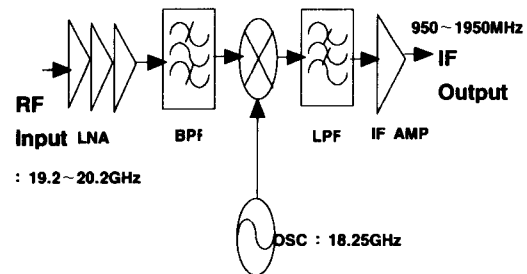
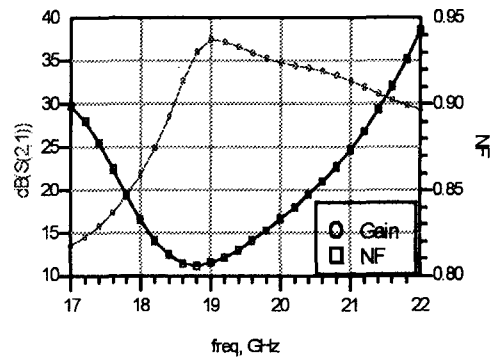


그림 1. K-대역 SMDS 하향변환기의 구성
Fig. 1 The block diagram of a K-band SMDS downconverter

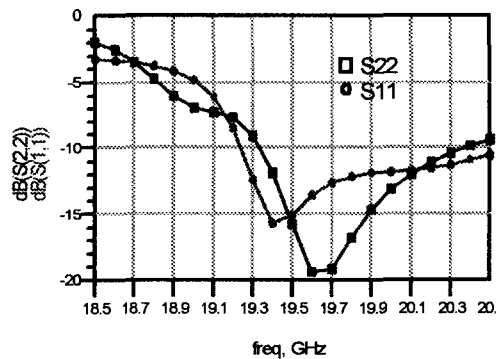
1단 증폭기를 저 잡음 특성을 가지기 위해 잡음과 이득의 절충점(trade-off)을 선택하여 입·출력정합 시켰으며, 2단과 3단 증폭기는 이득을 높이기 위해서 입·출력 매칭을 하였다. 각단의 증폭기 사이에 바이어스를 위하여 커플러형태의 DC-블럭 을 삽입하였고 저 잡음 증폭단의 전체에 대한 최적화 과정을 수행하였다. 증폭기를 설계하기 위하여 주파수대역은 19.2GHz~20.2GHz 대역에서 증폭단 소자는 MGF 4919G p-HEMT의 데이터를 이용하였으며 마이크로파 기판은 유전율 2.5, 두께가 0.508mm인 테프론 데이터를 적용하였다. 그림2.는 저 잡음 증폭기의 이득, 잡음지수, 입출력 반사계수의 모의 실험결과를 나타내고 있다. 저 잡음 증폭단에서 증폭된 출력신호에서 19.2GHz~20.2GHz의 대역만을 통과시키고 마이크로파 수신기에서 나타나는 이미지신호를 제거하기 위하여 대역통과필터(BPF)는 설계대역에서 삽입손실 가능한 작고 3dB대역폭이 노치필터의 특성이 나타나도록 7단 인터디지털형 필터를 채택하였다. 설계된 인터디지털형 대역통과필터의 중심주파수는19.7GHz이며 통과대역은 19.2GHz~20.2GHz로서 -0.5dB이상의 삽입손실을 가지도록 하였고, 저지대역 18.25GHz에서 -50dB이하의 삽입손실을 가지도록 결합선로를 사용하였으며 마이크로파 프로그램 ADS[8]을 이용하여 각 선로의 폭과 길이, 선로간의 간격을 초기 값으로 설정하여 최적화 과정을 통하여 마이크로스트립선로의 폭, 길이, 선로간의 간격을 설정하였다. 그림3.는 모의실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 삽입손실은 0.1dB 이하임을 보여주고 있으며, 통과대역에서 임피던스정합관계가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 하향변환기에서의 국부발진기는 온도등 주변영향에 고 안정특성을 나타내어야 하므로 비교적 유전율이 높은($\epsilon_r=34$) 유전체 공진기(DR)를 이용하여 공진부를 설계하였으며 능동소자를 불안정하게 하게 동작시키기 위하여 직렬 귀환을 적용하였다[10]. 그림6.은 마이크로스트립으로 구성된 유전체공진 발진기의 모의실험 회로도 와 모의실험결과를 나타내고 있으며, 모의실험 결과 18.25GHz에서 0.52dBm의 출력전력과 2차 하모닉 억압는 24dBm이상의 특성이 나타났다. 하향변환기에서 믹서단의 설계는 일반적으로 다이오드믹서를 많이 이용하고 있으나 다이오드에 의한 변환손실이 생기므로 pHEMT를 이용하여 변환이득을 가지는 드레인형 믹서를 설계하였

다. 드레인-믹서는 RF입력신호를 게이트 단에 인가하고, 국부발진 신호를 드레인 단에 인가하는 방식으로 믹서의 바이어스는 pHEMT의 게이트단에 바이어스전압을 인가하고 가변저항을 이용하여 IF단의 출력레벨을 조절할 수 있도록 설계하였다[11]. 드레인 믹서에 대하여 IF특성을 모의실험한 결과 19.2GHz~20.2GHz의 입력주파수에서 -50dBm의 입력을 인가하고 국부발진신호를 0dBm을 인가하였을 때의 IF단 출력특성은 -46dBm로 출력이 나왔으며 변환이득은 4dB임을 알 수 있었다. 한편 IF단에서는 출력레벨을 크게 증폭시켜야 하므로 NE32584 pHEMT소자를 이용하여 3단 증폭시켜 60dB의 이득을 얻도록 설계하였다.

결과적으로 K-대역 마이크로파 하향변환기의 설계



(a) 이득과 잡음지수
(a) Gain and Noise figure



(b) 입·출력 반사계수
(b) Input and output reflection coefficient

그림 2. 3단 증폭기의 모의실험 결과
Fig. 2 Simulation of 3-stage amplifier

에서는 입력신호레벨이 -70dBm 범위 정도의 신호레벨이 입사되더라도 저 잡음증폭단의 동작범위(dynamic range)를 고려할 때 IF단에서 30dB의 이득이 나타날 수 있도록 설계하였다.

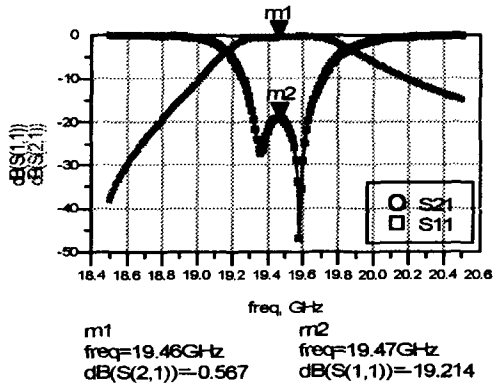


그림 3. 대역통과 필터의 삽입손실과 반사손실
Fig. 3 Insertion loss and reflection coefficient of band pass filter

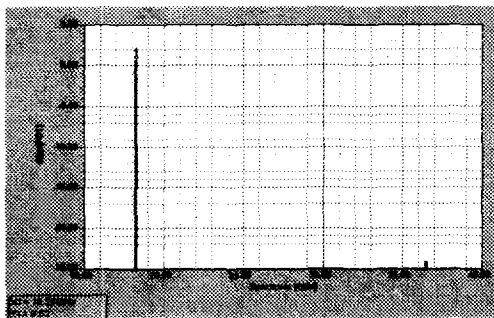


그림 4. 발진기의 모의실험 결과
Fig. 4 Simulation of DRO Oscillator

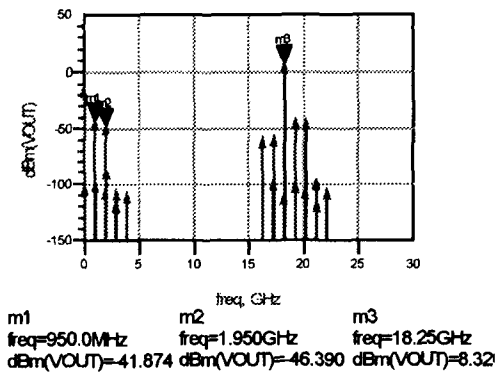


그림 5. 믹서의 IF단 출력특성
Fig. 5 IF Output power of MIXER

III. SMDS용 하향변환기의 설계와 측정

앞 절에서 설계한 각각의 모듈의 특성을 적용하여 그림 6.에서와 같이 저잡음 증폭기, 대역통과 필터, 발진기,믹서로 구성된 SMDS용 하향변환기를 설계하였다. 그림에서 각 모듈의 능동소자를 구동시키기 위하여 능동바이어스를 적용하였으며 높은주파수 대역에서 나타나는 기생파를 억제하고 불요 불급파를 감소시키기 위하여 RFC를 설계하였으며 특히 via-hole의 크기와 수에 따라 특성이 변하므로[12] via-hole에 대한 최적화 과정은 하향변환기의 특성과 비교하면서 설계하였다. 그림7.은 벡터회로망분석기(Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정된 하향변환기의 저 잡음 증폭단의 이득특성과 입·출력 반사계수를 나타내고 있다.

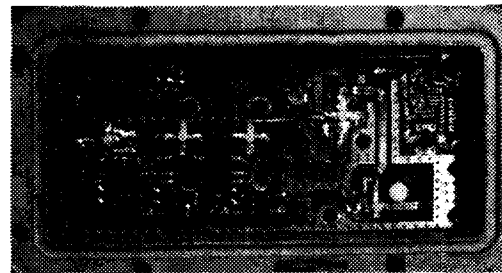


그림 6. 설계된 SMDS용 하향변환기 사진
Fig. 6 Desgned Downconverter for SMDS.

모의실험에서는 저잡음 증폭단(LNA)의 이득은 19GHz~20GHz에서 35dB 이상이였으며, 잡음지수는 0.83dB 이하이었고 입출력 반사계수는 -15dB 이하를 보였다. 이와같은 모의실험 값을 기준으로 직접 설계 제작된 저잡음증폭단에 입력단에 -20dB 감쇠기를 부착하고 측정된 결과 그림7.과 같이 19.2~20.2GHz에서 28dB의 이득과 -15~-20dB의 입·출력 반사계수를 보였다. 측정결과 이득은 모의실험결과와 7~8dB 정도의 차이가 났으나 이득의 차이는 설계된 증폭기를 측정할 때 SMA콘넥터와 4개의 DC-블럭에 의한 손실 오차로 고려할 수 있으며 실제 측정시 모의실험 보다 이득의 대역폭이 커진 이유는 DC-block의 넓은 대역 특성 때문이다. 전체하향변환기의 실험에서는 SMA콘넥터를 사용하지 않으므로 손실이득을 보상할 수 있으며 저잡음 증폭단의 입·출력 반사계수는 모의실험 값과 매우 양호한 특성을 보여 주고 있음을 확인하였다.

그림8.는 하향변환기에 적용되는 BPF를 측정한 삽입손실과 반사손실을 나타내고 있다. 측정결과 삽입손실은 -6dB, 반사계수는 -15dB이하로 나타났다. 모의실험 결과와 측정결과와의 차이는 기판 제작과정에서의 오차와 높은 주파수에서 생기는 손실이 주된 원인이다.

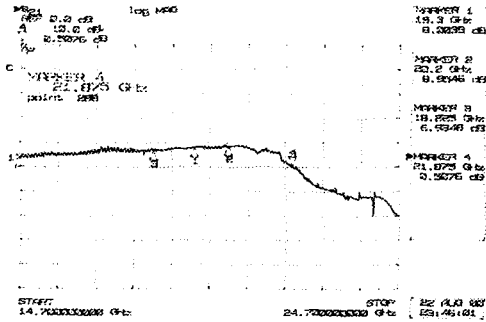


그림 7. 저잡음 증폭단의 측정결과(S21)
Fig. 7 Measurements of low-noise amplifiers (S21)

저잡음 증폭기에서 발생하는 차이는 증폭기 사이의 4개의 DC-BLOCK에서의 손실과 측정시 오차로 때문이며, 실제 측정시 모의실험 보다 이득의 대역폭이 커진 이유는 DC-block의 넓은 대역 특성 때문이다. 저잡음 증폭기에서 출력된 신호에서 19.2GHz~20.2GHz의 대역만을 통과시키기 위한 대역통과 필터(Band pass filter : BPF)는 인터디지털형 필터를 채택하였으며, 인터디지털형 대역통과 필터의 중심주파수는 19.7GHz이며 대역폭은 1GHz로 하였다. 통과 대역인 19.2GHz~20.2GHz에서는 -0.5dB이상의 삽입손실을 가지도록 하였고, 저지대역인 18.25GHz에서 -50dB이하의 삽입손실을 가지도록 8개의 결합선로를 사용하여 설계하였다. 마이크로파 프로그램을 이용하여 각 선로의 폭과 길이, 선로간의 간격을 초기치로 설정하였고 이 값을 바탕으로 최적화 과정을 이용하여 폭, 길이, 선로간의 간격을 설정하였다. 그림4.는 모의실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 삽입손실은 0.1dB이하임을 보여주고 있으며, 통과대역에서 임피던스정합관계가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림5.는 실제 설계한 BPF를 측정한 삽입손실과 반사손실을 나타내고 있다. 측정결과 삽입손실은 -6dB, 반사계수는 -15dB이하로 나타났다. 모의실험 결과와 측정결과와의 차이는 실제 측정할 때 높은주파수에서 나타나는 SMA콘넥터 손실과 케이블손실, 제작과정에서의 손실등을 고려할 때 실제적인 대역통과필터의 삽입손실은 1dB 정도이리라 예상된다.

주된 원인이다.

3단 저잡음 증폭기에서 발생하는 차이는 증폭기 사이의 4개의 DC-BLOCK에서의 손실과 측정시 오차로 때문이며, 실제 측정시 모의실험 보다 이득의 대역폭이 커진 이유는 DC-block의 넓은 대역 특성 때문이다. 3단 저잡음 증폭기에서 출력된 신호에서 19.2GHz~20.2GHz의 대역만을 통과시키기 위한 대역통과 필터(Band pass filter : BPF)는 인터디지털형 필터를 채택하였으며, 인터디지털형 대역통과 필터의 중심주파수는 19.7GHz이며 대역폭은 1GHz로 하였다. 통과 대역인 19.2GHz~20.2GHz에서는 -0.5dB이상의 삽입손실을 가지도록 하였고, 저지대역인 18.25GHz에서 -50dB이하의 삽입손실을 가지도록 8개의 결합선로를 사용하여 설계하였다. 마이크로파 프로그램을 이용하여 각 선로의 폭과 길이, 선로간의 간격을 초기치로 설정하였고 이 값을 바탕으로 최적화 과정을 이용하여 폭, 길이, 선로간의 간격을 설정하였다. 그림4.는 모의실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 삽입손실은 0.1dB이하임을 보여주고 있으며, 통과대역에서 임피던스정합관계가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림5.는 실제 설계한 BPF를 측정한 삽입손실과 반사손실을 나타내고 있다. 측정결과 삽입손실은 -6dB, 반사계수는 -15dB이하로 나타났다. 모의실험 결과와 측정결과와의 차이는 실제 측정할 때 높은주파수에서 나타나는 SMA콘넥터 손실과 케이블손실, 제작과정에서의 손실등을 고려할 때 실제적인 대역통과필터의 삽입손실은 1dB 정도이리라 예상된다.

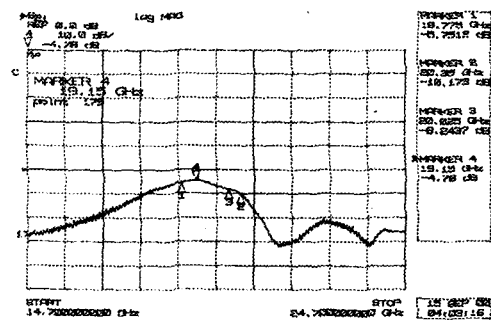
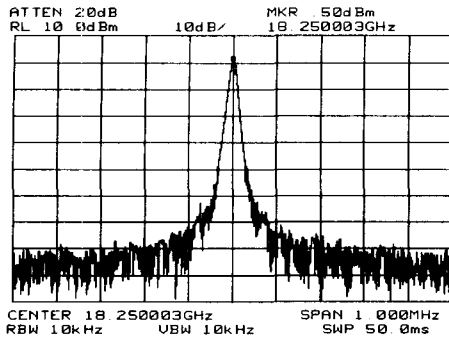


그림 8. 대역통과 필터의 측정결과
Fig. 8 Measured of band pass filter



(a) 18.25GHz의 출력 전력
(a) Output power at 18.25GHz

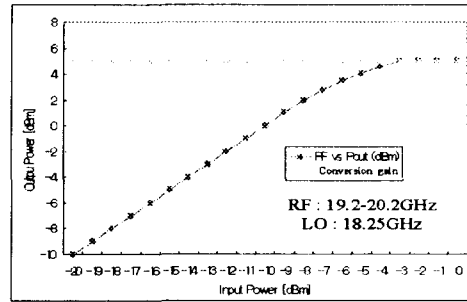
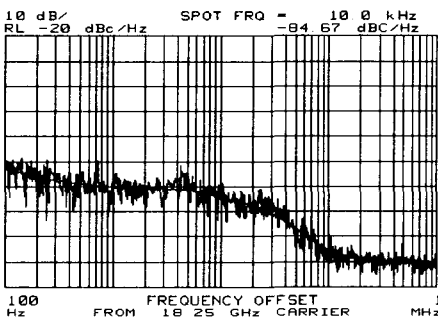


그림 11. 드레인믹서의 변환이득
Fig. 11 Conversion gain of Drain-mixer



b) 위상잡음
(b) Phase noise
그림 9. 발진기의 측정결과
Fig. 9 Measured performance of Oscillator

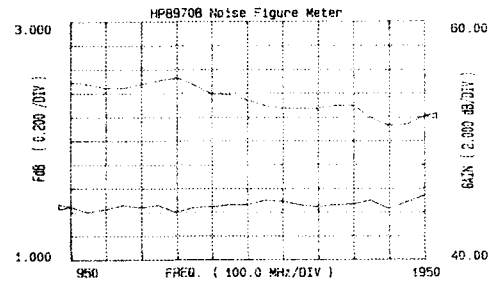


그림 12. 저잡음 하향변환기의 이득과 잡음
Fig. 12 Conversion gain and Noise figure of designed downconverter

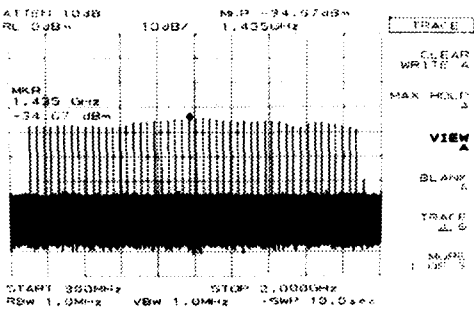


그림 10. 드레인 믹서의 IF출력특성
Fig. 10 IF output performance of Drain-mixer

그림9.은 이론에 의하여 설계된 국부발진기의 측정 결과를 나타내고 있다. 측정결과 18.25GHz에서 유전체 공진 발진기의 출력전력은 0.5dBm의 특성을 얻었

고, 위상잡음은 -84.67dBc/Hz @10KHz의 특성이 나타났다. 모의실험 결과와 실제 측정결과는 유사하게 나타났다으며 발진기의 위상잡음이 상당히 우수하게 나타났다[5]. 그림10.에서 드레인 믹서에 대하여 19.2~20.2GHz의 RF 신호를 -40dBm 을 인가하였을 때 IF단의 출력은 -34.67dBm 가 나타났으며 변환 이득은 손실을 감안 하였을때, 5dB정도 나타났다. 실제 측정시 FET의 게이트 바이어스 변화에 따라 IF단의 평탄도와 변환이득에 변화가 많았으며 변환이득과 평탄도의 절충점으로 바이어스점으로 정하였다. 그림11.는 RF 신호를 -20dBm ~ 0dBm 까지 인가하였을 때 IF단의 출력특성을 나타내고 있으며 증폭기와 대역통과 필터를 통과한 신호의 크기가 -3dBm 이상이 들어가게 되면 pHEMT는 포화되는 것을 알 수 있다. 그림12.은 저잡음 증폭기, 대역통과 필터 믹서, IF AMP로 구성된 전체 하향변환기의 변환이득과 잡음 지수를 나타내고 있다. 측정결과 하향변환기 전체의 변환이득은 54dB이며 잡음지수는 1.5dB이하로 나타남을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 K-band 위성통신용 하향변환기를 설계 및 제작하였다. 하향변환기의 구성은 입력신호 주파수 19.2GHz~20.2GHz에 대해 이득을 높이고 잡음을 최소화시키는 저잡음 증폭기와 19.2~20.2GHz의 대역의 신호만을 통과시키기 위해 7차 인터디지터 대역통과필터, 고유전율 유전체 공진기를 이용하여 18.25GHz의 고안정 유전체 공진 발진기로 이루어졌으며 RF 신호와 국부발진 주파수를 950MHz~2050MHz의 중간주파수로 하향 변환시키기 위하여 pHEMT를 이용한 드레인 믹서를 설계하였다. 설계된 하향변환기에 대하여 측정된 결과 저잡음 증폭기의 이득은 28dB이었으며, 입·출력 반사계수는 -15~-20dB, 대역통과필터의 삽입손실은 -5dB이하로 나타났다. 고안정 국부발진기의 위상잡음은 -84.67dBc/Hz @10KHz이었으며, 드레인믹서를 설계 후 -40dBm의 RF신호를 입력했을 때 IF신호의 전력 레벨은 -34.67dBm, 5dB의 변환이득을 보였다. 설계된 전체 K-대역 하향변환기의 변환이득은 54dB이상을 나타내었으며, 잡음 지수는 1.5dB 이하로 나타났다. 설계 제작한 하향변환기는 SMDS용 하향변환기에 적용할 수 있으며 향후 자기발진 믹서를 적용한 하향변환기 시스템 개발 및 본 연구에서 개발된 하향변환기 기술은 K-band 트랜시버용 수신단에 적용할 수 있다.

참고문헌

[1] H.Izadpanah nad D.Gregoire," MM-Wave Wireless Access Technology For The Wideband Wireless Local Loop Applications.," IEEE RAWCON'98, Aug.1998, pp5-8

[2] Ramjee,"A Survey of future Broadband Multimedia Satellite Systems,Issues and Trends." IEEE communication Magazine, June 2000, pp 128-133

[3] Leslie Rysdale," Digital broadcasting: Satellite Speccification." Philip Journal of Research. Vol.50, No.1/2 Jan. 1996 pp91-104

[4] 이성관 , " 국내통신위성 개발계획," 한국통신학회

지, 제17권 제6호 ,6월 2000년 pp69-77

[5] J.L.Fikart and B.Kocay," Cost Effective Operating Specification of Ka-band MMICs for Multimedia Satellite interactive Terminals." IEEE, MTT-Symposium on Techn.for wireless application Digest. Feb. 1999 pp247-252

[6] S. I. Fuente, J. Portilla," Low-noise Ku- band drain-mixer using P-HEMT technology ," Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems ,V.1 ,Sep. 1998 pp175-178

[7] Behzad Razavi, "RF Microelectronics", Prentice Hall, 1998.

[8] Agilent, ADS V.1.5 2001.May

[9] Douglas J. Mellor, "CAD Synthesis of Interstage Networks for Multi-Stage Amplifiers with a Wide Range of Topologies", IEEE MTT-S Digest, 1988.

[10] George D. Vendelin, "Design of Amplifiers and Oscillators by the S-Parameter Method", John wiley & Sons., inc., 1982.

[11] 정인기, 이영철, "K-band SMDS용 저잡음 하향 변환기의 설계", 한국해양정보통신학회 춘계종합 학술대회 논문집, pp.228-231, 2001. 5월

[12] 심재우, 이영철, " Via-Hole 접지를 고려한 K-대역 인터디지터 대역통과 필터분석" 한국해양정보통신학회 춘계발표논문집 2000.5월 pp



이영철(Young-Chul Rhee)
소속 : 경남대학교 정보통신공학과 교수
1997년 10월 제1권 제1호 p95
참조



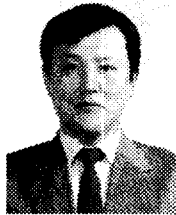
정인기(In-Ki Jeong)

1999년 2월 경남대학교 전자공학과 공학사

2001년 2월 경남대학교 전자공학과 공학석사

2001년2월~현재 경남대학교 정보통신공학과 박사과정 재학 중

※ 관심분야 : 위성통신, 마이크로파 비선형 회로 해석 및 마이크로파 능동소자 모듈 개발



김천석(Chun-Suk Kim)

1980년 광운대학교 응용전자 공학과 졸업(공학사)

1983년 건국대학교 대학원 전자공학과 수료(공학석사)

1997년 경남대학교 대학원 전자공학과 수료 (공학박사)

1983년~현재 여수대학교 전자통신공학과 교수

※ 주관심분야: 전파공학, 수중통신