

---

# Ku 대역용 주파수변환기의 구현

정동근\*, 김상태\*\*, 하천수\*\*\*

Implementation of Down Converter for Ku-Band Application

Dong-Keun Jung\*, Sang-Tae Kim\*\*, Cheun-Soo Ha\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 마이크로파용의 전계효과 트랜지스터를 사용한 저잡음 주파수 변환기의 설계에 대하여 논의한다. 높은 안정도의 유전체공진기를 사용하였고 중간주파수단에서 불필요한 발진을 막기 위해 대역통과여파기를 사용하였다. 공진 주파수가 12.3GHz인 마이크로스트립 안테나를 믹서와 함께 동일한 기판 위에 집적되었으며 고전자 이동 트랜지스터 3개를 사용한 저잡음 증폭기를 안테나 뒤에 부가하였다. 국부발진기의 출력주파수는 Ku 대역용으로서 11.3GHz로 하였다. 측정결과 12.0GHz에서 12.7GHz에 걸쳐 약 7~12dB의 이득을 보였으며, 중간주파수단에서의 잡음지수는 6dB이었다. 설계된 모델은 다이오드형 믹서에 비해 변환손실이 적었으며, 디지털 방송 및 통신시스템에 적용될 수 있을 것이다.

## Abstract

This paper discusses the design of self-oscillating mixer type low noise down converter using the microwave field effect transistor. The mixer is consists of local oscillator in which high stability dielectric resonator and band pass filter to get rid of spurious oscillation at intermediate frequency stage. The microstrip antenna was integrated in the same substrate which generate 12.3GHz and low noise amplifier was also added after antenna using 3 stage of high electron mobility transistors. The output frequency from the local oscillator was chosen as 11.3GHz for the Ku-band application. The measured phase noise was -80dBc/Hz at 100kHz offset frequency, and the gain was 7~12dB in frequency range from 12.0GHz to 12.7GHz. The noise

---

\* 구미기능대학 전자과 조교수 / 금오공과대학교 대학원 전자공학과 박사과정

\*\* 한국산업기술연구원, 선임연구원

\*\*\* 금오공과대학교 전자공학부 교수

접수일자 : 2000년 7월 1일

figure at intermediate frequency stage was 6dB. The designed model shows less conversion loss than previous diode type mixer. The proposed mixer can be used in digital satellite broadcasting and communication system and expected to use in next generation low noise block design.

## I. 서 론

최근 정보통신의 발전 추이는 음성, 영상, 데이터 등의 정보를 실시간에 양방향으로 전달할 수 있도록 복합 다기능화 하고 있으며, 휴대에 용이하도록 소형 경량화 하는 추세이고, 위성을 통한 국제사용환경을 제공하기 위해 이용 주파수도 마이크로파 및 밀리미터파로 확대되어 가고 있고, 신호의 처리방식도 아날로그에서 디지털로 변화해 가고 있는 실정이다.

특히, 전파자원의 효율적인 이용을 위해 제한된 대역에서 보다 많은 정보의 수용과 처리가 가능한 디지털 정보통신시스템의 개발은 세계적인 추세이며, 이는 현재 보편화되고 있는 직접위성통신이나 방송시스템에서도 같은 경향을 보이고 있다.

무궁화위성과 같은 Ku 대역 통신위성을 이용하여 멀티미디어 디지털 신호를 송수신하는 시스템의 사용이 일반화하고 있으나 주로 고정장치에 그치고 있는 실정인데, 소형경량화를 통한 휴대용 개인 단말장치에의 응용을 위해서는 효율이 좋고 경제성이 있는 극소형 모듈의 개발이 필수적이라 하겠다.

자기발진미서의 이용형태를 살펴보면 일반적으로 건다이오드 또는 터널다이오드를 이용하여 도플러 레이더에 적용하여 이동체에서 반사되어 돌아오는 도플러 변이신호를 다시 발진기의 다이오드에 중첩시키는 자기미서의 주파수 변환원리를 이용하여 왔으며, 그 후 전계 효과 트랜지스터(FET : field effect transistor) 능동소자에 자기발진기를 구성하는 주파수 분배 시스템의 적용<sup>[1][2][3]</sup>과 직접방송위성(DBS : direct broadcast satellite) 하향 변환기에 적용한 연구가 발표되었다.

본 연구에서는 Ku 대역용 디지털방송 및 통신에 적용할 수 있는 저잡음 주파수변환기(LNB : low noise block)를 설계하고 그 특성을 분석하며, 이 때 마이크로스트립 안테나와 유전체 공진 발진부

를 능동소자 GaAs MESFET를 사용한 미서와 함께 단일기판 위에 집적시킴으로써 모듈의 소형화, 일체화를 추구하고자 한다.

## II. 설계 및 제작

### 1. Microstrip patch antenna 설계

#### 1-1 안테나의 공진 길이 설계

안테나의 길이는 안테나의 공진 주파수와 관련되며, 원하는 공진 점에서 동작하기 위해서는 안테나의 길이가 반파장 정도 되도록 설계해야 한다. 마이크로스트립 패치 안테나의 설계를 위하여 Bahi가 제시한 설계식을 이용하면 폭 W와 길이 L을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W = \frac{C_o}{2 \cdot f_o} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

$$L = \frac{C_o}{2 \cdot f_o \sqrt{\epsilon_r}} - 2 \cdot \Delta L \quad (2)$$

여기에서  $\epsilon_r$  : 동판의 두께가 고려된 실효 유전율

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2}$$

$\Delta L$  : 가장자리 효과에 의한 등가길이

위 식들은 주파수에 따른 분산효과가 고려되어 있지 않기 때문에 주파수가 5GHz 이상이 되면 W와 L이 너무 크게 되어 결과적으로 공진 주파수가 아래쪽으로 천이되는 현상이 나타난다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 Edward와 Owens에 의하여 제안된 분산 식을 이용하면 (2-2) 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$L = \frac{C_o}{2 \cdot f_o \sqrt{\epsilon_{eff}(f_o)}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{eff}(f_o) + 0.3)(W/h + 0.265)}{(\epsilon_{eff}(f_o) - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (4)$$

패치 안테나의 공진 길이( $L$ )는 식 (3)에 의해서 결정되고 폭( $W$ )은 식 (4)를 사용하여 패치의 크기를 정하고, 최적화기법을 사용하여 설계주파수와 예상 공진 주파수가 일치하는 보다 정확한 패치를 결정한다<sup>[4]</sup>.

이렇게 하여 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 어드미던스( $Y_{in}$ )를 구하고, 입력 콘덴서와 50  $\Omega$  급전선로와의 관계에 의하여 리셋길이를 결정할 수 있다.

### 1-2 안테나 제작

설계된 직사각형 패치 안테나는 이득이 13dB, 빔 폭이 46.8° 그리고 반사계수가 -23dB가 되도록 하였다.

안테나 설계에 사용된 사양은 다음과 같다.

- 공진 주파수 : 12.3GHz
- 편파 : Linear
- 형태 : Rectangular
- 기판의 두께 : 0.5mm
- 기판의 재질 : 테플론(모델명 : MX2-20-C5/C5)
- 기판의 유전율( $\epsilon_r$ ) : 2.5
- 입력임피던스 : 50Ω

HFSS70 프로그램을 이용하여 시뮬레이션해 최적화 된 사양은

- 패치의 폭 : 9.294mm
- 패치의 길이 : 7.538mm
- 급전점(리셋 길이) : 4.882mm이었다

이에 따르는 컴퓨터 시뮬레이션 사양을 그림 1에 나타내었다.

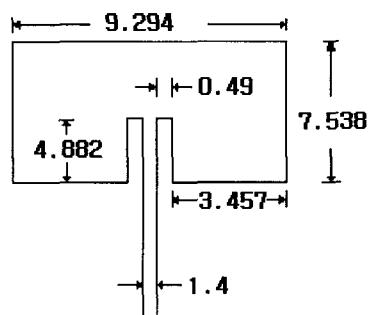


그림 1. 안테나 설계사양

Fig. 1. Specification of Antenna

### 1-3 시뮬레이션 결과

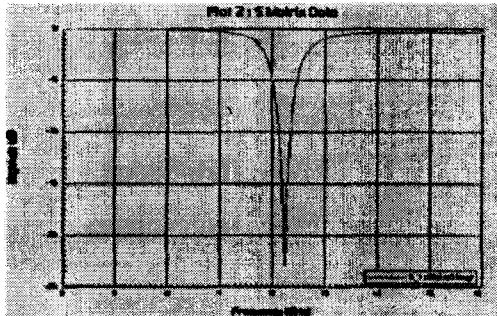


그림 2. 입력단 반사계수

Fig. 2. S<sub>11</sub>

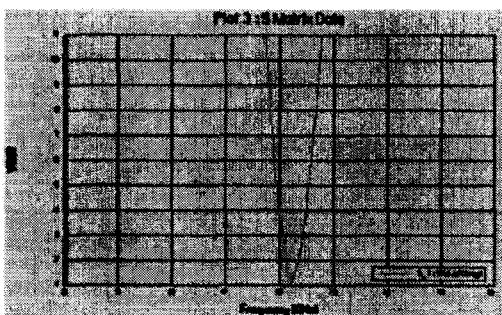


그림 3. 전압 정재파비

Fig. 3. VSWR

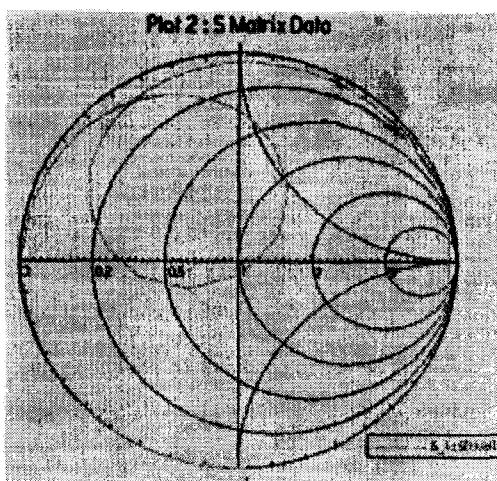


그림 4. Smith 도표(입력 임피던스)

Fig. 4. Smith Chart(Input impedance)

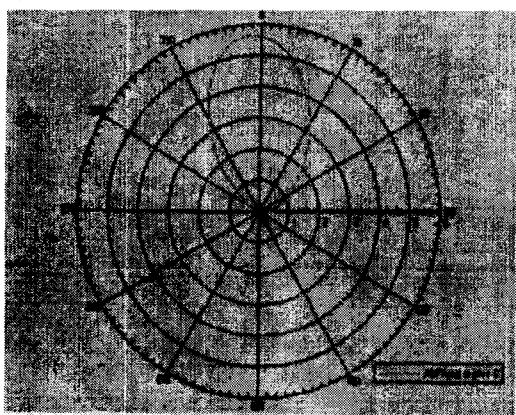


그림 5. 지향성  
Fig. 5. Directivity

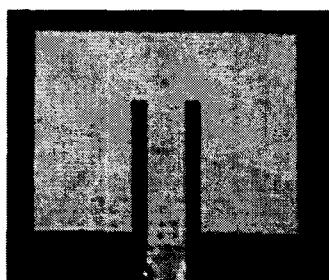


그림 6. 제작된 안테나  
Fig. 6. Fabricated antenna

## 2. LNA 설계

저잡음 증폭기를 3단으로 구성하였는데, 각 단은 저잡음 이득과 입출력 정재파비를 얻도록 설계하였다. 저잡음 증폭기의 구성도를 그림 7에 나타내었다.

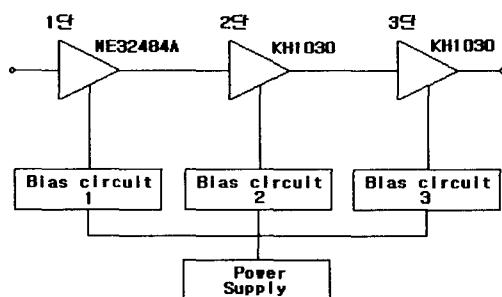


그림 7. 저잡음 증폭기의 구성도  
Fig. 7. Configuration of LNA

### 2-1 각 단 증폭기 설계

첫 단은 변환기 전체의 잡음지수를 결정하는 부분으로 최대한 저잡음을 실현시켜야 한다. 입력정합회로가 중요한 부분이기 때문에 입력정합회로를 먼저 설계한 후 출력정합회로를 설계한다<sup>[5][6]</sup>. 이 때 사용한 HEMT는 NEC사의 NE32484A로 12GHz에서 최소 잡음지수가 0.5dB 이내이며 가용이득은 12.5dB이다.

둘째 단은 가능한 한 저잡음을 구현하면서 이득을 높여야 한다.

셋째 단은 가능한 한 정합이 개선되도록 구현하면서 이득을 높이도록 노력하여야 하는데, 둘째 단과 셋째 단에 사용한 HEMT는 KH1030으로 12GHz에서 최소잡음지수가 0.9dB이며 가용이득은 13.6dB이다.

저잡음 증폭기 설계는 입력주파수 대역 12.0~12.7GHz에 걸쳐 잡음지수는 0.65dB 이하, 전체이득은 35dB 이상을 갖고, 입출력 반사 감쇄량은 10dB 이하를 갖도록 설계하였다.

### 2-2 직류신호 차단회로 설계

첫 단 증폭기와 둘째 단 증폭기 사이, 그리고 둘째 단 증폭기와 셋째 단 증폭기 사이에 바이어스용 직류신호의 차폐를 위한 차단회로가 필요하다. 이를 위해 일반적으로 칩 캐패시터를 이용하나 실제적인 모델의 추출이 어렵고 높은 주파수로 인한 손실이 존재한다. 이것은 각 단 및 전체 증폭기의 이득과 잡음지수에 영향을 주므로 이를 사용하는 대신 MIC 필터에서 많이 사용하는 결합 마이크로 스트립 선로를 사용하여 직류신호 차폐를 하였다.

### 2-3 바이어스 회로 설계

HEMT의 바이어스 방법에는 두 전원법과 자기바이어스법의 2가지 방법을 생각할 수 있다. 자기바이어스법은 마이크로스트립 상에 실현이 어렵고 온도안정도에서 두 전원법보다 불리하므로 본 논문에서는 두 전원법으로 바이어스 회로를 설계하였다.

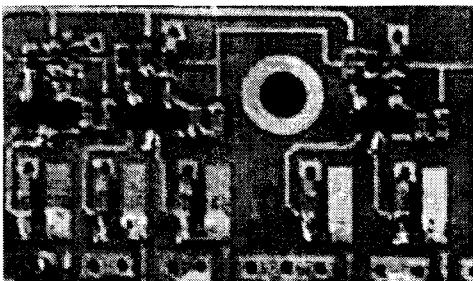


그림 8. 제작된 LNA  
Fig. 8. Fabricated LNA

사진이다.

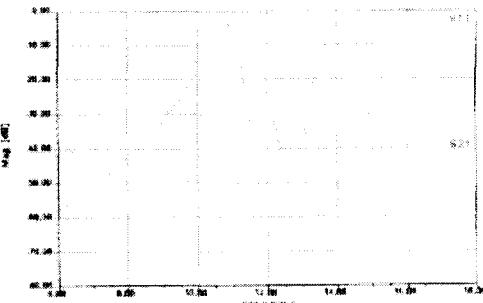


그림 10. 삽입 손실과 반사 감쇠량  
Fig. 10. Insertion loss & return loss

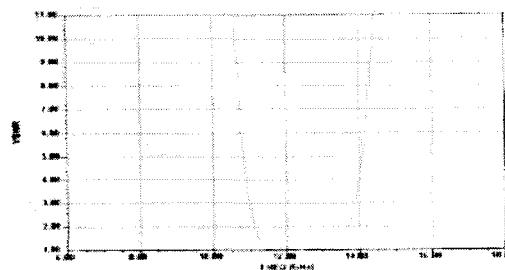


그림 11. 전압 정재파비  
Fig. 11. VSWR



그림 12. 제작된 대역 필터  
Fig. 12. Fabricated BPF

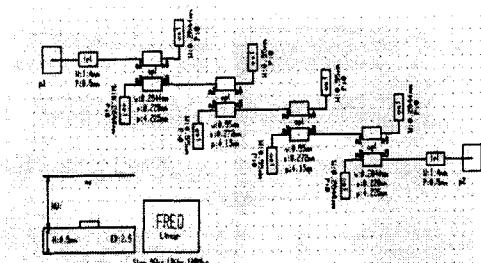


그림 9. 시뮬레이션 모델  
Fig. 9. Simulated model

#### 4. FET mixer 설계

FET에 의한 믹서를 설계하기 위하여 고려되어야 할 사항은 첫 째, 동작주파수 대역과 자기발진 주파수 및 IF 주파수이고, 둘 째, 이에 적합한 FET의 선정 및 고안정 DR<sup>[7]</sup>의 선정이며, 셋 째, 입력 단에서의 RF신호와 자기발진신호 사이의 분리도 및 출력단에서의 단락회로와 IF 및 자기발진신호 사이의 분리도 등이다. 이와 함께 자기발진믹서의

크기와 마이크로스트립선로에 의한 PCB 배치<sup>[8]</sup> 등이 중요한 고려요소가 된다. 이와 같은 고려사항을 반영하여 본 연구에서는 자기발진 믹서부를 Ku 밴드 위성방송 및 통신용에 적합하도록 동작주파수 대역을 12.0~12.7GHz로 하였다.

사용한 소자는 헤테로 접합 FET로 NEC사의 NE42484A인데 저잡음과 높은 이득을 얻을 수 있다. 이 소자의 특징은  $NF=0.8\text{dB}$ ,  $G_a=10.5\text{dB}$ ,  $f=11.3\text{GHz}$ ,  $L_g=0.35\mu\text{m}$ 이다.

이득의 계산은 다음 식으로 구해진다.

$$MSG = \frac{|S_{11}|}{|S_{12}|}$$

$$MAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K \pm \sqrt{K^2 - 1})$$

$$(K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2}{2|S_{12}||S_{21}|})$$

$$\Delta = S_{11} \cdot S_{22} - S_{21} \cdot S_{12}$$

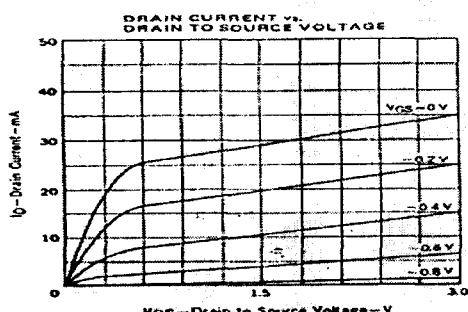


그림 13. 사용된 GaAs FET의 동작점  
Fig. 13. Operating point of used GaAs

### 5. IF amplifier 설계

일반적으로 저잡음 주파수 변환기의 성능에 기여하는 것은 변환이득과 출력 정재파비, 그리고 1 dB 이득 억압점 등이다. 그러나 저잡음 증폭기가 전자에 있고 이들의 이득이 매우 높으므로 잡음지수에는 거의 영향을 미치지 않으며, 이 때문에 중간주파수 증폭기는 저잡음 설계를 하지 않고 정이득 설계를 한다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서 사용한 소자는 NEC사의  $\mu\text{PC}$  2709T이며 이 소자의 등가회로는 그림 14와 같다.

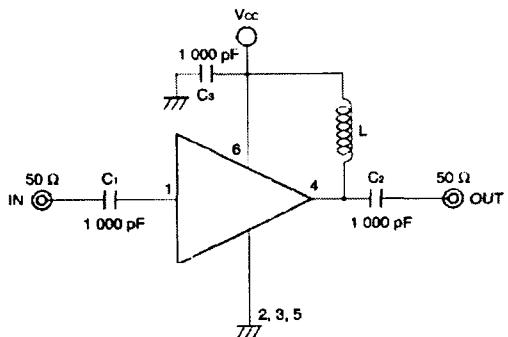


그림 14.  $\mu\text{PC}$  2709T의 등가회로

Fig. 14. Equivalent circuit of  $\mu\text{PC}$  2709T

그림 15는 제작된 IF의 사진이다.

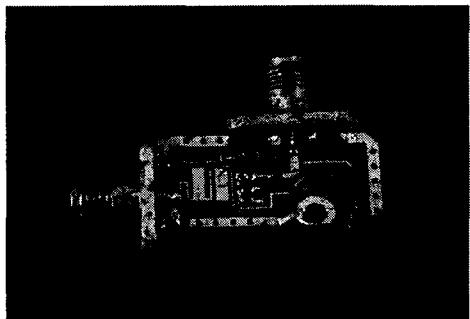


그림 15. 제작된 IF

Fig. 15. Fabricated IF

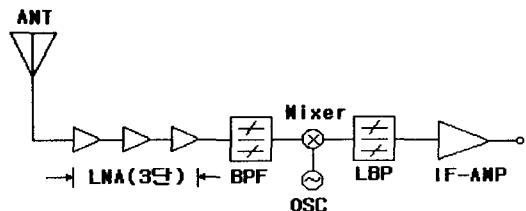


그림 16. 전체회로의 블록도

Fig. 16. Block diagram of LNB

### 6. 스트립기판 설계 및 제작

SERENADE 프로그램을 이용하여 전체회로를 구성하고 최적화 하였으며, 회로의 블록도를 그림 16에, 설계한 전체 회로도를 그림 17에 나타내었다. 또한 그림 18은 회로의 PCB 제작을 위한 배치

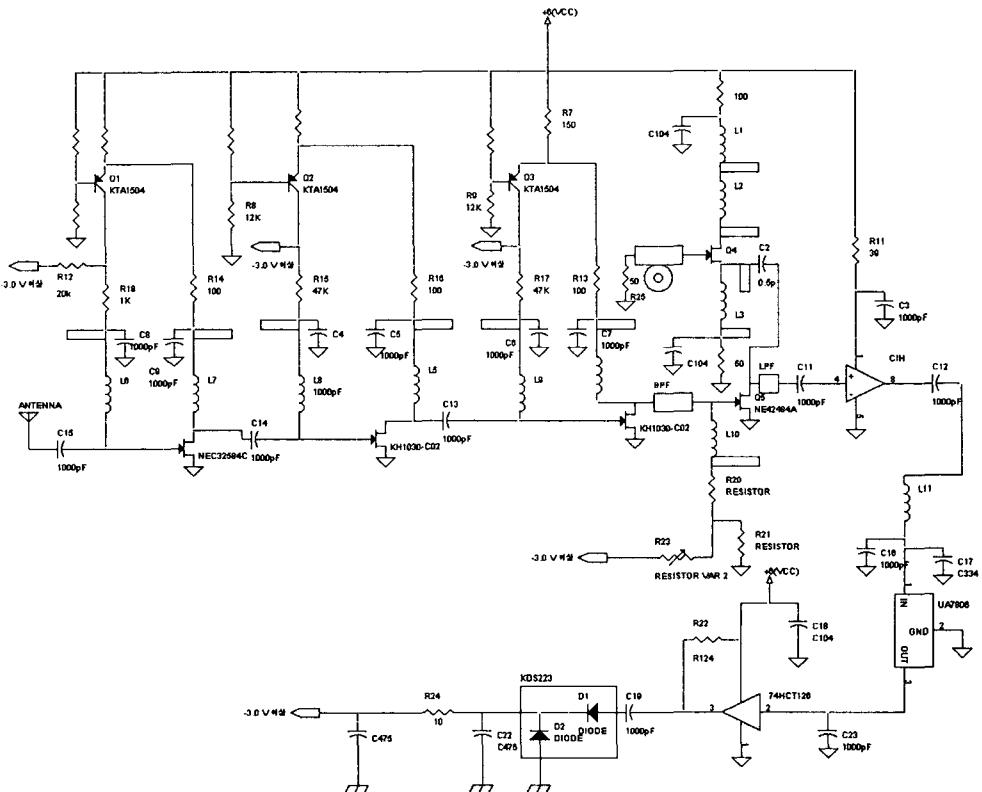


그림 17. 회로도

Fig. 17. Circuit configuration of LNB

도이다.

그림 19는 제작된 시제품의 전 부분을 나타내는 사진이다. 사용된 기판은 두께 0.5mm, 비유전율 2.5, 동판두께 0.018mm의 테플론 재질 MX2-20-C5/C5 모델이며, 사진 식자 기법으로 에칭하여 제작하였다.

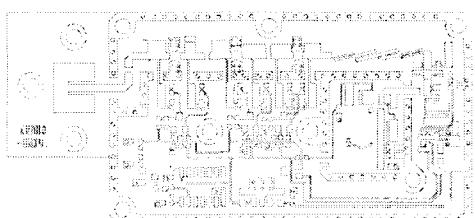


그림 18. LNB 배치도

Fig. 18. Layout of LNB

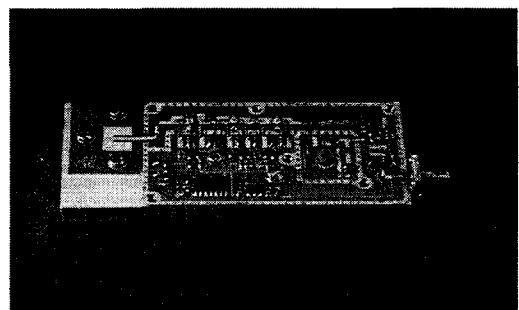


그림 19. 제작된 LNB 모듈

Fig. 19. Fabricated LNB module

### III. 측정 및 고찰

제작된 주파수변환기를 HP사의 네트워크 분석기 8510C(45MHz~50GHz)와 같은 회사의 스펙트럼 분석

기를 이용하여 시험하였다.

마이크로스트립 안테나의 공진 주파수는 설계치 12.3GHz에 근사한 12.27GHz로 나타났는데, 이 차이는 제작상의 오차에 기인한 것으로 추정된다.

안테나단의 측정결과를 그림 20에 나타내었다.

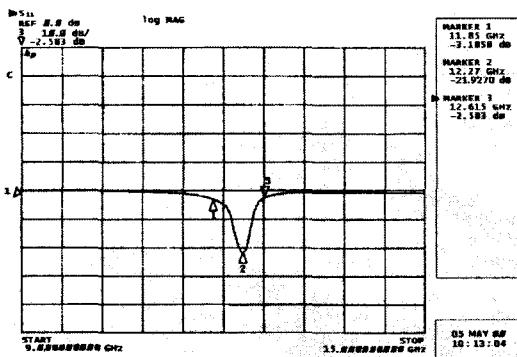


그림 20. Antenna 단의 입력 반사계수

Fig. 20. Measured  $S_{11}$  of antenna

한편 3단의 HEMT로 구성한 저잡음 증폭기(LNA)단의 투과계수를 측정하고 그 결과를 그림 21에 나타내었다. 12.0~12.7GHz대역에서 전체이득이 42.5dB를 보였으며 측정 기기를 보호하기 위해 입력단에 30dB ATT.를 사용하였다.

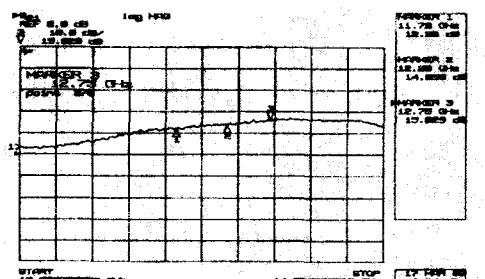


그림 21. LNA 단의 순방향 전달계수

Fig. 21. Measured gain of LNA( $S_{21}$ )

BPF단을 측정하기 위해 HP사의 83650B 신호 발생기를 이용하여 RF 신호를 11.0~12.4GHz까지 sweep시키며 평가한 결과 차단특성이 우수하게 나타났다. BPF단을 측정한 결과를 그림 22에 나타내었다.

그림 23은 라디오 변환기의 잡음지수와 변환율을 보여주고 있는데, 변환율은 약 41dB를 보여주고 있으며, 잡음지수는 약 1.1dB 정도를 나타내고 있다. 라디오의 분리도는 약 23dB로 나타났는데 IF단과 Oscillator 사이의 분리도가 46dB이상임을 감안하면 이는 상용제품에 채용하여도 될 정도의 특성을 보여주고 있다.

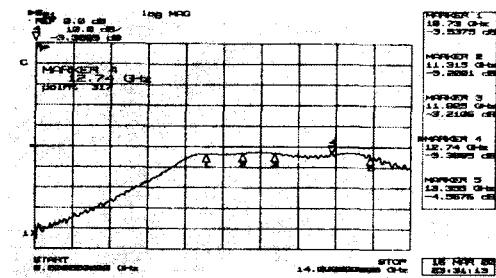


그림 22. BPF 단의 순방향 전달계수

Fig. 22. Measured gain of BPF( $S_{21}$ )

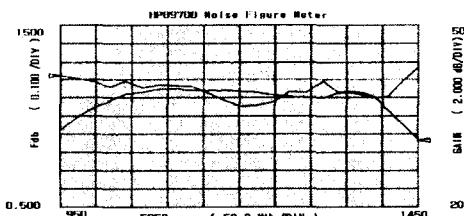


그림 23. 잡음지수 및 변환율

Fig. 23. Conversion gain and noise figure

#### IV. 결 론

본 논문에서는 날로 증가하는 위성방송 수신시스템 등의 핵심부품인 저잡음 주파수변환기(LNB)의 특성을 만족시키기 위하여 마이크로스트립 안테나와 유전체공진 발진기(DRO)를 갖추고 두 신호를 FET를 이용하여 혼합함으로써 중간주파수로 변환시키는 Ku 대역용 라디오를 단일 기판 상에 설계 및 배치하고 그 특성을 분석하였다.

일반적으로 마이크로웨이브용 라디오는 전 다이오드 또는 터널다이오드를 이용하여 도플러 레이더에 적용하여 이동체에서 반사되어 돌아오는 도플

러 변이신호를 다시 발진기의 다이오드에 중첩 입사시키는 자기미서 방식의 주파수 변환원리를 이용하였으나, 그 후 FET 능동소자에 자기 발진기를 구성하는 주파수 분배 시스템의 적용과 DBS 하향 변환기에 적용하는 연구로 발전해 왔다.

본 연구에서는 Ku 대역용 디지털 위성방송 등에 쓰이는 LNB를 소형 기판 상에 설계 및 평가하였는데, 능동소자 FET로 충분한 변환이득을 달성할 수 있었다.

마이크로스트립 안테나의 공진주파수는 초기 설계 시 12.3GHz를 목표로 하였으나 제작 후 측정해본 결과 12.27GHz로 약 30MHz의 차이가 발생하였는데 이는 제작상의 오차로 추정된다. 선택도를 증가시키고 발진주파수 안정도를 증가시키기 위해 LO에서 유전체 공진기를 사용하여 안정된 발진을 유지하였으며, 금속 나사를 조정하여 측정한 결과 중심주파수 11.3GHz의 상하 약 500MHz의 동조 폭을 보였다.

믹서 기능은 12.0~12.7GHz 대역에서 41dB의 변환이득을 나타내었다. 출력단에서 자기발진주파수와 중간주파수 사이에 좋은 분리도를 얻기 위하여  $\lambda/4$  스타브와 저역통과 필터를 구성하여 46dB의 분리도를 얻었다.

이와 같이 설계된 LNB를 다운컨버터 등에 적용할 때 기존의 제품에 비해 이득과 안정도가 좋으며, 단일 기판 위에 안테나부와 발진부를 접적함에 따른 콤팩트화의 장점이 있어 마이크로파 모듈의 소형·고성능화 추세에 부합되어 향후 이동형이나 개인휴대형 단말기용 다운컨버터 등의 연구에 응용이 가능하리라 본다.

### 참고문헌

- [1] C. M. Montiel, L. Fan, and K. Chang, "A novel active antenna with self-mixing and wideband varactor-tuning capabilities for communication and vehicle identification applications", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 44, pp. 2421-2430, Dec. 1996.
- [2] T. Makino and A. Hashima, "A highly stabilized MIC Gunn oscillators using a dielectric resonator", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 27, pp. 633-638, Jul. 1979.
- [3] S. A. Maas, "Theory and analysis of GaAs MESFET mixer", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 32, pp. 1402-1406, Oct. 1984.
- [4] R. Ludwig and P. Bretchko, "RF circuit design", Prentice Hall, 2000.
- [5] B. Razavi, "RF microelectronics", Prentice Hall, 1998.
- [6] G. Gonzalez, "Microwave transistor amplifiers - Analysis and design", 2nd edition, Prentice Hall, 1997.
- [7] D. Kajfer and P. Guillon, "Dielectric Resonators", Artech House, 1996.
- [8] R. E. Collin, "Foundations for microwave engineering", 2nd edition, McGraw-Hill, 1992.



鄭東根(Dong-Keun Jung)  
 1988년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 8월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년 1월 ~ 1996년 2월: 오리온전기(주) 종합연구소 선임연구원  
 1996년 2월 ~ 현재: 구미기능대학 전자과 조교수  
 1988년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학과 박사과정

### 김상태(Sang-Tae Kim)

1980~1984 아주대학교 전자공학과(공학사)  
 1984~1986 아주대학교 전자공학과(공학석사)  
 1994~2000 아주대학교 전자공학과(공학박사)  
 1991~현재 한국산업기술평가원 선임연구원  
 \*주 관심분야 : RF 회로설계, 필터설계



河 千 淮(Cheun-Soo Ha)  
1974 : 홍익대학교(공학사-전자  
공학)  
1979 : 고려대학교(공학석사-전  
자공학)

1984 : 고려대학교(공학박사-통신공학)  
1984~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수  
1987~현재 : LG전자구미연구소 기술고문