

W-대역 라디오미터를 위한 Direct Detection 수신기

Direct Detection Receiver for W-Band Radiometer

문남원 · 이명환* · 정진미* · 김용훈**

Nam Won Moon · Myung-Whan Lee* · Jin Mi Jung* · Yong Hoon Kim**

요 약

W-대역 원격탐사용 라디오미터 구현을 위하여 direct detection 방식의 구조를 가지는 수신기를 설계하였으며, 통신 또는 레이더 수신기 구조와 다르게 저 잡음이면서 60 dB 이상의 고이득을 가지도록 제작하였다. 라디오미터 수신기는 W-대역에서 동작하는 4단의 고이득 저잡음 증폭기와 대역폭 필터, square law detector로 구성되었으며, 제작된 연구 결과를 제시하였다. 개발된 direct detection 수신기는 94 GHz의 입력 주파수와 약 4 GHz의 대역폭, 그리고 56 dB 이득과 입력 신호가 -20 dBm 경우 적분기 출력단에서 4,500 mV/mW의 감도를 보여주고 있다.

Abstract

For the W-band remote sensing radiometer, direct detection type radiometer receiver is designed. The receiver should be low noise and high gain of 60 dB unlike communication and radar receiver. The W-band radiometer consist of 4-stage low noise, high gain amplifier, band pass filter and square law detector. The developed direct detection receiver show 4 GHz bandwidth, 56 dB gain, and 4,500 mV/mW voltage sensitivity at integrator output port for -20 dBm input power at 94 GHz.

Key words: W-Band Radiometer, W-Band Amplifier, Direct Detection Receiver, W-Band Square Law Detector

I. 서 론

라디오미터(radiometer)는 지상에서 대기관측뿐만 아니라, 인공위성에서 해양표면온도, 대기의 연직온도 및 water vapor 등을 측정하여 기후 변화에 따른 지구과학연구에 활용하는 중요한 장비이다. 마이크로파 라디오미터는 1~300 GHz의 넓은 대역의 주파수를 사용하고 있으며, 주파수 별로 측정 목적이 다르게 이용이 되고 있다. 라디오미터 수신기는 통신, 레이더에 이용되는 수신기와 달리 지구 표면에서 복사되는 방사(emissivity) 에너지를 측정하

며, 방사에너지는 일반적으로 밝기 온도(brightness temperature) 또는 휘도로 표현되고, 측정값은 전기적 값으로 획득한다^[1]. 측정 정확도와 측정 감도가 우수한 수신기 설계 제작이 핵심 기술이며, 본 논문에서는 감도가 우수한 W-대역 영상라디오미터를 위하여 개발된 수신기의 연구 결과에 대하여 고찰하고자 한다.

II. W-대역 라디오미터 구조

마이크로파 라디오미터는 total power, direct detection,

광주과학기술원 기계공학과(School of Mechanical Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology)

*(주)밀리시스(Millisys Inc.)

**광주과학기술원 기계공학과, (주)밀리시스(School of Mechanical Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology, and Millisys Inc.)

· Manuscript received March 31, 2017 ; Revised May 10, 2017 ; Accepted May 10, 2017. (ID No. 20170331-028)

· Corresponding Author: Yong Hoon Kim (e-mail: yhkim@gist.ac.kr)

noise injection, dicke 라디오미터, correlation 라디오미터 등 사용 목적에 따라 수신기 구조 방식이 다르게 된다^[2]. 최근에는 밀리미터파 대역까지 이용할 수 있는 MMIC가 상용화되어 소형, 경량의 수신기를 제작할 수 있어, 영상 획득을 위하여서는 direct detection, 대기 고도에 따른 온도 프로파일 측정을 위한 sounding 목적으로는 헤테로다인 방식의 수신기 구조를 많이 사용한다. 본 논문에서는 영상 획득 목적으로 그림 1의 direct detection 라디오미터 수신기 구조로 개발하였으며, W-대역 2단 증폭기 두 개와 대역폭 필터, 전력 검지기 그리고 적분기로 구성되었다. 각각의 모듈에 대한 세부적 설계에 대하여 아래 단락에 자세히 서술한다.

2-1 W-대역 2단 LNA 및 4단 증폭기

W-대역 수신기의 증폭부는 80~100 GHz에서 평균 16 dB 이득을 가지는 ALH504, ALH503 MMIC 칩을 조합하여 사용하였으며, 증폭기 1단에는 밸런스 형태로 구성되어 S_{11} 특성이 좋은 ALH504를 2단에는 ALH503을 사용하여 증폭기를 제작하였다. 칩의 잡음지수 NF = 약 5 dB이다. 입력 포트는 WR-10 도파관을 사용하였으며, 도파관과 MMIC 칩 연결은 도파관 microstrip 변환기를 제작하여 사용하였다. 2단 증폭기의 이득과 출력 반사손실은 각각 26 dB, -17 dB의 실험 결과를 그림 2(a)에 보여주고 있다. 측정시 계측기 보호를 위하여 입력단에 30 dB의 감쇠기를 사용하였다. 4단 증폭기의 경우, 2단 증폭기와 같은 구조를 사용하였으며, 대역폭 필터 포함 전체 이득은 약 56 dB이며, 반사손실은 평균 -15 dB 이하로 측정되었다. 제작된 4단 증폭기의 실물은 그림 3에 제시하였다.

2-2 평탄도 보정 대역폭 필터

증폭기에 사용된 ALH503, ALH504 MMIC 칩은 80~

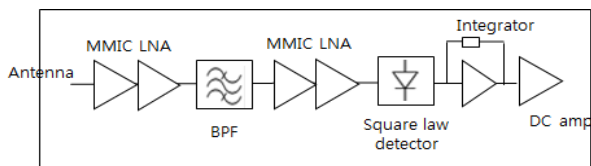


그림 1. W-대역 direct detection 라디오미터 구성도
Fig. 1. Configuration of W-band direct detection radiometer.

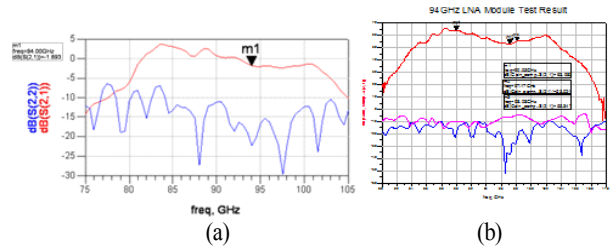


그림 2. 측정된 W-대역 2단 (a) 및 4단 증폭기의 이득 및 반사손실 (b)

Fig. 2. Measured gain and return loss of W-band 2-stage (a) and 4 stage amplifiers including band pass filter (b).

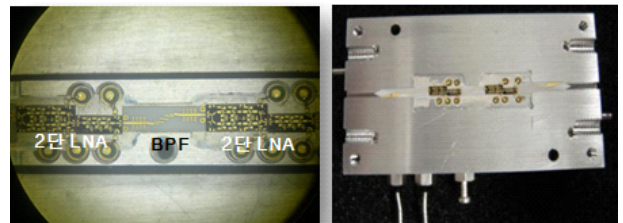


그림 3. 제작된 W-대역 4단 증폭기의 실물사진
Fig. 3. Photo of manufactured W-band 4-stage amplifier.

100 GHz의 광대역에 동작되며, 이득 평탄도가 저주파수 영역에서 더 큰 이득 값의 특성을 가지고 있다. 이러한 증폭기의 평탄도를 보정하기 위하여 대역폭 필터가 저주파수 영역에서 삽입손실이 더 크도록 의도적으로 설계하여 평탄도를 향상시키도록 설계하였다. 필터는 평행결합 (parallel coupled line) 대역폭 필터로 설계하였으며, 그림 4(a)에 시뮬레이션 결과, 그림 4(b)에 측정 결과를 제시하였다. 대역폭 내에서 저주파수 경우, -3.7 dB 고주파 영역에서는 -1.3 dB의 삽입 손실, 반사손실은 -10 dB보다 작

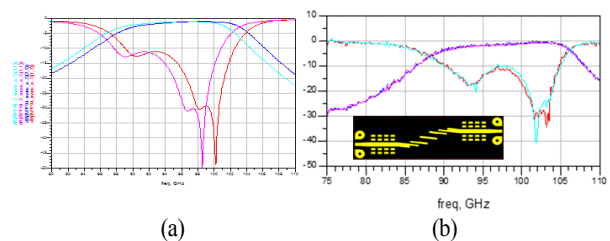


그림 4. W-대역 BPF 시뮬레이션 (a) 및 측정 결과 (b)
Fig. 4. Simulation of band pass filter (a) and measured results at W-band (b).

음을 보여주고 있다.

2-3 W-대역 Square Law 검지기

전력 검지기는 일반적으로 주파수 하향변환 후 IF 단의 저주파수에서 전력을 검지하는 방법을 사용한다. W-대역의 밀리미터파 경우, 하향변환을 위하여서는 90 GHz의 LO 신호가 필요하여 회로 구조가 아주 복잡하여진다. 수신기를 소형화하기 위하여 본 개발에서는 2-1에서 설명한 것처럼 94 GHz의 신호를 직접 검지하는 direct detection 방법을 택하였고, square law detector를 개발하였다. 검지기 다이오드는 zero bias 빔리드 다이오드 HSCH-9161을 사용하였으며, 입력단 정합회로 설계를 위하여 그림 5의 모델과 다이오드 소신호 파라미터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

검지기 시뮬레이션 결과는 그림 6에 제시하였고, 측정

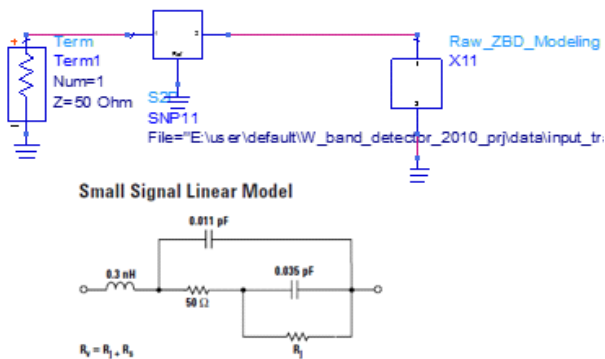


그림 5. 검지기 정합 시뮬레이션 모델, 소신호 파라미터
Fig. 5. Simulation model of detector and diode small signal linear parameters.

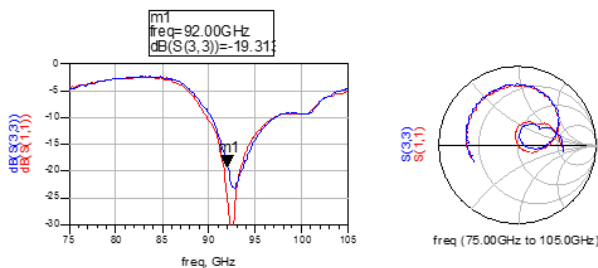


그림 6. 검지기의 입력 정합 시뮬레이션 결과, 94 GHz
Fig. 6. Detector input matching simulation results at 94 GHz.

된 반사손실은 93~102 GHz 영역에서 -10 dB의 우수한 결과를 그림 7에 보여주고 있다. 검지기의 출력 신호는 적분기를 통하여 적분한 후 미약한 DC 전압을 증폭한 후 신호를 저장하게 된다. 본 라디오미터 수신기에서 사용한 적분기는 10 ms의 적분시간을 가지도록 제작되었으며, 적분기, DC 증폭기의 회로와 측정 결과를 그림 8에 제시하였다.

III. 실험 및 성능 분석

W-대역 direct detection 라디오미터 수신기는 앞 절에 서술한 것처럼 설계, 제작되었으며, 각 부분품으로 개발된 4단 증폭기, BPF, square law 검지기와 적분기를 통합한 수신기를 그림 9에 제시하였다. 제작된 수신기의 크기는 680×100×70 mm이며, 인가전압은 12 V, 소모전류는 152 mA이다.

라디오미터 수신기의 성능 검증을 위하여 측정된 수신기 입력 전력 대비 출력 전압을 그림 10에 제시하였다. 94 GHz 입력신호에 따른 출력 응답은 square law 검지기의 특성을 보여주고 있으며, -30~-10 dBm의 입력 신호 구간에서 출력 전압이 5~140 mV의 응답을 보여주고 있다. 측

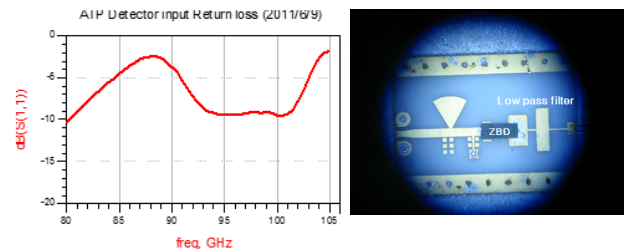


그림 7. 제작된 검지기의 반사손실 측정결과 및 실물사진
Fig. 7. Measured results of return loss and photo for manufactured W-band detector.

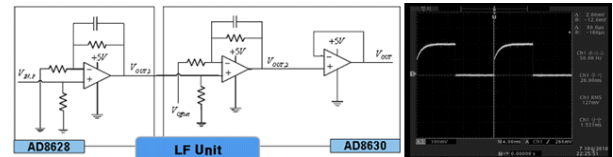


그림 8. 적분기, DC 증폭기 구성 회로와 실험 결과
Fig. 8. Circuit of integrator and measured results.

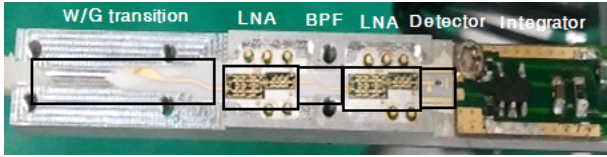


그림 9. 제작된 W-대역 직접검지 라디오미터 수신기 사진
Fig. 9. Photo of manufactured W-band direct detection radio-meter receiver.

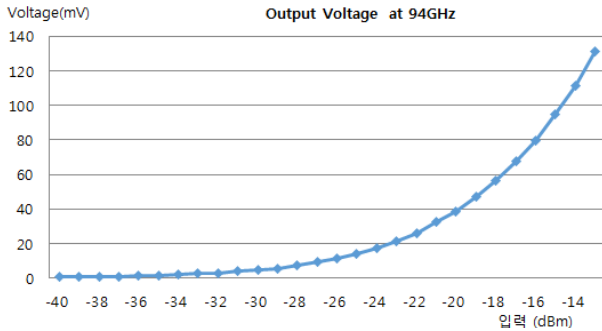


그림 10. W-대역 라디오미터 수신기의 입력 전력에 따른 출력 전압 측정값
Fig. 10. Voltage output measurement of W-band radiometer receiver to input power.

정 검지 영역은 20 dB 이상의 동적 범위(dynamic range)를 가지고 있으며, 라디오미터에서 필요로 하는 2~3 dB의 동적 영역을 훨씬 증가하는 우수한 특성을 보여주고 있다.

그림 11은 적분기 출력단에서 라디오미터 수신기의 감도(mV/mW)를 측정한 결과이며, 입력전력(mW) 대비 출력 전압(mV)을 제시하고 있다. 수신기 감도는 85, 90, 94, 그리고 99 GHz에서 측정하였으며, 94 GHz 대역에서 최고의 감도 특성을 보여주고 있다. 이유는 검지기가 94 GHz 중심 주파수에서 다이오드 정합이 설계되어 증폭기의 출

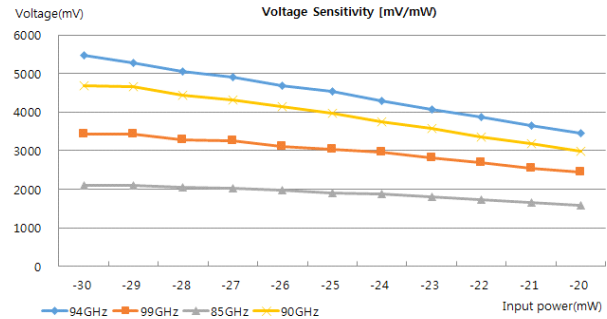


그림 11. 85, 90, 94, 99 GHz에서 측정된 라디오미터 수신기의 적분기 출력단에서 출력전압 감도
Fig. 11. Voltage sensitivity measurement of W-band radio-meter receiver at 85, 90, 94, 99 GHz.

력 신호가 다이오드 검지기에 전력 손실 없이 전달된 결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 국내에서는 처음으로 W-대역 라디오미터를 위한 수신기 개발에 대한 연구 결과를 제시하였다. 제작된 라디오미터는 영상 획득을 위한 항공 또는 위성용으로 이용할 수 있으며, 본 연구 결과를 토대로 향후 200~300 GHz의 라디오미터 설계, 제작에 활용할 예정이다.

References

- [1] Sung-Hyun Kim, Joon-Ho So, Jun-Ho Choi, and Yong-Hoon Kim, "Characterization of material emissivity using 4-stokes W-band radiometer", *IEEE-IGARSS*, pp. 3014-3017, 2013.
- [2] Niels Skou, David Le Vine, *Microwave Radiometer Systems*, 2nd Ed., Artech House, 2006.