http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.3.71
JIWIT 2012-3-10

밀리미터파 복사계의 제작

Fabrication of Millimeter Wave Radiometer

김순구*

Soon-Koo Kim

요 약 물체에서 방사되는 열잡음 신호를 수신하여 증폭하고 검파회로를 거쳐 DC전압으로 출력하는 35GHz 대역의 근거리 디케형(Dicke type) 복사계를 제작하고, 복사계의 온도 보정과 그 특성을 소개한다. 또한 이를 이용하여 특정 물체의 밀리미터파 방사에너지를 측정하기 위한 온도보정에 관한 연구를 수행 하였다. 온도범위 299K ~ 309K 에서 온도 증가에 따른 밀리미터파 복사계의 출력전압은 선형적이었으며, 이 범위의 온도에서 미지의 흑체 복사에너지의 상대적인 양을 밀리미터파 복사계를 이용하여 측정이 가능하다. 실험한 온도 범위에서 온도와 출력전압과의 관계는 V= 0.03601K - 10.70517 을 얻었다.

Abstract We have manufactured a close range Dicke type radiometer which consists of two stage low noise amplifier and diode detector. Frequency range of this system is 35 GHz. And this is used for studying temperature calibration on specific objects. We have present millimeter-wave radiometer's thermal calibration method and its characteristics. From absolute temperature 299K to 309K, in proportion to increase temperature, output voltages are linearly increased. In this case, undefined objects can be measured thermal noise temperature relatively. Overall from absolute temperature 214K to 309K, we have obtained relation of temperature and output voltage;V= 0.03601K - 10.70517.

Key Words : Dicke type radiometer, Millimeter-wave radiometer, Thermal noise, Calibration

Ⅰ. 서 론

밀리미터파(30GHz-300GHz)는 현재 위성통신이나 휴대전화 등에서 이용되고 있는 마이크로파보다도 주파수가 높은 전파이다. 이 영역의 전파는 광섬유의 출현에 의하여 실용성의 측면에서 일시 개발이 중단되었으나 그 후 전파 수요의 증대에 의해 다시 개발이 시작되고 통신 및 특수 용도로 응용 및 실용화에 관한 각종 기술 연구 개발이 활발하게 되고 있다. 밀리미터파대역은 마이크로파대역과 비교하여 다음과 같은 특징이 있다. (ⅰ)센서에 응용하는 경우 고분해능을 얻을 수 있다. (ⅱ) 소형 경량의 시스템을 실현할 수 있다. (ⅲ) 지향성이 예리하기 때문에 간섭이나 혼신이 일어나기 어렵다. (ⅳ) 주파수 대역이 넓어 많은 정보량을 취급할 수 있다. 특히, 가시 혹은 적외 영역과 비교하여 다음과 같은 특징이 있다. (ⅰ)안개나 강우 시에 감쇠가 현저히 적다. (ⅱ) 먼지 등에 대한 내환경성에 있어서 뛰어나다. 따라서 밀리미터파 대역은 응용분야를 적절하게 선택하는 것에 따라서 다른 주파수대역과 비교하여 우수한 특징을 가진 시스템 실현이 가능하다.

*정회원, 상지대학교 이공대학 응용물리전자학과
접수일자 2010.9.4, 수정완료 2012.5.15
게재확정일자 2012.6.8.

Received: 4 September, 2010, Revised: 15 May, 2012
Accepted: 8 June, 2012
*Corresponding Author:kookim@dongguk.edu
Dept. of Applied Physics & Electronics, Sangji University, Korea

밀리미터파 복사계(Millimeter wave radiometer)[1-6]는 물체로부터의 밀리미터파 대역 흑체복사(Black body radiation) 에너지 또는 반사하는 에너지를 측정하는 장치이다. 물체와 감지 시스템 사이에 구름, 연기, 먼지 등의 장애물이 있는 경우[7-8], 가시광선 또는 적외선 감지 시스템을 통하여서는 정보를 얻을 수 없으나 밀리미터파 복사계를 이용하여 물체에 대한 정보를 얻을 수 있다. 또한 밀리미터파 복사계는 포장 제품의 검사, 은익 무기의 탐지[9-12], 자동차의 충돌방지 레이더, 비행기의 착륙 보조 장치[13], 산사태 등의 자연 재해에 대한 감지 등에도 응용할 수 있다. 이와 같이 응용성이 매우 다양한 복사계의 형태는 크게 능동형과 수동형 두 가지로 나눌 수 있으며, 방사에너지 전체를 수신하는 전전력형과 참조 신호를 이용하여 비교하는 디케형 수신기가 있다. 본 논문에서는 35GHz 대역의 근거리 디케형(Dicke type) 복사계[14-15]를 제작하여 복사계의 온도 보정과 그 특성을 소개한다. 밀리미터파 복사계는 특정 물체의 복사 에너지를 감지하기 위해서는 기준의 될 수 있는 열잡음을 측정하여 출력되는 전압은 선형성이 유지되어야만 한다. 특히 열잡음의 변화가 매우 작은 경우를 측정하기 위해서는 온도에 따른 출력 전압의 선형성은 매우 중요하다. 밀리미터파 복사계의 선형성은 제작에 사용된 각각의 저잡음 증폭기와 검파기의 성능에 좌우되지만, 제작이 된 후 전체적인 시스템의 온도 보정, 즉 측정영역에서의 선형성을 검증해야 한다. 제작한 근거리 밀리미터파 복사계의 밀리미터파 영역에서 흑체 복사에 따른 복사계의 보정 방법과 물체로 부터의 방사하는 밀리미터파 에너지의 감지에 따른 시스템 출력 전압과 그에 대응하는 온도의 관계식을 얻었다.

II. 복사계의 제작 및 온도 측정

각종 물리량의 측정은 센서에서 전기신호로 변환하여 측정기에 입력된다. 따라서 필요한 신호만을 얻는 것은 무척 어려우며, 보통 불필요한 신호도 함께 측정된다. 잡음은 여러 곳에서 뒤섞여 들어오게 되며, 잡음은 전기신호뿐만이 아니라 측정하는 물리량 그 자체에 포함되는 경우도 있다. 또한 경우에 따라서는 목적 신호보다 훨씬 큰 레벨이 되는 경우도 있다. 측정하고자 하는 신호가 미소한 레벨이 되면 상대적으로 잡음이 커지게 된다. 밀리미터파 복사계의 제작에 있어서 저잡음 증폭기는 시스템 전체의 성능에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 자연계에서 방사되는 열잡음은 거의 노이즈와 같은 정도의 전력을 나타내므로 잡음과 방사되는 열잡음을 구분하기 위해서는 잡음지수 성능이 매우 우수한 저잡음 증폭기를 선택해야 한다. 또한 검파기의 최소 신호감지 전력까지 증폭단에서 증폭이 이루어 져야 한다. 이것을 고려하여 증폭단은 Quinstar Technology사의 저잡음 증폭기를 2단으로 사용했고, 각각의 증폭기는 중심 주파수 35GHz에서 이득이 34dB, 잡음지수가 2.8dB이다. 검파기는 감도가 1000mV/mW 이고, 최소 신호감지 전력은 -56dBm인 Quinstar Technology사 검파기를 사용했다. 안테나는 혼 안테나를 사용했으며, SPDT 스위치를 이용하여 물체에서 방사되는 열잡음과 Cal. LOAD단을 반복적으로 스위칭 하도록 제작하였다. 흑체로 사용된 전파 흡수체는 EMERSON&CUMING사의 AN-77을 사용하였다.

SPDT스위치는 PC의 데이터 수집 보드를 이용하여 40Hz의 주기를 갖고, 5Volt와 0Volt의 구형파를 입력하여, 반복적으로 안테나와 Cal. LOAD단으로 스위칭 되도록 하였다. 사용된 PC의 데이터 수집 보드는 1개의 스위칭 제어 단자와 3개의 J-type 열전대 측정단자, 그리고 1개의 전압측정용 단자를 사용하였다. J-type 열전대 측정은 흑체표면의 각부분 온도의 분포를 정확하게 하기 위해 3곳에 설치하여 각 부분의 온도를 측정 하고 평균값을 계산 하였다. 데이터 수집 보드의 샘플링 주파수는 20KHz로 하여 전압 측정용 단자에서 1초에 20,000개의 데이터를 얻는다. 실제 측정은 약 10초간 이루어지며, 얻어진 데이터는 직접 제작한 PC 프로그램에 의해 처리 하였다. 제작된 시스템의 구성도를 그림 1에 나타냈으며, 그림 2는 제작된 시스템의 사진이다.

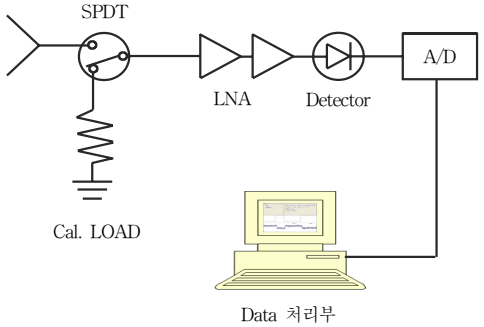

그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. Schematic of Millimeter wave radiometer system.

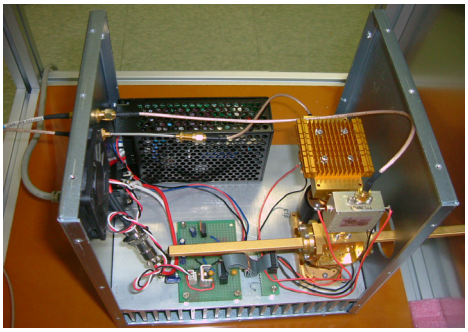

그림 2. 제작된 시스템 사진
Fig. 2. Photograph of the manufactured system.

측정 시 외부의 영향을 최대한 감소시키기 위하여 외벽을 알루미늄 판을 이용하여 차단하였으며, 외벽의 안쪽 면을 전파 흡수체로 차단하여 내부에서 반사되는 전자파의 영향을 최소화 하였다.

밀리미터파 복사계를 이용하여 흑체의 열잡음을 측정하기 위해서는 측정 전에 저잡음 증폭기 및 검파기의 안정적인 동작을 위해 1시간 이상의 예열 시간이 필요하다. 전원이 공급된 직후의 평균 출력전압은 1시간 정도 예열을 시킨 출력전압보다 3.5 % 정도 높게 나타났으며 그 이후에는 큰 변화가 없었다. 그러므로 예열이 1시간 이상 충분히 이루어진 상태에서 측정을 하였다. 측정에 사용된 흑체 대용 전파 흡수체 크기는 25×25Cm이며, 안테나로부터 25Cm거리를 유지하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

제작된 밀리미터파 복사계를 충분히 예열한 후, 흑체로 사용된 전파 흡수체의 온도를 전열기를 사용하여 상온보다 높은 온도로 변화시키면서 검파기의 출력 전압을 측정하였다. 온도 변화 시에는 전파 흡수체의 온도가 평형상태에 이르도록 한 후에 측정하였으며 이와 병행하여 열전대를 이용하여 전파 흡수체의 온도를 측정하였다. 상온 범위 이상에서 전열기를 켠 상태에서 전파 흡수체의 표면 온도가 평형상태에 이를 수 있도록 충분한 시간을 가열한다. 본 실험에서는 전열기의 온도를 313K로 고정하여, 전열기 표면의 온도가 313K에 이르도록 한 후 2시간 동안 대기 하고 전파 흡수체의 표면 온도에 변화가 없을 때를 평형상태로 간주하고 측정 진행하였다. 평형상태에 이르렀을 때 전파 흡수체의 표면 온도는 299K를 나타냈다. 실험 장치의 구조상 전열기 표면 온도와 전파 흡수체 표면 온도는 차이가 있었다. 하지만 측정 시스템의 안테나로 방사되는 열잡음은 전파 흡수체 표면에 의한 것이므로 전파 흡수체의 표면 온도를 기준으로 검파기의 출력 전압을 측정하였다. 측정은 전열기의 표면 온도를 363K까지 10K 간격으로 증가시키면서 동일한 방법으로 측정 실험을 실시하였다. 전열기의 표면 온도가 363K 일 때 전파 흡수체의 표면 온도는 309K를 나타내었다. 이 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 Linear Fitting 하여 전파 흡수체의 온도와 출력전압과의 관계식 V = 0.03601K - 10.70517을 얻었다.

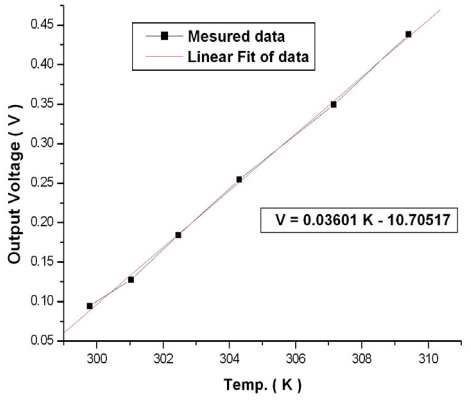

그림 3. 상온 범위 이상에서의 온도와 출력전압 특성
Fig. 3. Characteristics of Temperature vs. output voltage within over the room temperature.

Ⅳ. 결론

흑체로 사용된 전파 흡수체의 온도변화를 제작된 밀리미터파 복사계를 이용하여 측정하였다. 전파흡수체의 표면 온도가 299K~309K 일 때 온도에 따른 열잡음특성이 매우 양호한 상태의 선형 특성을 보였다. 온도 범위 299K~309K에서는 출력전압과 온도와의 관계는 V = 0.03601K - 10.70517 이였다. 이와 같은 결과는 299K~309K의 온도 범위에서 이 시스템을 이용해서 특정물체의 고유 열잡음 전력을 측정하고 이를 통하여 물체의 온도를 판별 할 수 있음을 보여준다. 밀리미터파 복사계를 이용하여 물체의 온도를 정확하게 측정하기 위해서는 저잡음 증폭기 및 검파기의 선형성을 증가시키는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 현재 상용화되어 있는 밀리미

터파 복사계를 이용한 은익 무기 탐지 시스템 외에도 제작된 시스템으로 측정한 결과에 측정 대상이 되는 물체에 따른 고유의 방사율 특성을 고려하면, 물체의 상태 판별이 가능할 것이며 이러한 기능을 응용하면 포장을 개봉하지 않은 상태에서 물체의 감식기능과 음식물이나 과일 등의 선별에도 응용 가능성이 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Jungang Miao,Thomas Rose, Klaus Kunzi,and Peter Zimmermann, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 23, No. 8, 1159(2002)

[2] J. C. Liljegren, Ninth ARM Science Team Meeting Proceedings, San Antonio, Texas, March 22 (1999)

[3] G. J. Smith, University of Lethbridge, Faculty of Arts and Science, 2000

[4] B. N. Lyons, D. R. Vizard, J. P. Pike, W. M. Keily, Microwave and Optical Technology Letters , vol. 6, no. 12, 677(1993)

[5] Y. S. Chae, S. K. Kim, E. H. Lee, J. K. Rhee, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 43 , 176(2006)

[6] S. Yang, Z. Nie, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Volume 28, Issue 7, 531(2007)

[7] J. Y. Delahaye, P. Gole, P. Waldteufel, Radio Science, vol. 37, 11(2002)

[8] D. M. LeVine and S. Abraham, IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens., vol. 42, 119(2004)

[9] C. R. Seashore, J. E. Miley, B. A. Kearns, Microwave Journal, vol. 22, 47(1979)

[10] J. Huck, Personenscanner, Diploma Thesis, Fachhochschule Koblenz, Koblenz, (2005)

[11] S. Erukulla, Design and Optimisation of Millimetrewave Sensors for Security Imaging, Master''s Thesis, Chalmers University of Technology, G¨oteborg, (2006)

[12] Guang-Feng Zhang, Guo-Wei Lou, Hong Wang, Microwave and Optical Technology Letters Volume 50(12), 3259(2008)

[13] I. M. Blankson, 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 10 - 13 January (2005)

[14] David M. Pozar, "MICROWAVE ENGINEERING , Third Edition", John Wiley & Sons, 669(2005)

[15] Nazzareno Mandolesi, N. Vittorio, "The Cosmic microwave background, 25 years later", Kluwer academic Publisher(1995)

저자 소개

김 순 구(정회원)

- 1982년 동국대학교 물리학과(이학사)
- 1984년 동국대학교 물리학과(이학석사)
- 1994년 동국대학교 물리학과(이학박사)
- 2001년~2002년 일본 동북대학 전자통신연구소(연구원)
- 2009년 ~ 현재 상지대학교 응용물리전자학과 겸임교수

<관심분야 : 초전도 재료, 반도체 소자 제조공정기술, RFID.>