

实时定标微波辐射计¹

李 靖 张俊荣 赵 凯

(中国科学院长春地理研究所 微波遥感研究室 长春 130021)

摘 要 本文提出了一种新形式的微波辐射计,即实时定标微波辐射计。这种体制的微波辐射计具有的特点是:不受增益波动的影响,不受本机噪声变化的影响,能够提供连续的定标,动态范围宽等。制作了一台 C 波段实时定标微波辐射计,积分时间为 0.2s,灵敏度为 0.2K,线性度为 0.9990,适应于地面、机载和星载微波遥感。

关键词 微波辐射计,实时定标微波辐射计

中图分类号 TM931

1 引 言

自从 1946 年 Dicke 型微波辐射计诞生以来,随着实际需要和微波、电子元器件的发展,微波辐射计的性能也在不断地提高。微波辐射计已从射电天文的应用,发展成对地观测的微波遥感器。微波辐射计发展至今,可概括为五种基本类型:全功率型微波辐射计, Dicke 型微波辐射计^[1],负反馈零平衡 Dicke 型微波辐射计^[2],双参考温度自动增益补偿型微波辐射计^[3],数字增益自动补偿型微波辐射计^[4]。本文提出的实时定标微波辐射计完全消除了增益波动和系统噪声波动的影响,技术难度低,是一种新体制的微波辐射计。

全功率型微波辐射计就是一台灵敏的超外差微波接收机,是其它类型微波辐射计的基础。它的电路结构简单,输出受增益波动和本机噪声变化影响较大。为消除本机增益波动的影响,采用接收机输入端交替地接到天线端口和参考源端口,在平方律检波后进行相关检波和相减处理,即 Dicke 辐射计,但这种方法只有在天线温度同参考源温度相等时,才能全部消除接收机增益波动的影响。负反馈零平衡型微波辐射计,是自动地调整参考源或天线通道的附加噪声温度,使它们相等,经相关检波和相减处理,消除系统增益波动的影响。一般用 PIN 二极管衰减器作为反馈环中的反馈调整元件,以满足跟踪观测目标的快速变化,但 PIN 二极管或多或少地引入散弹噪声。因为增加负反馈,增加了几个微波有源、无源元件,使系统复杂化,技术难度大。双参考温度自动增益补偿微波辐射计是使天线信号和高、低温参考源相继循环接入接收机,通过系统后检出两个参考源的差值,从差值变化判定增益变化,用此变化控制后置放大器增益,使之产生大小相等方向相反的变化,从而补偿了系统增益的变化,但要求很高的后置反馈控制环,增加了一个参考源。数字自动补偿型微波辐射计,很好地实现了增益自动补偿,是参考信号通过系统后,在数字补偿系统中与基准比较,其结果反映出辐射计系统增益的波动大小,据此修正相继而来的接收的信号值,从而达到系统增益不变的目的。实时定标微波辐射计以全功率型微波辐射计为基础,外加单片机采集、数据处理、显示电路和内部两个基准源,它没有同步解调和负反馈回路,降低了电路的复杂程度。周期测量输入为高温参考源、低温参考源和天线时的输出电压,数据处理过程中,所用到的电压量是以上三个电压量差值线性的组合,通过电压的差值消除了本机噪声变化的影响;最后输出是电压差值的线性组合相除,相除的结果消除了增益变化的影响。这样既消除了增益波动的影响,也消除了本机噪声波动的影响,这

¹ 1996-11-08 收到, 1997-08-06 定稿
吉林省科委青年基金资助课题

是其它类型微波辐射计所没有的性能，从而获得最小可检测信号近似于由系统噪声引起的不确定性。这种体制的微波辐射计的最小可检测信号只依赖于参考源的稳定度。

2 工作原理

图 1 为实时定标微波辐射计原理框图。主要由两个射频开关，两个恒温源，射频放大器，本振，混频器，中频放大器，平方律检波器，直流放大器和低通滤波器，A/D 变换器，单片机和输出显示等电路组成。输入开关，它或者把天线端口，或者把参考端口与接收机相连；参考开关，它把输入开关与具有恒定温度为 T_1 和 T_2 的两个参考源之一相连。

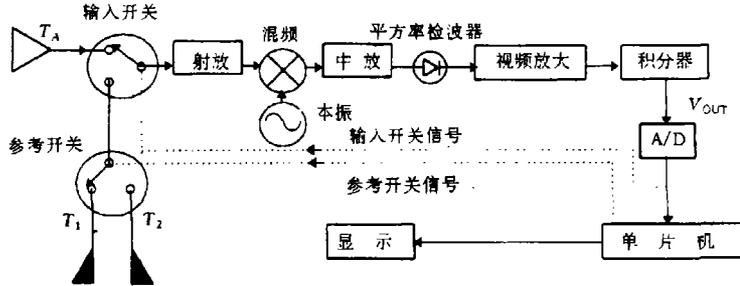


图 1 实时定标微波辐射计原理框图

在任意一个定标周期内，接收机相继与参考源 T_1 、参考源 T_2 和天线相连接，其输出电压 V_1 、 V_2 和 V'_A 可写成如下形式

$$V_1 = G(T_1 + T_{REC}), \tag{1a}$$

$$V_2 = G(T_2 + T_{REC}), \tag{1b}$$

$$V'_A = G(T'_A + T_{REC}), \tag{1c}$$

由 (1a) 和 (1b) 式可确定这个信号测量周期内的定标方程系数，即系统的增益 G 和本机噪声 T_{REC} 。将 G 和 T_{REC} 的值代入 (1c)，计算 T'_A 得

$$T'_A = \frac{(V'_A - V_2)T_1 - (V'_A - V_1)T_2}{V_1 - V_2} \tag{2}$$

每进行一次测量，新采集一次 V_1 和 V_2 ，进行一次定标，这样即使在下一个周期内系统的增益 G 和本机噪声 T_{REC} 发生变化，它的定标方程也跟着变化，即对接收机系统进行了实时定标，达到对信号的准确测量。由 (2) 式可以看出实时定标微波辐射计利用天线、高温参考源和低温参考源的输出电压之差，消除本机噪声 T_{REC} 的影响，又利用电压差的线性组合相除，消除增益 G 波动的影响，使整机具有良好的稳定性，从而使微波辐射计的最小可检测信号接近理想微波辐射计的最小可检测信号。这种工作过程，实际上是在系统增益和系统噪声慢变化之上进行目标信号测量。

3 样机研制和整机指标测试

研制了一台 C 波段实时定标微波辐射计，并对其最小可检测信号等各项指标进行了测试。最小可检测信号的测试过程为先将接收机定标后，输入端接匹配负载，整个装置置于恒温环境中，然后测量其输出亮温变化。图 2 为开机一小时后的测量实验结果。其均方根为 $RMS=0.16K(1\sigma)$ ，即其最小可检测信号 $\Delta T = RMS \approx 0.2K$ 。辐射计的积分时间是低通滤波器的积分时间常数的

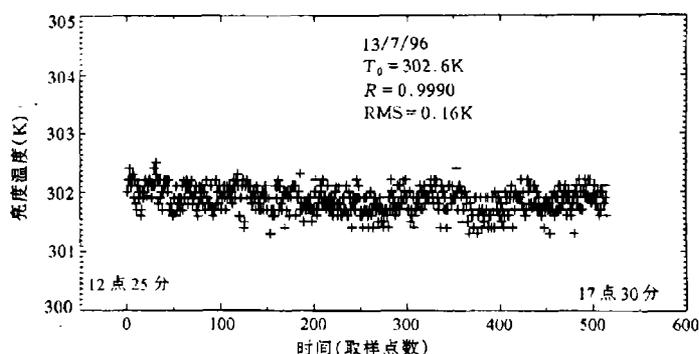


图2 实时定标微波辐射计输出随时间变化曲线

两倍, 即 $\tau = 2\tau_{RC} = 0.2s^{[5]}$ 。如果辐射计的最小可检测信号按标准积分时间 1s 计算, 则其最小可检测信号 $\Delta T = 0.1K$ 。它的最小可检测信号完全能够满足遥感的要求。

现将整机指标总结如下:

中心频率: 5.4GHz

中频带宽: 200MHz

积分时间: 0.2s

最小可检测信号: 0.2K

线性度: 0.9990

4 结 论

实时定标微波辐射计以全功率型微波辐射计为基础, 外加单片机采集、数据处理、显示电路和内部两个基准源。周期测量输入为高温参考源、低温参考源和天线时的输出电压。数据处理时, 所用到的数值是以上三个电压量差值的线性组合, 通过电压的差值消除了本机噪声变化的影响; 最后输出是电压差值的线性组合相除, 相除的结果消除了增益变化的影响。这种既消除本机噪声波动也消除增益波动的工作过程, 实际上是在系统增益和系统噪声慢变化之上进行目标信号测量, 从而获得最小可检测信号近似于由系统噪声引起的不确定性, 最小可检测信号只依赖于参考源的稳定度。

实时定标微波辐射计是一种新的体制。它具有实现实时定标, 直接显示亮度温度; 消除增益波动和本机噪声波动的影响; 具有良好的重复性和稳定性; 动态范围大, 技术难度低等优点。有利于地面、机载和星载微波遥感使用。

参 考 文 献

- [1] Dicke R H. The measurement of thermal radiation at microwave frequencies. *The Review of Scientific Instruments*, 1946, 17(7): 268-275.
- [2] 张俊荣. 零平衡微波辐射计研制. 长春遥感试验论文集 (2), 北京: 科学出版社, 1988, 18-31.
- [3] Hach J P. A very sensitive airborne microwave radiometer using two reference temperatures. *IEEE Trans. on MTT*, 1968, MTT-16(9): 629-636.
- [4] 张俊荣, 赵凯. 数字增益自动补偿型微波辐射计. 专利号: ZL96220482. 2.

- [5] Tiuri M E. Radio astronomy receivers. IEEE Trans. on AP, 1964, 12 : 930-938.

REAL-TIME CALIBRATED MICROWAVE RADIOMETER

Li Jing Zhang Junrong Zhao Kai

(*Microwave Remote Sensing Lab., Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun 130021*)

Abstract In this paper, a new type of microwave radiometer, real-time calibrated microwave radiometer was introduced. It has the following characteristics: (1) insensitive to system gain variations; (2) insensitive to receiver noise temperature variations; (3) the ability to provide real-time calibration; (4) wide measurement range. The prototype of real-time calibrated microwave radiometer at C-band was made in our laboratory. The integration time is 0.2s, the sensitivity is 0.2K, linearity of the receiver is 0.9990. It is adaptive for the use of ground, airborne and spaceborne microwave remote sensing.

Key words Microwave radiometer, Real-time calibrated microwave radiometer

- 李 靖: 男, 1967年生, 博士, 现在中科院空间中心博士后。从事微波遥感器研制和微波遥感理论研究。发表 13 篇论文, 2 项专利。
- 张俊荣: 男, 1934年生, 研究员, 博士生导师, 从事微弱信号检测, 雷达, 通讯, 微波遥感器研制, 微波遥感理论研究, 在国内外发表 100 余篇论文, 7 项专利, 获 12 项国家和省部级科技进步奖。
- 赵 凯: 男, 1962年生, 研究员, 微波遥感研究室主任, 从事微波遥感器研制和微波遥感应用研究, 发表 20 余篇论文, 获国家和省部级科技进步奖 4 项。