

胡帆, 柴秀梅, 王凌震, 等. 利用微波功率传感器判断新一代天气雷达故障[J]. 气象, 2011, 37(8): 1042-1044.

# 利用微波功率传感器判断新一代天气雷达故障<sup>\* 1</sup>

胡 帆<sup>1</sup> 柴秀梅<sup>2</sup> 王凌震<sup>3</sup> 周红根<sup>1</sup>

1 江苏省气象技术装备中心, 南京 210008

2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

3 江苏省气象台, 南京 210008

**提 要:** 近年来, 以平面掺杂势垒二极管为核心构成的微波功率传感器与小功率计配合, 能实现对微波功率的高速、高精度和连续测量, 广泛应用于天气雷达等高频设备信号功率的测量。文章详细阐述了微波功率传感器的特性和电路原理, 以及该传感器与小功率计的连接、设置和使用方法。并以在 CINRAD/SA 雷达发射机、接收机中两个典型故障检修事例, 论述了微波功率传感器在天气雷达上的应用。

**关键词:** 平面掺杂势垒二极管, 高速高精度微波功率传感器, 原理, CINRAD/SA, 应用

## Estimates of Malfunction of CINRAD by Microwave Power Sensor

HU Fan<sup>1</sup> CHAI Xiumei<sup>2</sup> WANG Lingzhen<sup>3</sup> ZHOU Honggen<sup>1</sup>

1 Meteorological Technology and Instrumentation Centre of Jiangsu Province, Nanjing 210008

2 CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081

3 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

**Abstract:** In recent years, the microwave power sensor taking planar potential barrier diode as core component that coordinates with small power meter makes the high speed, high precision and successive power measurements and thus comes into realization. It is widely used to measure high frequency equipment such as the weather radar signal power. The paper analyzes the characteristics and circuit principle of microwave power sensor, introduces the connecting and setting methods with power meter and discusses the method to judge the fault of new generation weather radar by using microwave power sensor in the two typical maintenances of CINRAD/SA as examples.

**Key words:** plane doped potential barrier diode, high speed and high precision microwave power sensor, principle, CINRAD/SA, application

## 引 言

传统测量高频设备微波功率的传感器已经使用许多年。随着科学技术的进步, 近年来, 能实现快速、精确和连续功率测量的现代高速高精度微波功率传感器与功率计配合, 广泛应用于天气雷达等高频设备信号功率的测量<sup>[1-4]</sup>。而功率计都是通过高速高精度微波功率传感器才能完成测量的。高速高

精度微波功率传感器以其能实现快速、精确和连续的功率测量, 并且能在高达 18 GHz 时检测最低为 -70 dBm 的功率, 而且无需考虑信号带宽的限制。如果没有高速高精度微波功率传感器与功率计的连接和使用, 功率计便不能完成对现代天气雷达等设备的测试。国内专门介绍高速高精度微波功率传感器的原理和应用的文章并不多见, 掌握它的原理能更好地发挥该传感器的作用。

\* 中国气象局 2009 年行业专项(2009416054)资助

2010 年 6 月 21 日收稿; 2010 年 12 月 28 日收修定稿

第一作者: 胡帆, 主要从事气象设备的检定和保障. Email: hufanhaiyan@hotmail.com

## 1 高速高精度微波功率传感器的原理

用小功率计测量微波信号,传感器均使用二极管或热偶传感技术。热偶传感器检测微波信号在负载上产生的热量,所以测量频率极高,可以高达110 GHz左右。由于受环境热噪声的影响,测量灵敏度不能做的很高,而且热量的稳定需要时间,因此热偶传感器不适用于高速测量的场合。

根据二极管的电压特性,传统上用二极管传感器测量微波信号时,有着灵敏度难以提高,存在非线性区、有温度漂移等缺点。为了克服这些缺点,近年开发了一些新技术,研发了平面掺杂势垒二极管及其对应的放大电路,大大提高了测量精度。平面掺杂势垒二极管在测量微波功率上比肖特基二极管有更好的性能,并且能够提供更高效的RF-DC转换。

采用平面掺杂势垒二极管的微波测量传感器的电原理是:射频信号通过RS后传给二极管,二极管传感器通过整流信号,把射频电压转换至直流输出信号VO。传感器中的匹配电阻器(约50 Ω)用于射频信号的端接,旁路电容器作为一个低通滤波器用于去除任何通过二极管的射频信号。

二极管传感器经整流的输出电压都是输入信号电压平方的函数。从这一特性可得到整流输出正比于射频信号的功率,而与信号内容无关。随着功率增加到约-20 dBm,整流过程变得越来越线性,而输出电压变成输入电压的函数。对于复杂信号,输出取决于输入信号各种成分间的相位关系。

采用平面掺杂势垒技术的二极管传感器能在高达18 GHz时检测和测量低至-70 dBm的功率。而且更为灵敏,动态范围更宽,达90 dB(-70~20 dBm)。在检测-70 dBm功率级时,二极管传感器的输出约为50 nV。如此低的信号电平要求复杂的放大器和斩波器电路设计,以防止对所关注信号的泄漏、噪声和热偶效应。

和传统的二极管或热偶电阻传感器相比,采用平面掺杂势垒二极管的微波测量传感器的测量精度和测量速度都提高了两个数量级。

## 2 功率传感器和功率计的设置

### 2.1 功率传感器与小功率计校零和标定

在用小功率计测量发射功率前,需要对小功率计、功率传感器和随机测试电缆进行系统校零和标定,消除仪表误差。通过“zero&cal→zero”,小功率计自动校零。以Agilent E4412A功率传感器与

Agilent E4418B功率计的连接为例,在小功率计断电的状态下将功率传感器连接到小功率计POWER REF端口<sup>[3]</sup>。选择“cal”,小功率计自动完成标校(通过自动校零和标校后,测量“POWER REF”输出的50 MHz信号功率为1 mW)。

高速高精度微波功率传感器在应用时,需要特别注意不要超载,避免烧毁功率探头。万一传感器损坏,特别要注意的是当维修时更换了二极管后,一定要在厂里重新测量参数曲线并且更新EEPROM中的数据。

### 2.2 设置测量信号频率

发射功率测量前在小功率计中设置所测信号的频率,以便小功率计自动设置校正因子。通过“Frequency&cal fac→frequency”,设置所测信号频率。新一代天气雷达发射功率测量中为载波频率。以上设置完成后,即可用小功率计测量发射信号脉冲重复周期内的平均功率。

### 2.3 测量发射信号脉冲峰值功率

结合数字示波器测量得到的脉冲包络技术参数,通过“System inputs→duty cycle off/on→on”,即设置为周期信号测量模式,并将duty cycle设置为实测发射信号脉冲包络的占空比 $D(D = Fr \times \tau_{70} \times 100\%)$ 。通过“System inputs→offset off/on→on”,即设置为有线路衰减。并将offset设置为实际线路损耗。这样用小功率计测量发射信号脉冲重复周期内的峰值功率。

E4418B型小功率计能自动检测到E4412A功率传感器并且下载来自传感器中电可擦除只读存储器的正确数据<sup>[5]</sup>。功率计能对来自传感器的范围从-70~20 dBm的信号进行正确处理。

## 3 高速高精度微波功率传感器的应用

由于技术的进步,用高精度微波功率传感器配合小功率计测量微波功率已经能达到相当的精度,完全可以取代大功率计,用于各种大小功率的微波发射和接收设备的测量标校。而且小功率计具有的方便携带、高速和不改变原有负载的特点,更可以广泛应用于各种微波设备的测量,运行监控、故障维护等。

### 3.1 高速高精度微波功率传感器在天气雷达上的应用

高速高精度微波功率传感器能测量雷达的信号发射和接收功率。一般检修接收机模块用E4412A;测量发射机功率用N8481。它们广泛使用

在雷达接收机、发射机的测量功率和检修中。其中 E4412A 能测量的小功率的范围比 N8481 大很多。

天气雷达发射的是脉冲波,发射功率常用两个参数表示,一是脉冲功率(峰值功率),用  $P_i$  表示;二是平均功率,用  $P_{av}$  表示。平均功率和脉冲功率之间的关系如下<sup>[6]</sup>:

$$P_{av} = P_i \tau / T, \text{ 或 } P_i \tau = P_{av} / F$$

式中  $\tau$  为脉冲宽度,  $T$  为脉冲周期,  $F$  为脉冲频率。只要利用传感器 N8481 和功率计测量出平均功率,就可以求出脉冲功率,反之亦然。

### 3.2 检测 CINRAD/SA 雷达的故障

#### 3.2.1 检测 CINRAD/SA 雷达发射脉冲偶尔丢失的故障

过去比较难判断雷达发射脉冲丢失的故障,因为无法连续快速跟踪测量发射功率。现在应用高速高精度微波功率传感器,可以连续快速跟踪测量发射功率,则故障很容易被发现。

N8481 功率传感器和 E4418B 功率计配合使用,利用传感器高速高精度的特性,使用雷达测试平台程序,监测 CINRAD/SA 多普勒天气雷达发射功率的变化,发现雷达发射机峰值功率有跳变,进一步检查能够发现是雷达发射脉冲偶尔丢失所引起的故障。图 1 是雷达发射脉冲偶尔丢失示意图。

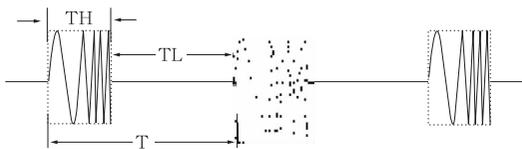


图 1 雷达发射脉冲偶尔丢失示意图

Fig. 1 Occasional missing of radar emission pulse

#### 3.2.2 CINRAD/SA 雷达接收机通道故障检修

当接收机出现故障时,可通过高精度微波功率传感器 E4412A 配合小功率计,来检测射频测试信号 CW 经过接收通道各个模块时的输入输出功率,作为故障判断的依据<sup>[7]</sup>。具体步骤如下:

(1) 启动 Test Signal 程序,选通 CW 信号,CW 信号从频综  $J_3$  端口输出,再点击工具栏的“Test Signal”, Signal Type 选择 CW, RF ATTENUATOR 设置为 0(dB)。

(2) CW 信号通过转接头和衰减器后送到传感器和功率计,用功率计测量频综出来的实际峰值功率。功率计测量  $J_3$  端口功率的接线方法见图 2。

测得某雷达站的实际峰值功率是:22.32 dBm (-6.68 dBm), -6.68 dBm 是功率计的直接读数。注意,在测量 CW 和 COHO 信号时要加衰减器,预防超出测量范围烧坏功率计,至于接收通道的其他



图 2 测量 CW 信号功率的接线方法

Fig. 2 Wiring method of measuring CW signal power

信号,一般不会超出 20 dBm。

(3) CW 信号出来后,输往 4 位二极管开关 4A22 的  $J_3$  口(软件默认选通的是  $J_3$  口)。4 位开关的作用也就是选择 4 个测试信号  $J_1$ 、 $J_2$ 、 $J_3$ 、 $J_4$  中的一个从  $J_5$  口输出。4 位二极管开关 4A22 的  $J_5$  端口实际输出功率是:18.28 dBm (-11.72 dBm),输往 RF 数控衰减器的  $J_1$  口。另外,需要把延长测试接上  $J_5$  口进行测量,测试电缆大概有 1 dB 的衰减,电缆越长衰减得越厉害。通过测量各模块端口的功率值,与标准值相比较,作为故障判断的依据,能够快速判断出接收机的故障部位。

## 4 结束语

功率测量在雷达的维护和保障中具有举足轻重的地位,快速与准确的功率测量一直是保障人员追求的目标。文章详细阐述了微波功率传感器的原理,以及该传感器与功率计的连接、设置和使用方法。利用高速、高精度微波功率传感器,配合小功率计,在检测 CINRAD/SA 雷达发射脉冲偶尔丢失的故障及 CINRAD/SA 雷达接收机通道故障检修中的运用,能够快速判断出故障部位及器件,发现过去难以判断的故障,实现故障的快速定位。

在新一代天气雷达保障中,充分利用新型传感器的特点,能方便、快捷地进行雷达的标定工作。采用连续的跟踪测量等方法,还能对雷达接收机和发射机的工作状态进行连续监测,并能及时发现和排除一些故障隐患,进一步提高雷达运行的可靠性。文章意在积累经验,达到利用微波功率传感器快速判断并排除新一代天气雷达的故障。

## 参考文献

- [1] 周红根,柴秀梅,胡帆,等.新一代天气雷达回波异常情况分析[J].气象,2008,34(6):112-115.
- [2] 周红根,高玉春,胡帆,等. CINRAD/SA 雷达频综故障检修方法[J].气象,2009,35(10):113-118.
- [3] 徐八林,杨松福,何跃,等. CINRAD/CC 雷达发射机磁场电源故障诊断与调试[J].气象,2010,36(2):126-129.
- [4] 吴少峰,胡东明,胡胜,等.一次 CINRAD/SA 雷达发射机功率偏底故障的分析及处理[J].气象,2009,35(10):108-112.
- [5] Agilent Technologies. Agilent E4412A and E4413A Power Sensors Operation and Service Guide[M]. Agilent Technologies. 2009.
- [6] Agilent Technologies. Agilent Technologies E4418B Power Meter User's Guide[M]. Agilent Technologies. 2008.
- [7] 张霁琛.现代气象观测[M].北京:北京大学出版社,2000.