

新型红外干扰机参数测试系统

王 非, 曲卫东, 薛建国, 张 哲

(中国人民解放军 63891 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 针对红外干扰机参数测试中测量误差大、通用性差的问题, 研制了一种新型红外干扰机参数测试系统。该系统分别采用热释电探测器和快速响应的红外辐射计进行测量, 并采取了有效的数据处理方法, 提高了测试精度。分析了该系统的硬件构成和基本原理, 并对其标定和测量原理进行了讨论。该系统测试精度高, 通用性好, 在实际应用中取得了较好的效果。

关键词: 红外干扰机; 探测器; 光谱; 辐射强度; 红外辐射计

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)04-0354-04

New type of infrared jammer testing system

WANG Fei, QU Wei-dong, XUE Jian-guo, ZHANG Zhe

(63891 Troop PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: A new type of infrared jammer testing system is introduced. Pyroelectric detector and fast respond infrared radiometer are used in the system to carry on the measurement, and effective data processing method is adopted to improve the test accuracy. Then the hardware and common principle of the system are analyzed, the demarcating and measuring principle of the system are discussed. A better effect in practical application is obtained.

Key words: Infrared jammer; Detector; Spectrum; Radiant intensity; Infrared radiometer

0 引 言

红外干扰机参数测试系统主要测试红外干扰机的辐射强度、干扰波段、调制频率、调制深度等参数。目前, 国内的测试系统在辐射强度参数测量上误差较大(有 $\pm 5\% \sim \pm 8\%$), 并且, 多数是针对特定的干扰机研制的, 只能测量特定干扰波段的干扰机, 通用性

差。常用的测试方法有两种: 一种是利用能测量高频变化的红外辐射计(前面加所测干扰波段相应的滤光片)进行测量, 根据红外辐射计的电压峰-峰值计算红外干扰机的辐射强度。该方法只能选择响应速度快的光子型探测器, 但是该探测器的光谱响应很不均匀, 使标定黑体与所测干扰机光谱不匹配, 最终造成了一定的误差。另一种方法是利用温差热电堆来测试。温差热电堆的光谱响应平坦, 基本不存在光谱匹

收稿日期: 2003-09-01; 修订日期: 2003-11-20

作者简介: 王非(1972-), 男, 河南郑州人, 工程师, 硕士, 主要从事光电对抗方面的研究。

配问题。但是其响应时间太长,故只能用来测试红外干扰机的平均辐射强度,然后再用快速响应的红外辐射计测试干扰机的波形并加以修正,但修正误差较大。在以上两种测量方法的基础上,研制了一种新型红外干扰机参数测试系统,克服了目前测试系统辐射强度参数测量误差大、通用性差的缺点,取得了较好的效果。

1 测试系统组成与基本原理

测试系统主要由红外光谱仪、红外辐射计和信号采集与数据处理设备三部分组成,如图1所示。

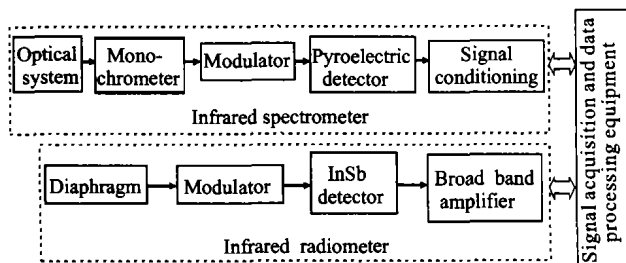


图1 红外干扰机测试系统组成原理框图

Fig.1 Schematic diagram of infrared jammer testing system

利用红外光谱仪测量红外干扰机的归一化光谱辐射强度。由于红外干扰机的工作温度很高,所以在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 波段内的辐射都较强。因此,将红外辐射计的工作波段定为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$,用来测量任何类型红外干扰机(具有不同干扰波段)在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 波段内的辐射强度。再经过数据处理,就可以得到红外干扰机在任意波段范围内的辐射强度,当然也包括在其干扰波段内的辐射强度。

红外光谱仪采用热释电探测器。由于热释电探测器在 $1\sim 15\ \mu\text{m}$ 波长范围内都有光谱响应,且响应比较均匀,所以红外光谱仪可以用于测试红外干扰机的相对光谱辐射强度。经归一化后得到归一化光谱辐射强度。由于热释电探测器的响应速度很慢,而红外干扰机的调制频率又很高,所以红外光谱仪所测量的是红外干扰机在某一波长辐射强度的平均值。因为红外光谱仪测量的光谱范围大($1\sim 15\ \mu\text{m}$),所以单色仪采用了光栅分光的方法。一块光栅显然无法覆盖整个测量范围,因此,采用不同的光栅,在波长超过光栅范围时切换光栅。另外,为区分不同衍射级的

光,还采用了多块滤光片。测量出的原始数据是分段的,为了得到整个波段的光谱曲线,需要将不同波段上的数据进行融合。红外光谱仪的步长为 $1\ \text{nm}$ 。

红外辐射计用InSb作探测器件。其响应速度快,可测量红外干扰机的干扰波形,为提高光谱辐射强度测量精度,需要保证红外辐射计在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 之外没有光谱响应。为此,研制了特殊的探测器件,使光谱响应在 $5\ \mu\text{m}$ 以上完全截止。同时,在探测器窗口镀短波截止膜,保证红外辐射计在 $3\ \mu\text{m}$ 以下的短波段完全截止。由于红外干扰机辐射强度大,所以没有再设计聚光光学系统,而设计制作了不同孔径的光阑和衰减倍率的丝网衰减器。光阑的主要作用是抑制背景辐射,减少其对调制深度测量带来的误差。丝网衰减器没有光谱选择性,其作用是为了适应对不同辐射强度红外干扰机的测量。为了测量红外干扰机的调制深度,必须在红外辐射计内部加调制盘,用调制盘的辐射作为测量基准。调制盘的调制频率为 $30\ \text{Hz}$,远远低于红外干扰机的调制频率,从而可以区分红外干扰机和红外辐射计的调制波。通过对测量数据的处理即可得到调制频率、调制深度和红外干扰机在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 波段内的辐射强度。由于干扰辐射不是正弦波,而是近似方波,所以为了获得高精度的测量结果,采用了低噪声宽带放大电路。电路带宽远大于最高干扰频率,以保证干扰机辐射的基频和能量较大的倍频频率分量都能通过电路输出。根据实测结果,当电路带宽约为干扰频率的8倍时,测量出的波形接近方波。

信号采集与数据处理设备包括接口卡、计算机和测量软件。测试软件采用LabView开发,可完成信号采集、数据处理、结果保存和打印输出等功能。

2 系统的标定与测量原理

因为辐射强度是红外干扰机的主要参数,且国内的测试系统主要在这个参数上的测量误差较大,所以本文主要叙述与辐射强度参数有关的测试系统的标定与测量原理。在标定和测量时,目标均要满足点源条件($L>10D$, L 为测量距离, D 为目标有效辐射口径),在此条件下,可将目标作为点源来分析处理。

2.1 红外辐射计的标定

测量前需要利用黑体对红外辐射计进行标定。其目的是根据标定数据,计算出红外辐射计的仪器常数,以便在测量时使用。

标定和测试可在不同距离下进行,但在条件许可的情况下,应在同一测试距离下进行。标定时,将黑体放置在距红外辐射计 L_b 的距离上,由红外辐射计对其辐射强度进行测量,记录其输出电压峰一峰值 V_b 。根据红外辐射计的工作原理, V_b 与黑体辐射的关系可由公式(1)表示:

$$V_b = K \frac{A}{L_b^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda) R(\lambda) d\lambda = K \frac{Ac_0}{L_b^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda) R_{rv}(\lambda) d\lambda = \frac{C}{L_b^2} i_b \quad (1)$$

式中 A 为探测器光敏面积; K 为电路放大系数; (λ_1, λ_2) 为红外辐射计的工作波段($\lambda_1 = 3 \mu\text{m}, \lambda_2 = 5 \mu\text{m}$); R_{rv} 为红外辐射计相对光谱响应(已由计量部门标定出); c_0 为常数; $R = c_0 R_{rv}$, 为红外辐射计光谱响应; $C = Kac_0$, 为仪器常数,仅由仪器自身参数决定,与被测目标参数无关。

$$I_b(\lambda) = \frac{1}{4} \phi^2 E_b(\lambda) = \frac{1}{4} \phi^2 2\pi hc^2 \lambda^{-5} \frac{\epsilon}{\exp(hc/\lambda kT) - 1} \quad (2)$$

式中 I_b 为黑体辐射亮度; E_b 为黑体辐射出射度; ϕ 为黑体口径; ϵ 为黑体发射系数。

$$i_b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda) R_{rv}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

由公式(1)可计算出仪器常数 C 为:

$$C = \frac{V_b L_b^2}{i_b} \quad (4)$$

式中 i_b 可根据公式(2)和(3)经理论计算得到; V_b 为红外辐射计输出电压。

2.2 红外光谱仪的标定

虽然红外光谱仪中热释电探测器的光谱响应平坦,但仍有一定的变化。另外,单色仪中各光栅的光栅效率不同,各滤光片的透过率也不一样,所以需要利用黑体标定出红外光谱仪的综合光谱响应(包括单色仪和探测器) $R_{\text{光谱仪}}(\lambda)$,以便在进行红外干扰机归一化光谱辐射强度测量时进行修正。 $R_{\text{光谱仪}}(\lambda)$ 的含义及标定方法如下:

计算并拟合出黑体在某一温度下的归一化光谱辐射强度 $I_0(\lambda)$,利用红外光谱仪测量黑体的归一化光谱辐射强度 $I'_0(\lambda)$ 。后者除以前者并归一化,即得到红外光谱仪的综合光谱响应 $R_{\text{光谱仪}}(\lambda)$:

$$R'_{\text{光谱仪}}(\lambda) = I'_0(\lambda)/I_0(\lambda) \quad (5)$$

$$R_{\text{光谱仪}}(\lambda) = R'_{\text{光谱仪}}(\lambda)/R'_{\text{光谱仪}}(\lambda)_{\text{max}} \quad (6)$$

2.3 红外干扰机光谱辐射强度的测量

用红外光谱仪对红外干扰机辐射进行测试。利用红外光谱仪测得的电压值 $V(\lambda)$ 除以红外光谱仪在此光谱下的光谱响应 $R_{\text{光谱仪}}(\lambda)$,并对其归一化即可得到干扰机的归一化光谱辐射强度 $I(\lambda)$:

$$I'(\lambda) = V(\lambda)/R_{\text{光谱仪}}(\lambda) \quad (7)$$

$$I(\lambda) = I'(\lambda)/I'(\lambda)_{\text{max}} \quad (8)$$

因为红外干扰机的光谱辐射强度与归一化光谱辐射强度只相差一个系数,即:

$$I_{\text{tar}}(\lambda) = c_1 I(\lambda) \quad (9)$$

因此求出系数 c_1 即可得到红外干扰机的光谱辐射强度。 c_1 可由如下方法求得:

利用红外辐射计测量红外干扰机在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段内的辐射强度。对红外辐射计来说,测试红外干扰机与黑体标定的工作原理是一样的,因此利用与标定时相似的分析方法可知,红外辐射计输出电压峰一峰值 V_{tar} 与红外干扰机光谱辐射强度 I_{tar} 有如下关系:

$$V_{\text{tar}} = \frac{C}{L_{\text{tar}}^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\text{tar}}(\lambda) R_{rv}(\lambda) d\lambda = C \frac{c_1}{L_{\text{tar}}^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) R_{rv}(\lambda) d\lambda = C \frac{c_1}{L_{\text{tar}}^2} i_{\text{tar}} \quad (10)$$

因此系数 c_1 为:

$$c_1 = \frac{V_{\text{tar}} L_{\text{tar}}^2}{C i_{\text{tar}}} \quad (11)$$

式中 C 为红外辐射计仪器常数,根据标定结果可由公式(4)计算得到; V_{tar} 与 L_{tar} 分别为红外辐射计输出电压和测试距离。

$$i_{\text{tar}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) R_{rv}(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

由于 $I(\lambda)$ 已测出, $R_{rv}(\lambda)$ 已由计量部门标定,所以可由公式(12)计算得到 i_{tar} 。求出 c_1 后,即可由公式(9)得到红外干扰机的光谱辐射强度 $I_{\text{tar}}(\lambda)$ 。

2.4 红外干扰机辐射强度的测量

得到红外干扰机的光谱辐射强度曲线后,可以很容易得到其在某个波段的辐射强度。如果要求测量红外干扰机在干扰波段(λ_3, λ_1)内的辐射强度,则可由公式(13)计算得到:

$$I = \int_{\lambda_3}^{\lambda_1} I_{\text{tar}}(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

3 结论

由于考虑了红外光谱仪的综合光谱响应和红外辐射计的光谱响应,所以本系统具有较高的辐射强度测量精度。实际测试结果表明,这种红外干扰机测试系统测量的辐射强度误差达到了 $\pm 2\%$ 。另外,因为本系统能够测得干扰机在 $1\sim 15\ \mu\text{m}$ 波段内的光谱分布,所以一方面可对干扰机进行更全面的评价;另

一方面还可以测得具有不同干扰波段的不同类型红外干扰机(只要在 $1\sim 15\ \mu\text{m}$ 波段内)的辐射强度,因而具有很好的通用性。本系统在实际应用中已经取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 刘君华. 检测技术与测试系统设计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001.
- [2] 胡士凌,孔得人. 光电电子线路[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996.
- [3] 李世祥,魏江英. 红外干扰机干扰原理分析[J]. 红外与激光工程, 1994, 24(1): 10-13.
- [4] 刘敬海,孙志勇,王茜蓓,等. 红外光谱辐射计的研制[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(2): 14-17.
- [5] 苏大图. 光学测试技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996.

(上接第 346 页)

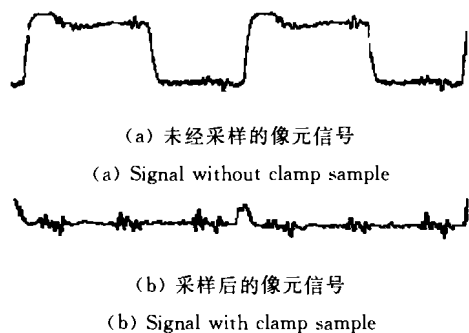


图6 经复位、钳位采样前后信号对比

Fig. 6 Contrast between signal with clamp sample and without clamp sample

双相关采样、双斜积分法对电路进行处理后,系统的噪声水平降为 $45\sim 50\ e^-$,即 $94.5\sim 105\ \mu\text{V}$ 。采用片内的钳位采样电路时,系统的等效噪声降为约 $35\sim 40\ e^-$,即 $73.5\sim 84\ \mu\text{V}$ 。限于 CCD 其他噪声及电路结构工艺等方面的原因,系统并未达到器件本身的读出噪声水平,但是 CDS 电路的作用确实明显,已将大部分噪声消除了。

4 结论

在 CCD 的应用过程中,应根据 CCD 噪声的特

点,做出相应的降噪处理。其中,为了减小 CCD 复位噪声和 kTC 噪声,相关双采样技术得到了极为广泛的应用。现在,许多公司专门研制开发了单片 CCD 信号处理芯片,如 ADI 公司的 AD9807, XRD 公司的 XRD98L61, TI 公司的 VSP 系列 CCD 信号处理器等。它们不仅具有 CDS 功能,还具有自动暗电流补偿、自动增益控制、模数变换等功能。

另外,随着 CCD 的迅速发展,已经出现了输出电容很小,灵敏度很高的 CCD 器件,在一定条件下可以对噪声处理过程进行适当简化。

参考文献:

- [1] 佟首峰,阮锦,郝志航. CCD 图像传感器降噪技术的研究[J]. 光学精密工程, 2002, 8(2): 140-145.
- [2] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000. 30-45.
- [3] Kriss Michael, Parulski Ken, David Lewis. Critical technologies for still imaging systems[A]. SPIE[C]. 1989, 1082. 157-183.
- [4] 江孝国,祁双喜,王婉丽,等. CCD 输出信号的低噪声处理电路研究[J]. 光电子·激光, 2001, 12(11): 1126-1129.
- [5] Jim Janesick, Tom Ellion. Sandbox CCDs[A]. SPIE[C]. 1995, 2415. 2-41.
- [6] 张坤. 高帧速 CCD 摄像器件的设计[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(2): 58-61.