

文章编号: 1672-8785(2020)07-05-06

红外探测器低噪声自动化测试技术研究

刘建伟 邢艳蕾 姚广乐

(中国电子科技集团公司第十一研究所, 北京 100015)

摘 要: 在多元红外探测器的测试过程中, 传统方法往往通过分析仪采集并配合人工读数的方式来实现数据获取。分析仪与前置放大器、气源及工装夹具各自独立工作, 采集的数据需要再次编辑且效率低下。为了实现精确的自动化工程测试, 并同时实现气源与工装夹具等控制一体化, 将丹麦 B&K 公司的 PULSE 多分析仪作为采集端, 并利用 VBA 程序对采集控制软件进行了二次开发, 从而实现了自动测试。分析了系统建立过程中的放大器噪声源, 拟合了噪声系数与源阻抗之间的关系, 并阐明了实现低噪声放大这一目标的关键是探测器和前置放大器的最佳源阻抗匹配。另外还将放大器的第一级设计成多通道并行, 并在后级放大与第一级之间使用切换开关来保持通道的一致性。通过软硬件的结合最终实现了对探测器进行实时、多通道快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)分析的自动化测试。

关键词: 低噪声放大器; PULSE 多分析仪; VBA; 自动化测试

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.07.002

Research on Low Noise Automatic Testing Technology of Infrared Detector

LIU Jian-wei, XING Yan-lei, YAO Guang-le

(The Eleventh Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation,
Beijing 100015, China)

Abstract: In the test process of multi-element infrared detector, the traditional method usually uses the way of analyzer collection and manual reading to achieve the data acquisition. The analyzer, preamplifier, gas source and fixture work independently, and the collected data need to be edited again with low efficiency. In order to achieve accurate automated engineering test and the control integration of the gas source and fixture at the same time, the PULSE multi-analyzer of Denmark B&K company is used as the acquisition terminal, and the acquisition and control software is re-developed by using VBA program. In this way mentioned above, the automated test is achieved. In this paper, the noise source of amplifier in the process of system establishment is analyzed, and the relationship between noise coefficient and source impedance is fitted. It is illustrated that the key to achieve low noise amplification is the optimal source impedance match between the detector and the pre-amplifier. In addition, the first stage of the amplifier is designed to be multi-channel parallel, and the switch is used between the second stage and the first stage to maintain the consistency of the channels. Finally, through

收稿日期: 2020-06-16

作者简介: 刘建伟(1977-), 男, 北京人, 工程师, 主要从事红外探测器测试研究。

E-mail: ljw780522@163.com

the combination of the software and the hardware, the automated test of real-time and multi-channel fast Fourier transform analysis of the detector is realized.

Key words: low noise amplifier; PULSE analyzer; VBA; automated test

0 引言

随着红外探测器技术的日渐成熟,工程化的进度要求逐年提高。工程化测试需要仪器同时满足高精度、低噪声和自动化的条件。当前,测试探测器参数主要通过测试仪器配合人工的方式来进行。测试过程中所使用的 PULSE 多分析仪与前置放大器、气源、工装夹具等环节各自独立工作。测试数据是仪器厂商配置的通用格式数据,需要再次进行人工编辑和存储。以上工作方式速度慢且效率低,而且测试人员的不同标准会产生测试误差,不利于产品的批量生产。因此,利用 VAB 且通过相应的接口程序来控制 PULSE 系统,并将其开发成虚拟仪器。然后将多种测试元素整合,在保证测量精度的同时可以提高效率和减小误差,并能有效实现工程化快速测试。

本文对基于计算机的低噪声自动化测试方法进行论述,并对其系统组成进行详细描述。

1 系统硬件架构

如图 1 所示,本系统由计算机、PULSE 多分析仪、前置放大器、开关控制电路、气源以及挡光夹具组成,用于测试多元探测器的信号、噪声、启动蓄冷时间、阻抗以及背景光电流等参数。

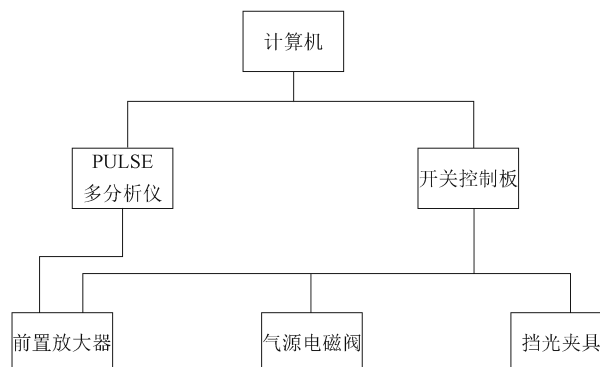


图 1 系统硬件架构图

1.1 PULSE 多分析仪系统

丹麦 B&K 公司推出的 PULSE 多分析仪系统(见图 2)能够同时进行多通道、实时、FFT 以及 CPB 等频谱分析。该系统包括硬件与软件两个部分。



图 2 PULSE 多分析仪系统

3560C 采集前端是 PULSE 系统的硬件部分。它通过点对点的网路接口模块与计算机进行通讯,在探测器测试中主要用于采集信号。其自带的信号发生器可输出正弦波以供前置放大器使用。PULSE LabShop 是系统的软件部分,包括大量的可编程接口以便与各种应用集成。内置的 VBA 可实现用户定制的多用途测试功能。

1.2 低噪声前置放大器

低噪声前置放大器的作用是将红外探测器

输出的微弱电信号放大。红外探测器的固有噪声很小, 往往在 $10^{-9} \text{V}/\text{Hz}^{1/2}$ 的量级(或更低)。探测器的灵敏度极限往往受放大电路的限制。只有当放大电路的噪声贡献极低时, 才能充分实现探测器的灵敏度。因此, 低噪声放大技术在红外系统应用中具有极其重要的地位。

1.2.1 低噪声放大器的总噪声

放大器电路的总噪声取决于放大器自身、外部电路的阻抗、增益、带宽以及环境温度等参数。电路的外部电阻所产生的热噪声也是总噪声的一部分。

在特定频率下, 运算放大器的总输入噪声的标准表达式为

$$e' = \sqrt{e_n^2 + i_n^2 R_s^2 + 4kTR_s} \quad (1)$$

式中, e' 为放大器的总输入噪声, R_s 为噪声源电阻, e_n 为特定频率下的输入电压噪声密度, i_n 为特定频率下的输入电流噪声密度, T 为绝对温度, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J}/\text{K}$ (即玻尔兹曼常数)。

根据式(1)可以看出电路源阻抗对噪声的影响。电压噪声、电阻噪声与电流噪声在源阻

抗从低到高的变化过程中依次占据主导地位。因此, 在放大器的设计过程中, 源阻抗是影响噪声的重要因素。

图 3 所示为噪声系数与源阻抗的关系曲线。可以看出, 随着噪声电压与噪声电流乘积的增大, 最小噪声系数增大。此外, 源阻抗的变化对噪声系数也颇有影响。

1.2.2 运算放大器的选取

为实现低噪声放大, 探测器和前置放大器需要完成源阻抗匹配。由于光伏碲化镉器件的源阻抗达到兆欧量级, 前置放大器第一级的管型可采用输入阻抗高、噪声电平低、漂移小和温度性能稳定的集成电路(如 OPA627 或 OP-16 等放大芯片)来与之匹配。此外, 放大器的第一级倍数要尽可能大, 这样才能抑制由电路本身带来的噪声, 并将探测器的光电信号充分放大。

1.2.3 放大电路

放大器的部分电路由四级放大电路组成(见图 4):

(1) 第一级放大电路的作用为放大、带宽

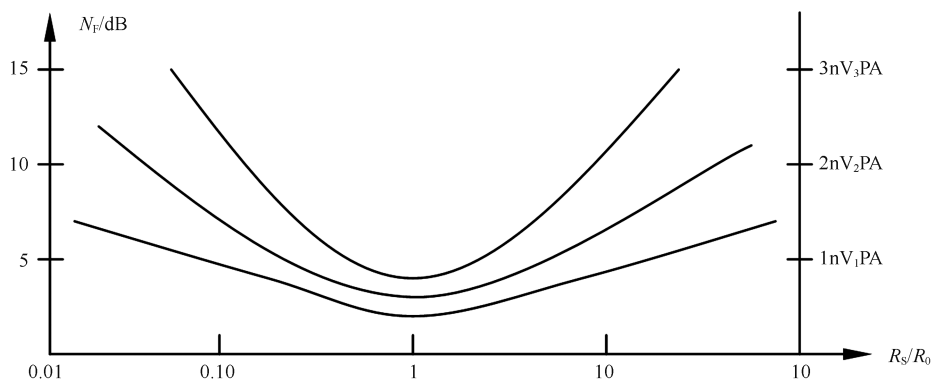


图 3 噪声系数与源阻抗的关系曲线

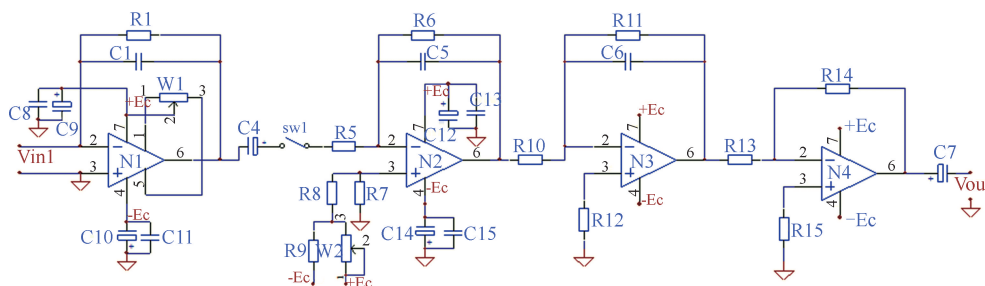


图 4 单通道前置放大器电路图

限制和输入偏置调节；第二级的作用为放大、带宽限制和调节输出失调电压；第三级主要将带宽调节为最终状态；第四级的作用为 1 比 1 放大。

(2)图 4 为单通道放大电路图。最终要实现多元探测器的自动测试，那么在实际应用中第一级放大电路就需要增至多个通道。为了保持一致性，后三级放大电路使用同一电路，并由开关 SW1 进行切换。

(3)开关 SW1 加在第一、二级之间而没有加在第一级的输入端。这样做的目的是减小其对探测器芯片的静电冲击以防止器件击穿。此外，由于探测器的信号和噪声极其微弱，将开关 SW1 加在输入端会对探测器性能产生影响；而将其加在多倍放大电路的第一级之后，干扰就变得微乎其微了。

1.3 开关控制电路

开关控制电路的主要功能是实现放大器的多路变换控制、气路开关的开启闭合以及挡光片的打开关闭。主要采用将计算机 RS232 串口连接到继电器控制板的方式来控制继电器作出“开”和“关”的动作。通过向继电器控制模块发送一串 ASCII 代码指令，即可控制某个(或全部)继电器打开或关闭，进而控制测试系统各部分功能的切换。继电器控制芯片可以选用单片机(如 AVR 公司的 ATtiny2313)，或者选用 MAXIM 公司专门为 RS-232 标准串口设计的 MAX232 芯片。

开关控制继电器需要注意以下两点：

(1)由于气路所用电磁阀采用高压电，控制其开启和断开需要较大的电压和电流来支持。使用固态继电器不仅可以满足这一要求，而且还可以增加系统的使用寿命。

(2)前置放大器的多路切换电流较小，容易受到外界干扰。而继电器的电源和开关动作会对其产生一定的影响，因此可通过将光耦和继电器配合使用来减少继电器带来的干扰。

2 系统软件设计

本系统的软件设计分为 PULSE Labshop

程序配置和 VBA 程序(由 PULSE 接口程序和串口控制程序组成)。

2.1 PULSE Labshop 程序配置

PULSE Labshop 是一种针对 B&K 公司的硬件分析仪建立的应用软件。在软件内部，针对网路接口和输入输出模块建立了虚拟物理通道。PULSE 的设置主要在 Organizer 菜单的三个部分中完成(其主要操作流程见图 5)。

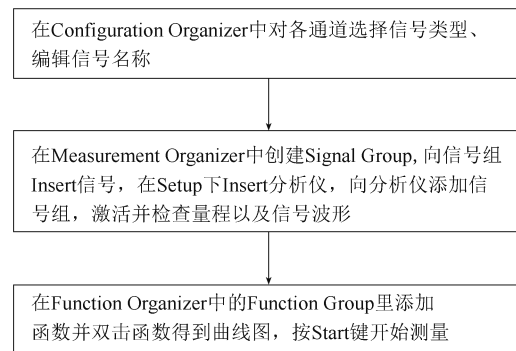


图 5 PULSE Labshop 配置

2.2 VBA 主程序

通过在 PULSE 软件中内置 VBA，可以在 VBA 环境中对 PULSE Labshop 调用接口程序以实现对其控制。通过在 VBA 与串口之间建立通讯来控制继电器控制板。仪器控制程序的层次图如图 6 所示。

图 6 中，将 VBA 程序作为 EXCEL 中的宏来执行，并调用与 PULSE 虚拟仪器相关的 API 函数来执行 Labshop 程序和存取数据。测试前端 3560C 接收 SCPI 仪器命令，并从前置放大器的输出端读取信号值。与此同时，通过 VBA 程序与计算机串口通讯来控制继电器板，从而实现前置放大器通道控制和气源通断并完成工装夹具动作。最终按照具体测试项目将读取的数据结果存入 EXCEL 表格中。

VBA 调用 PULSE Labshop 的接口程序模块如下：

```

Public Sub OnConnect(ByVal strProjectName As String)
    Dim bConnect As Boolean
    bConnect=ThisWorkbook.pPulseController.ConnectToPulse(strProjectName)
  
```

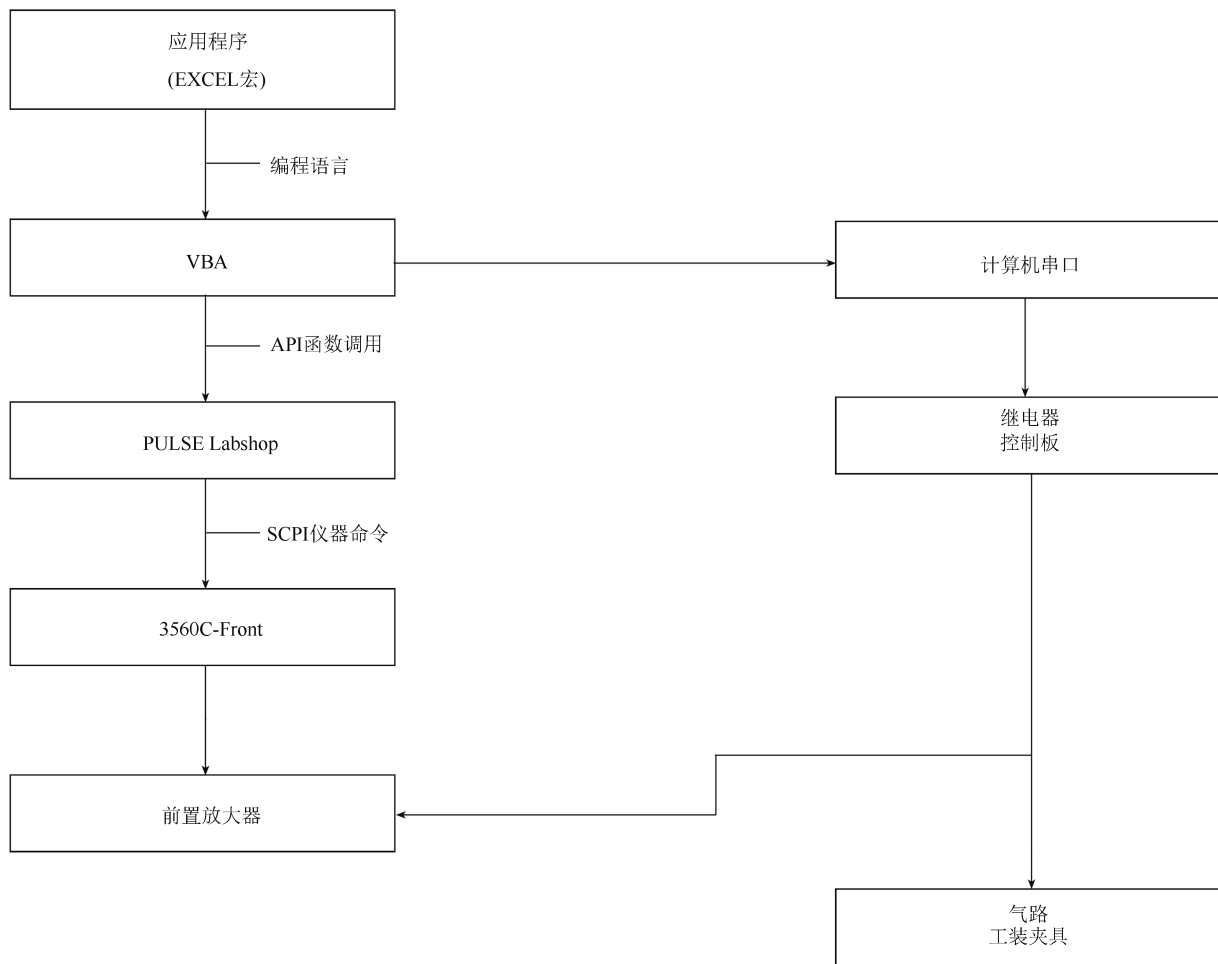


图 6 仪器控制程序图

```

M_TBControl.EnableAllPulseRelatedButtons
bConnect
If bConnect Then
    Dim nMics As Long
    nMics = ThisWorkbook.pPulseController.
GetFunctionsCount("Value Pack_function Group")
    M_TBControl.EnableAllPulseRelatedButtons(0<>nMics)
    WriteAddress Sheet_Serialise, bkCS_Microphones, nMics
    SheetMain.UpdateMicrophones
End If
End Sub
  
```

3 系统测试结果

3.1 噪声测试

表 1 列出了单通道噪声测试数据。测试

时, 将放大器的输入端短路并选取三个频率点上的 3 dB 带宽来测试系统噪声。将其折算成噪声谱密度后可得均值为 $0.242\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。它在量级上可以满足工程化测试的使用需求。

3.2 系统功能测试和通道差异

在采集前端输入预先设定好的参考电压。系统采集输出测量值时, 最大非均匀性出现在 0.3 mV 噪声功能测试中, 通道非均匀性为 5.41% (见表 2)。这一结果满足工程化测试的使用要求。

4 结束语

光电参数测试结果是红外探测器交付使用的重要依据。这就要求测试系统精度高、噪声小、通用性强; 同时它还要具有自动化、操作简捷、使用寿命长等特点。这样才能实现探测器性能的最大化并满足日益增长的总量需求。

表 1 单通道噪声测试数据

	中心频率 500 Hz	中心频率 1000 Hz	中心频率 1200 Hz	均值
测量带宽/Hz	100	230	316	—
RMS 噪声/ μV	2.33	3.77	4.34	3.48
噪声频谱密度/ $(\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}})$	0.233	0.249	0.244	0.242

表 2 系统功能和通道差异测试数据

	开路电压/mV	信号/mV	噪声/mV	放大倍数
设定值	100	30	0.300	15.0
通道 1 测量值	99.87	30.01	0.296	15.08
通道 2 测量值	99.96	30.15	0.289	15.02
通道 3 测量值	99.85	29.84	0.305	14.88
通道 4 测量值	99.79	30.13	0.294	15.15
最大通道偏差	0.21	0.16	0.011	0.12
通道非均匀性	0.17%	1.03%	5.41%	1.80%

噪声问题是探测器自动化测试中关于信号放大、采集与仪器控制一体化的难题，因此系统设计始终要以降噪为首要前提。本文针对单元和多元红外探测器的自动化测试技术的讨论是工程化测试的一个环节，而实现低噪声工程化自动测试是最终要达到的目标。

参考文献

[1] Jorge Vega. 放大器的电源电阻和噪声考虑因素 [EB/OL]. [https://e2echina.ti.com/group/c8df-](https://e2echina.ti.com/group/c8df-485b47/m/power_management/97)

485b47/m/power_management/97, 2013.

[2] Henry W O. Noise Reduction Techniques In Electronic Systems [M]. Whippany: Wiley-Interscience, 2008.

[3] 孙续. 自动测试系统与程控仪器 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.

[4] 张晓虎. VBA 集成技术研究 [J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(9): 163-164.

[5] 低噪声基带放大器设计和选型 [EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/2136a62603d276a20-029bd64783e0912a2167cfc.html>, 2019.