

基于 LabWindows/CVI 的光电三极管 虚拟测试仪设计

胡锦涛, 赵祥模, 王润民, 杨楠, 徐江

(长安大学 信息工程学院, 西安 710064)

摘要: 光电三极管具有伏安, 光照, 温度, 功率等多种特性, 正确选择使用某种型号的光电三极管之前需要熟悉其特性, 因此需要一种便携、廉价、易操作的测试仪对光电三极管的特性进行测试, 文章设计出基于 LabWindows/CVI 设计了一种光电三极管虚拟测试仪, 用高速采集卡和 LabWindows/CVI 取代传统的模拟电子电路测试仪器完成光电三极管特性的测量; 在构建虚拟仪器测试方案的基础上, 首先设计了一种信号放大电路用于光电三极管输出信号的放大处理, 然后提出了光电三极管特性测量方法, 最后阐述了 labWindows/CVI 环境下的光电三极管测试数据处理过程; 实验测试表明: 所设计的虚拟测试仪能够准确地对光电三极管的伏安特性和光照特性进行测量, 测试结果形象化地显示在仪器面板上, 有效地避免因工作时参数过高对光电三极管造成的影响。

关键词: 虚拟测试仪; 特性测试; 光电三极管; LabWindows/CVI

Design of Photoelectric Triode Tester Based on LabWindows/CVI

Hu Jinchao, Zhao Xiangmo, Wang Runming, Yang Nan, Xu Jiang

(College of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Phototransistor has characteristics of voltammetry, light, temperature and power. Users should be familiar with its properties before using some type of phototransistor. So we need a tester which is portable, inexpensive, easy to operate. Based on LabWindows/CVI, which is designed of the feature on the photoelectric triode tester, It replaces the traditional analog electronic circuit testing instrument with high-speed acquisition card and LabWindows/CVI, on the basis of designing a virtual instrument testing scheme, a signal amplifying circuit is designed for processing the output signal, and then, it puts forward the methods for measuring photoelectric triode properties. finally, it expounds the data processing of photoelectric triode tester in labWindows/CVI. It can accurately measure the volt-ampere characteristic curve and the illumination of photoelectric characteristic curve. And the results is visually displayed on the instrument panel. It can effectively avoid the bad influence of big parameters.

Keywords: characteristic test; photoelectric triode; LabWindows/CVI; data acquisition

0 引言

光电三极管对光照敏感, 也称作光敏三极管, 它在光的检测、信息的接受、传输、隔离等方面有广泛的应用, 是各行业自动控制必不可少的器件。在使用光敏三极管之前, 必须对其物理特性有精确的掌握, 如伏安特性和光照特性等, 才能正确地使用光敏三极管, 达到高效利用的目的。

目前有多种方法可以完成对光电三极管物理特性的测量, 例如文献 [1-2] 采用传统的万用表、模拟电子搭建的测试电路对光电三极管特性进行测试, 此种方法不仅测试的精度低, 测量的模拟电路设计成本高、不稳定, 而且无法直观地展示测量结果; 文献 [3] 基于 AT89C52 采集数据, 采用 VC++6.0 中的 MSComm 控件编程设计出了一种光电探测系统一体化实验系统, 但其价格昂贵, 上位机编程复杂, 下位机数据采集速率有限, 不具备灵活性和通用性。随着虚拟仪器技术的发展, LabWindows/CVI 作为一种以 ANSIC 为核心的交互式虚拟仪

器开发环境, 在无损检测、电力仪表系统、温控系统、流程控制系统、故障诊断等领域中得到了广泛的应用, 为光电三极管物理特性的测量提供了一种新的思路。

基于上述原因, 本文利用 LabWindows/CVI 和高速采集卡设计一种光电三极管的虚拟特性测试仪, 用于测量光电三极管的伏安特性和光照特性。并对测量数据的处理方法进行了阐述。高速采集卡的使用不仅提高测量的精度, 还大大减少了硬件的开发成本; 另外利用 LabWindows/CVI 开发出的虚拟测量仪器具有占用空间小、功能可裁剪、开发周期短及通用性强等优点。

1 虚拟测试仪器方案设计

根据常见测试仪器的组成结构及功能, 同时考虑光电三极管的基本工作原理 (如测试过程中光源的提供、光电三极管输出的微弱光电流的检测及处理), 以及数据采集卡的总线协议和采集频率、软件设计的复杂度、系统总体开发成本等因素, 论文设计的基于 LabWindows/CVI 的光电三极管特性虚拟测试仪总体组成结构如图 1 所示, 具体包括光源、信号处理电路、数据采集卡及 CVI 程序等部分。

光源能够为光电三极管提供恒定或者可调的光照度, 从而根据其不同的照度下输出的光电流的性质完成其物理特性的测量。信号处理电路主要包括光电三极管的偏置电路和输出信号放大电路, 分别完成光电三极管的驱动和输出光电流的放

收稿日期: 2015-10-19; 修回日期: 2015-12-07。

作者简介: 胡锦涛 (1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事分布式测控技术方向的研究。

赵祥模 (1966-), 男, 教授, 博士生导师, 长安大学交通信息工程及控制国家级重点学科带头人, 国务院交通运输工程学科评议组成员, 主要从事智能交通测控技术方向的研究。

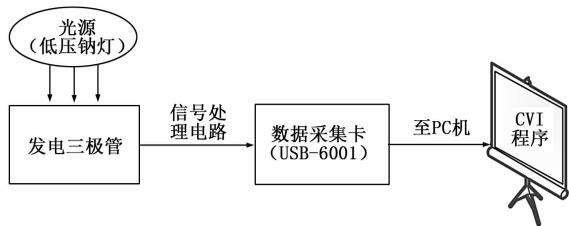


图 1 系统方案设计图

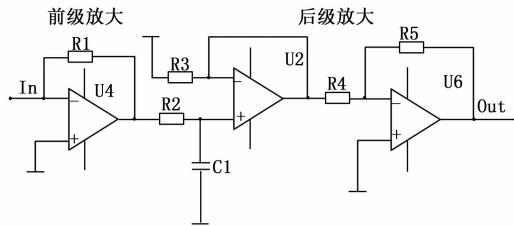


图 2 信号放大电路

大。数据采集卡将光电三极管经信号处理电路处理后的模拟信号转换成数字信号后传送至 PC 机端的 CVI 程序进行分析处理，论文采用 NI 公司设计的 NI USB-6001 数据采集卡，该采集卡具有 8 路模拟输入和 13 条数字 I/O 输出线，分辨率达 14 位，与 LabWindow /CVI 具有良好的兼容性。CVI 程序作为虚拟测试仪器的核心，能够对采集卡输出的光电流数据进行分离、滤波处理，进而完成测试结果的存储及显示，最终实现光电三极管的特性测量功能。

2 输出信号放大处理

光电三极管与普通三极管相同，都具有电流的放大作用，但是光电三极管会受光照影响，其 I-V 特性^[4]方程为：

$$I_E = [I_{ES}(e^{V_{BE}/V_T} - 1) - I_{LE}] - \partial_R [I_{CS}(e^{V_{BC}/V_T} - 1) - I_{LC}]$$

$$I_C = \partial_F [I_{ES}(e^{V_{BE}/V_T} - 1) - I_{LE}] - [I_{CS}(e^{V_{BC}/V_T} - 1) - I_{LC}]$$

$$I_B = (1 - \partial_F)[I_{ES}(e^{V_{BE}/V_T} - 1) - I_{LE}] + (1 - \partial_R) [I_{CS}(e^{V_{BC}/V_T} - 1) - I_{LC}] \quad (1)$$

式中， I_E 、 I_C 、 I_B 分别表示光电三极管的发射极、集电极、基极的电流， ∂_F 、 ∂_R 分别为正向和反向共基极直流短路电路放大系数， I_{ES} 、 I_{CS} 都为反向饱和电流， V_{BE} 、 V_{BC} 分别为发射结和集电结电压， V_T 为温度的电压当量， I_{LE} 、 I_{LC} 分别为发射结和集电结的光生短路电流。光敏三极管只有发射极和集电极两个引脚，其基极电流是由光照产生的光电压引发，即基极开路 ($I_B = 0$)，集电极和发射极电流为： $I_{CEO} = -\frac{1 - \partial_F \partial_R}{1 - \partial_F} [I_{CS}(e^{V_{BC}/V_T} - 1) - I_{LC}]$ (2) 其中有：

$$I_{CEO} = I_{CBO} / (1 - \partial_F)$$

$$(1 + \beta) = 1 / (1 - \partial_F)$$

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO} \quad (3)$$

因此当对光敏三极管的集电极加正向的偏置电压时，输出光电流为：

$$I_{\mu CEO} = (1 + \beta) I_{\mu CBO} \quad (4)$$

光电三极管的输出信号为微弱的光电流，在低照度下为微安级别，由上述分析可知：发射极电流仅仅为因光电效应产生的等效基极电流的 $1 + \beta$ 倍，放大倍数一般在 100 倍左右，仍然无法满足测量显示的要求。为了完成测量显示，需要进一步对光电三极管输出信号进行放大，因此论文设计了一种如图 2 所示的输出信号滤波放大电路。

在该放大电路中，前级放大倍数为 $-(R_2/R_1)$ ，中间的运算放大器过滤高频的噪声，后级放大的倍数为 $-(R_4/R_3)$ ，放大电路总的放大倍数为 $(R_2/R_1) * (R_4/R_3)$ 。根据测量精度和显示精度的需求，选取合适的电阻比值即可实现测量和显示。设计中选取前级放大 10 倍，后级放大 100 倍，即放大电路对输出光电流放大 1000 倍，经过图 2 的信号放大之后，光电三

极管的输出光电流可由微安级达到毫安级，可以进行采集并在图表控件上正常显示。

3 光电三极管特性测量方法

在测量光电三极管的特性之前，需要对虚拟测试仪中的光源进行标定，以确定要达到所需的光照度需要为光源施加的电压。具体的标定结果如表 1 所示。

表 1 光源标定结果

输入电压/V	4.53	5.23	5.82	6.36	7.2
光照度 (L_x)	50	100	150	200	250

在利用论文设计的虚拟测试仪测量光电三极管的特性曲线时，需要在光电三极管的集电极和基极之间加正向的偏置电压。当测量其伏安特性曲线时，通过光源为光电三极管施加固定的光照度，然后调节光电三极管的偏置电压，将光电三极管的偏置电压和输出光电流分别通过 USB-6001 数据采集卡的通道 0 和通道 1 送至 PC 机的 CVI 程序进行分析处理，如图 3 所示；当测量其光照特性曲线时，给光电三极管施加固定的偏置电压（本测试仪设定偏置电压为 5V），根据表 1 所标定的结果来调节光照度，同时将光电三极管的输出光电流通过 USB-6001 的通道 3 的数据采集卡送至 PC 机上的 CVI 程序进行分析处理，如图 4 所示。

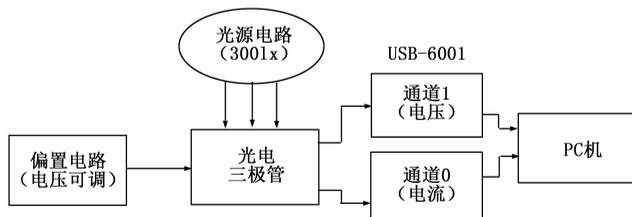


图 3 伏安特性测量方法

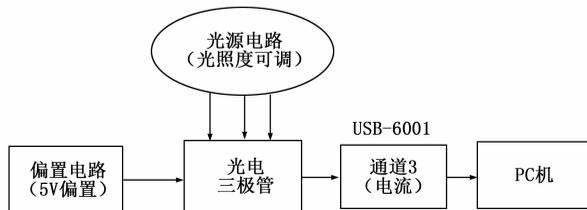


图 4 光照特性测量方法

4 LabWindows/CVI 程序

LabWindows/CVI 程序由两部分构成：一部分完成采集任务的初始化工作，即利用 DAQ 助手设置数据采集参数以及建立数据采集任务，并最终创建 DAQTaskInProject.h 文件；另

一部分作为虚拟测试仪的核心, 完成测试数据的分析、处理及结果输出等工作。

测试仪系统主程序主要实现对多通道采集^[6-7]到的数据进行定时采集、分离、滤波、放大及显示。其中分离和显示是设计的难点, 因为 USB-6001 采集卡采集得到的三通道的数据按通道扫描的顺序保存在同一块内存中, 显示伏安特性和光照特性需将内存中的电流、电压、以及光照所对应的电压数据分开。针对上述问题, 程序设计中采用双采样函数加按钮标记的方法, 即建立两个采样函数:

```
int CVICALLBACK sample (int panel, int control, int event void * callbackData, int eventData1, int eventData2); // 设置定时采样函数, 即为默认的定时采样函数。
```

```
int CVICA-LLBACK sample _1 (int panel, int control, int event, void * callbackData, int eventData1, int eventData2); // 切换按钮对应的回调函数, 即切换按钮按下时运行的定时采样函数。
```

根据按钮标记分时采样, 将采集到的电流电压数据从同一个数组中分开。用定时取点的方法将数据在图表控件上显示, 即分开后的电压电流数据定时存放在图表控件的显示函数中。系统主程序框图如图 5 所示。

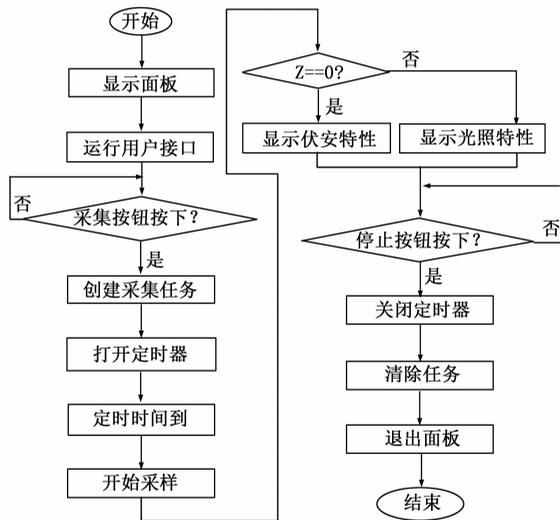


图 5 主程序框图

labWindows/CVI 为交互式的开发环境, 程序开始时, 利用面板句柄实现对面板的操作, 显示前面板; 运行用户接口后等待采样按钮按下, 直至按下才创建采样任务, 采集任务对多通道按通道扫描的方式进行定时采集, 设定一布尔量, 实现在伏安特性和光照特性之间进行切换, 采集至满足要求时清楚采样任务。

5 测试结果分析

为了验证本文设计的测试仪系统的有效性, 本文选用硅光电三极管^[8]作为测试对象, 对其伏安特性和光照特性曲线进行测量。伏安特性和光照特性的理论特性曲线、实际测量结果分别如图 6、7 所示。

5.1 伏安特性曲线分析

由如图 6 所示的理论伏安特性曲线可知其具有以下特点: 首先, 给硅光电三极管加很小的偏置电压时, 其输出电流也非常小, 几乎接近于零; 其次, 在零偏压时, 硅光电三极管没有

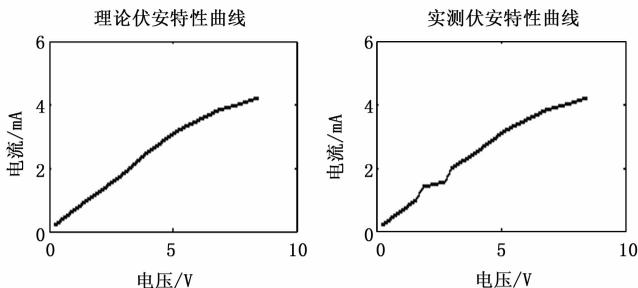


图 6 伏安特性理论及实测图

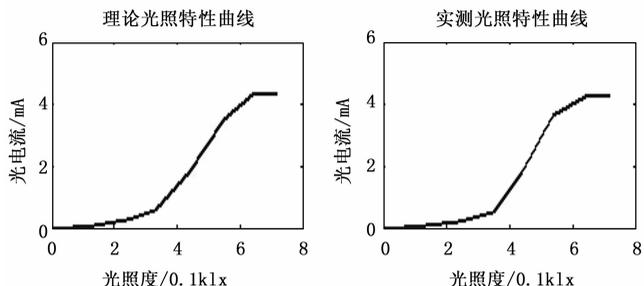


图 7 光照特性理论及实测图

光电流输出。虽然硅光电三极管也能产生光生伏特效应, 但因集电极无偏置电压, 集电极不能放大基极电流, 微安级别的电流在毫安级别的坐标轴上几乎为零, 很难表示出来。最后, 硅光电三极管的工作电压较低时, 其输出的光电流具有非线性, 即三极管的输出电流与三极管所受的偏置电压相关, 然而, 硅光电三极管的非线性比普通三极管的非线性更加严重。论文设计的虚拟测试仪测量结果如图 6 所示, 实际测试结果与理论特性曲线的特点拟合性较好。但在 2~3 V 电压范围内实测曲线与理论曲线仍然存在误差, 表现为曲线的波动性, 主要原因为光电三极管偏置电压不稳定、光源部分遮光筒的密封性不好, 导致光照强度不是理论的稳定值。

5.2 光照特性曲线分析

由如图 7 所示的理论光照特性曲线可知其具有以下特点: 首先, 在光照度为零时, 硅光电三极管也能输出光电流, 此电流即它的暗电流; 其次, 随着光照度的加强, 输出光电流不断增大, 但是当光照度增大到一定程度时, 输出光电流趋向饱和。本文设计的虚拟测试仪实际测量的结果与理论光照特性曲线的特点拟合性较好。但实际测量曲线仅反映出理论光照特性曲线的趋势, 主要原因为图表显示控件显示曲线是定时选取有限个采集点显示在图表控件上。若采集的时间延长, 定时选取采集点的时间缩短, 实际测量曲线与理论曲线的一致性将会增强。

对比理论特性曲线和实际测量的特性曲线, 实测曲线在误差允许的范围, 能正确反映出光电三极管伏安特性曲线和光照特性曲线。

6 结语

本文不仅设计搭建了硬件测试电路, 而且基于 LabWindows/CVI 环境设计开发了光电三极管特性测试仪, 并用其对硅光电三极管的特性进行了测试。从测试的结果看, 本文设计的测试仪测得的光电三极管特性曲线与其理论特性曲线误差较

小,可以广泛地应用在各种使用光电三极管或者检测光电三极管特性的场合。

参考文献:

[1] 郭松野,王东兴,汪广羊,等.有机薄膜光敏三极管动态特性及其应用[J].应用科技,2010(2):24-27.

[2] 戴薇,唐世洪,温明生.硅光电管光电转换特性的测量分析及应用[J].吉首大学学报(自然科学版),1989(2):37-43.

[3] 曲洪丰.光电探测器特性一体化实验系统研究[D].杭州:浙江大学,2006.

[4] 石仲斌.光敏三极管光电特性[J].半导体光电,1998(4):67

-71.

[5] Wang C C. Elan Microelectronics Corporation; Patent Issued for Method and Circuit for Trimming an Internal Oscillator of a USB Device [J]. Journal of Engineering (Apr 2, 2014): 944.

[6] 王建新,隋美丽. LabWindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用 [M]. 北京:化学工业出版社,2011.

[7] Zhao W J. Study on the Auto Air Conditioning Controller Testing System Based on Lab Windows/CVI [J]. Modern Applied Science 4. 10 (Oct 2010): 85-90.

[8] 苏学能,白懿鹏.光电转换元件的特性研究[J].电子技术与软件工程,2013,15:95-97.

(上接第 286 页)

自然时间中的非工作时间,得到检出和检入时间差作为进行一次维护的实际工作时间,实际数据的处理过程如下:其检出时间为 2010.04.08 09:18,检入时间为 2010.04.08 16:30,通过与开发人员的沟通,每天工作时间 8 小时,上班时间为上午八点到十二点,下午两点到六点,实际工作时间为:

2010.04.08 09:18 到 2010.04.08 12:00;

2010.04.09 14:00 到 2010.04.09 16:30;

得到此次维护的维护时间为 5 小时。而维护计划时间为 8 小时,容忍时间为 2 小时,因此该模型的可维护性状态属于易维护。对该模块的维护记录数据收集如表 2 所示。

由表中数据可以统计出,该模块的可维护性处于 3 种状态的概率分别为 $P(s_0) = 60\%$, $P(s_1) = 30\%$, $P(s_2) = 10\%$ 。将 $\pi_0 = (0.6, 0.3, 0.1)$ 作为初始状态概率代入式(4),利用参数重估公式(5)对模型进行训练,得到反映实际维护性状态转移的 HMC 模型。运用训练好的模型对各模块的后 10 次维护过程进行跟踪对比验证,结果如表 3 所示。

表 2 “训练内容”模块维护时间数据收集

修改编号	计划维护时间(h)	容忍时间(h)	实际维护时间(h)
M1	8	2	5
M2	3	1	2
M3	2	1	2.5
M4	1	0.5	2
M5	3	1	2
M6	4	2	5
M7	2	1	3
M8	3	1	1
M9	3	1	2
M10	3	1	1

表 3 评估结果分析

可维护性状态分布	易维护状态概率 $P(s_0)$	可维护状态概率 $P(s_1)$	不可维护状态概率 $P(s_2)$
HMC 模型评估	0.62	0.31	0.07
实测维护任务统计概率	0.56	0.42	0.02

3.2 结果分析

从计算结果中可看出,模型所预测出的软件维护性状态概

率与实际维护进程中软件的可维护性状态概率基本一致,所测试的软件模块处于易维护性状态。

4 结论

针对软件维护性定量评估依赖主观经验多,可操作性弱,评估稳定度低下的问题,提出了一种软件维护性评估的新方法。建立可维护性状态转移模型,不仅能够对维护进程中的不确定信息进行处理,同时,该模型能够充分利用反映维护性外部表现的历史维护数据和软件规模、复杂度等软件自身的设计特性对软件系统进行合理的评估。实例分析表明,本文提出的方法是有效的,易于实施且具有可重复性。

参考文献:

[1] Oman P. and Hagemester J. Metrics for Assessing a Software System’s Maintainability [A]. In proceedings of Conference on Software Maintenance [C]. IEEE, 1992.

[2] Misra, S. C.. Modeling design/coding factors that drive maintainability of software systems [J]. Software Quality Journal 13 (3), 2005; 297-320.

[3] Thwin, M. M. T., Quah, T. S.. Application of neural networks for software quality prediction using object-oriented metrics [J]. Journal of Systems and Software 76 (2), 2005; 147-156.

[4] Fenton N E, Krause Paul Neil M. Software measurement; uncertainty and causal modeling [J]. IEEE Software 19 (4), 2002; 116-122.

[5] Sussy B, Jose A, Gonzalo C, eta al. Critical success factors taxonomy for software process deployment [J]. Software Qual J, 2014 (22); 21-48.

[6] 吴军,邵新宇,邓超.隐马尔可夫链模型在装备运行可靠性预测中的应用[J].中国机械工程,2010,21(19):2345-2349.

[7] 蔡金锭,鄢仁武. ARMA 双谱分析与离散隐马尔可夫模型在电力电子电路故障诊断中的应用[J].中国电机工程学报,2010,30(24):54-60.

[8] 黄景德,郝学良,黄义.基于改进 HMM 的潜在电子故障状态识别模型[J].仪器仪表学报,2011,32(11):2481-2486.

[9] 冷晓艳,刘宇,段俊斌,等.装备软件综合保障研究[J].计算机测量与控制,2013,21(10):2750-2752.

[10] 杜晶,杨叶,王青,等.基于证据的可信软件过程评估方法[J].计算机科学与探索,2011,5(6):501-512.

[11] 李明树,杨秋松,翟健.软件过程建模方法研究[J].软件学报,2009,20(3):524-545.