

本文引用格式: 吴杜雄,刘秀娟,周钢.基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统设计[J].自动化与信息工程,2022,43(4):26-31.

WU Duxiong, LIU Xiujuan, ZHOU Gang. Design of LED Simulation Working Condition Life Test System Based on LabVIEW[J]. Automation & Information Engineering, 2022,43(4):26-31.

基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统设计

吴杜雄¹ 刘秀娟² 周钢³

(1.广州赛西标准检测研究院有限公司, 广东 广州 510700

2.中国电子技术标准化研究院, 北京 100007

3.深圳赛西信息技术有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 可靠性寿命评估是 LED 产业发展过程中亟需解决的问题。设计一套模拟 LED 实际工作温度、电流、电压条件的寿命试验系统, 实现恒温加速寿命试验的实时监控、测量、保存数据等功能。通过相关试验及评估不确定度, 验证该系统的可行性及有效性, 有助于评估 LED 封装、模块、阵列的可靠性寿命, 促进产品质量水平的提升。

关键词: LabVIEW; LED; 可靠性寿命; 光通维持率

中图分类号: TN23

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2022)04-0006-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2022.04.006

Design of LED Simulation Working Condition Life Test System Based on LabVIEW

WU Duxiong¹ LIU Xiujuan² ZHOU Gang³

(1.CESI (Guangzhou) Standards & Testing Institute Co., Ltd. Guangzhou 510700, China

2.China Electronics Standardization Institute, Beijing 100007, China

3.Shenzhen CESI Information Technology Co., Ltd. Shenzhen 518057, China)

Abstract: Reliability life evaluation is an urgent problem to be solved in the development of LED industry. A set of life test system simulating the actual working temperature, current and voltage of LED is designed to realize the functions of real-time monitoring, measuring and saving data of constant temperature accelerated life test. The feasibility and effectiveness of the system are verified through relevant tests and evaluation uncertainty, which is helpful to evaluate the reliability life of LED packages, modules and arrays, and promote the improvement of product quality.

Keywords: LabVIEW; LED; reliability life; luminous flux maintenance

0 引言

白光 LED 发光机理不同于白炽灯、荧光灯等传统光源, 长时间工作后, 一般不会出现类似传统光源的突然不亮现象, 其光通量呈缓慢衰减趋势。光通量衰减一般用光通维持率表征。光通维持率定义为“光源在规定条件下燃点, 在寿命期间内一特定时间光源

所发出的光通量与初始光通量的比值”^[1], 并将 70% 光通维持率的工作时间作为 LED 光通维持寿命, 称为 L_{70} 。

在不同温度环境下, LED 的光通维持寿命、颜色维持差异较大, 因此对 LED 可靠性寿命及失效机理研究有重要的现实意义。目前, 市场上 LED 寿命试

验设备的测量精度、可靠性、自动化程度等方面不尽如人意。为此,本文设计基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统,模拟 LED 实际工作温度、电流、电压条件,实现恒温加速寿命试验的实时监控、测量、保存数据等功能。

1 试验方法

LED 理论寿命可达 10 万小时,若采用其正常工作直接测量光通量衰减到指定目标值的方法,试验时间过长,不利于 LED 推广应用。采用加速寿命试验方法,可减少试验时间。加速寿命试验先利用加大应力(热应力、电应力、机械应力等)的办法,加快产品失效,缩短试验时间;再运用加速寿命模型,估计产品在正常工作应力下的可靠性特征量^[2]。根据应力改变方式不同,加速寿命试验可分为恒定应力加速寿命试验、步进应力加速寿命试验、序进应力加速寿命试验^[3]。因恒定应力加速寿命试验更成熟、数据更易处理、外推精度较高,本文采用其评估 LED 的寿命可靠性特征量。

在不改变 LED 失效机理的前提下,通过加大温度或电流可加快 LED 的光通量衰减速度。在相同失效概率下,若保持 LED 结温不变,驱动电流越大,其寿命越短;若保持 LED 驱动电流不变,结温越高,其寿命越短。由于电流加大导致 LED 发热,使结温升高,对 LED 失效机理影响较大,因此一般以温度为应力水平开展恒定应力加速寿命试验。在固定时间间隔测试 LED 光通量维持率,运用外推方法快速预测 LED 在正常条件下的寿命可靠性^[4]。

2 系统设计

国内外 LED 寿命试验的现行有效标准规定:LED 通过以恒定温度为单一应力水平进行固定时间加速寿命试验,每隔一定时间用积分球光谱仪系统测试一次 LED 光通量维持率,运用阿伦尼乌斯模型分析推算 LED 在不同工作温度下的寿命,如表 1 所示。

表 1 LED 寿命试验的现行有效标准

标准编号	标准名称	所属区域
GB/T 36361—2018	LED加速寿命试验方法	国家标准
GB/T 41423—2022	LED封装 长期光通量和辐射通量维持率的推算	国家标准
IEC 63013:2017+AMD1:2021	LED packages – Long-term luminous and radiant flux maintenance projection	国际标准
ANSI/IES TM-21-19	Technical Memorandum: Projecting Long Term Lumen, Photon, and Radiant Flux Maintenance of LED Light Sources	美国标准
ANSI/IES LM-80-20	Approved Method: Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Packages, Arrays, and Modules	美国标准

基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统模拟 LED 实际工作温度、电流、电压等条件,以满足 LED 恒温加速寿命试验的国内外标准要求。系统设计思路如图 1 所示。

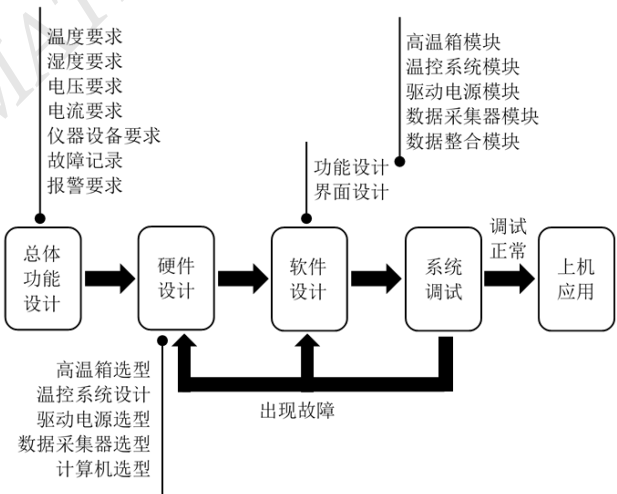


图 1 基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统设计思路

2.1 硬件设计

基于 LabVIEW 的 LED 模拟工况寿命试验系统主要由计算机、数据采集器、高温箱、温控系统、驱动电源等组成,结构框图如图 2 所示。LED 在不同灯具使用时,壳体温度也不同,因此需要在不同壳体温度下进行加速寿命试验。本系统配备 3 套硬件设备。

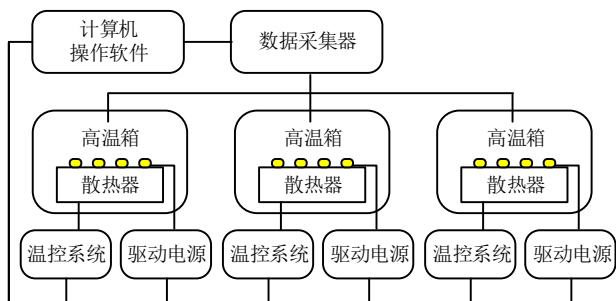


图2 基于LabVIEW的LED模拟工况寿命试验系统结构框图

计算机支持双SAS/SATA HDD托架及LabVIEW安装；配备2个500 GB硬盘，用于测量及备份试验数据；配备12个USB接口及10个RS232接口，与硬件设备通讯；利用操作软件实时监控各个硬件设备工作状态，自动记录温度、电流、电压等试验数据；具有异常状态报警、形成试验日志、自动识别故障、智能化工作、数据双路备份、工作模式独立等功能。

数据采集器是集测量功能和信号连接功能为一体的测试系统。3个模块插槽均内置于仪器后面，可允许数据采集或切换模块的任何组合，同时具备数据记录和数据采集功能。其通过热电偶及电线连接LED，监测LED的壳体温度、环境温度、工作电流、工作电压等。

高温箱是为LED提供加热并保持不同温度环境的硬件设备，主要包括温度探头、制冷压缩机、加热风机等，控制LED的环境温度达到指定温度值（室温+20）℃~200℃，控温精度为±0.3℃，温度均匀度为±0.5℃。

温控系统主要由散热器、半导体制冷片、温度传感器、半导体制冷控制电源等组成，采用全自动智能PID功率的控温方式，控制LED的壳体温度达到指定温度值0℃~200℃，控温精度为±0.1℃，可实现制冷与制热模式的自动转换。

驱动电源具有加速旋钮与数字键盘2种输入方式；恒压和恒流2种输出状态；过压、过流、过温和短路等多重保护，为LED提供稳定，分辨率为1 mA的工作电流或分辨率为1 mV的工作电压。

2.2 软件设计

在LED恒温加速寿命试验中，需监测、测量、保存3种不同条件的LED壳体温度、环境温度、工作电流、工作电压等试验参数，每种参数至少包括6 000 h的试验数据。若采用人工操作，工作量较大。为保证数据采集器、高温箱、温控系统、驱动电源等设备同步工作，利用LabVIEW程序^[5]编写系统操作软件。

系统操作软件通过NI-VISA、串行接口USB、RS232控制各仪器设备，即计算机对仪器设备发出指令，仪器设备响应并执行指令，并向计算机反馈相应参数。系统操作软件根据仪器设备反馈的参数进行分析判断，如无异常情况则记录相应参数并继续下一个指令；如有异常情况则发出指令切断设备，报警并写入运行日志。

系统操作软件框架采用状态机模型与Subpanel界面重用技术，减小代码冗余，保证系统可靠性与可维护性。数据输出采用带制表符分隔的文本文件，方便使用Excel查阅；也可以使用记事本、写字板、word等软件查阅。数据采集器采用多路复用技术，所有通道为串行传输，其他仪器设备均为并行运行，彼此互不干扰。系统操作软件的部分程序代码如图3所示。

3 试验验证

3.1 试验过程

为验证本系统的可行性，按照ANSI/IES LM-80-20、ANSI/IES TM-21-19要求开展LED恒温加速寿命试验。挑选75个LED器件，分为3组，分别利用本系统控制LED壳体温度为55℃、85℃、105℃且恒流150 mA条件下工作6 000 h。

在LED铝基板与散热器的接触面涂抹导热硅脂，保证LED具有良好的热管理路径，以满足壳体温度与环境温度的试验要求。将散热器安装在高温箱内；LED分别与数据采集器、驱动电源连接；半导体制冷片连接到温控系统；由数据采集器控制的J型热电偶分别固定在LED壳体温度监测位置与高温箱内，试验实物图如图4所示。

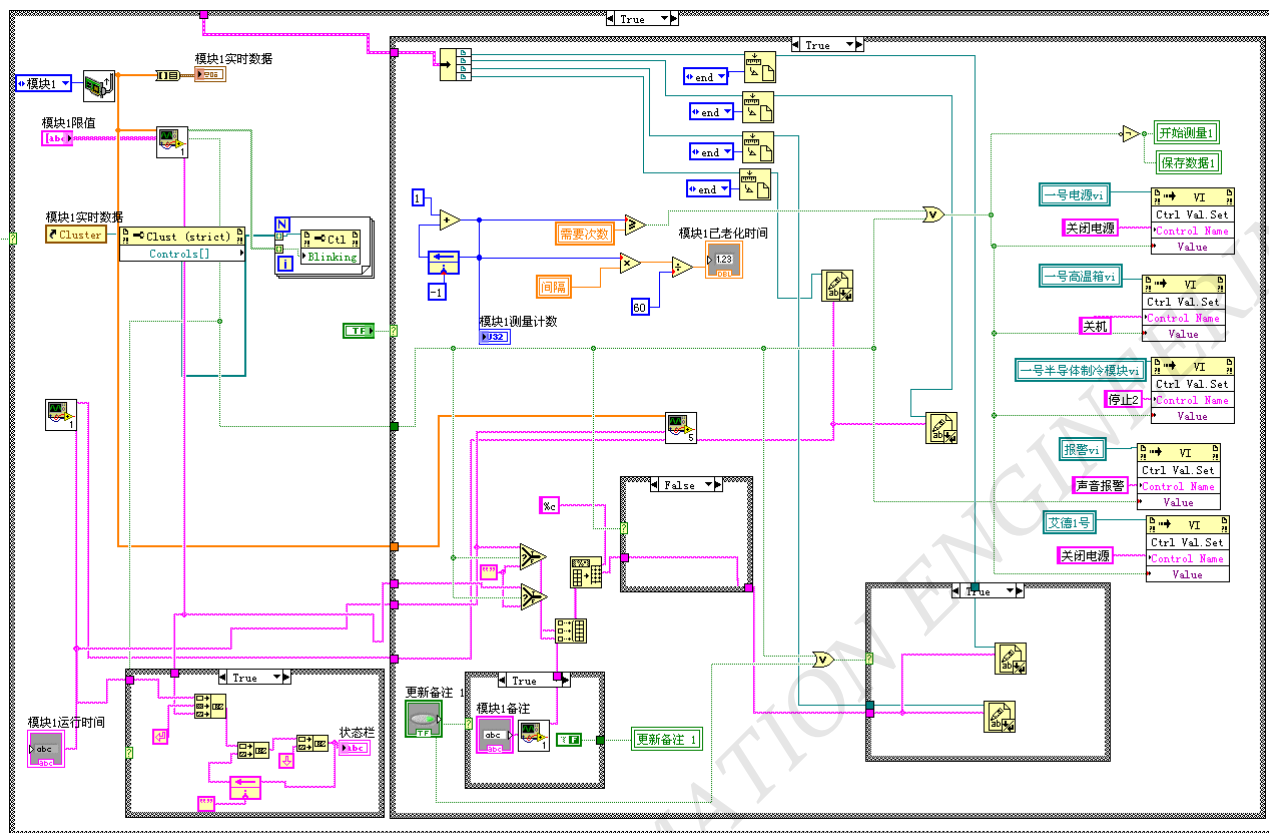


图3 系统操作软件的部分程序代码



图4 试验实物图

首先，初始化软件界面，检查仪器设备的通信情况。

然后，在软件界面设置试验数据保存路径，调节高温箱内部工作温度，控制 LED 环境温度为 55℃、85℃、105℃；调节温控系统控制 LED 壳体温度为 55℃、85℃、105℃；调节驱动电源控制 LED 工作电流为 150 mA。

接着，设置报警限值范围：LED 壳体温度为 55℃

±2℃、85℃±2℃、105℃±2℃；LED 环境温度为 55℃±5℃、85℃±5℃、105℃±5℃；工作电流 150 mA±5 mA，在出现异常情况时终止恒温加速寿命试验；设置试验时间间隔为 1 000 h。

最后，实时显示并保存壳体温度、环境温度、工作电流、工作电压等数据。

3.2 试验结果分析

根据 ANSI/IES LM-80-20、ANSI/IES TM-21-19 要求，记录 LED 恒温加速寿命试验在 55℃、85℃、105℃ 的试验数据，试验总时间为 6 000 h，每隔 1 000 h 用积分光谱仪系统测量 LED 光光电参数。LED 在 0 h 初始值归一化，即初始光通量定义为 100%，计算每隔 1 000 h 的平均光通维持率，进行最小二乘曲线拟合，通过阿伦尼乌斯模型（公式(1)）计算最小二乘曲线拟合的外推初始常数、衰减加速常数，推算壳体不同温度条件下的 LED 光通维持寿命 L_{70} （公式(2)）。试验结果如表 2 所示。

$$\Phi(t) = B \exp(-\alpha t) \quad (1)$$

$$L_{70} = \frac{\ln\left(\frac{B}{0.7}\right)}{\alpha} \quad (2)$$

式中:

$\Phi(t)$ —— t 时刻的平均归一化的相对光通量, %;

B ——最小二乘曲线拟合的外推初始常数;

α ——最小二乘曲线拟合的衰减加速常数;

t ——工作时间, h。

由表 2 试验数据可知: LED 在工作 6 000 h 后, 其壳体温度 55℃、85℃、105℃的平均光通维持率分别为 97.18%、95.64%、92.18%, 均大于 90%; 光通维持率随壳体温度上升或试验时间增加呈下降趋势, 其变化趋势如图 5 所示; 由公式(2)计算 LED 在壳体

温度 55℃、85℃、105℃时, 光通维持寿命 L_{70} 分别为 56 812 h、38 201 h、23 846 h。

表 2 试验数据

	壳体温度/℃			工作时间/h
	55	85	105	
光通维持率/%	100.00	100.00	100.00	0
	100.27	99.88	99.95	1 000
	99.67	99.4	99.2	2 000
	98.79	98.3	98.14	3 000
	98.18	96.63	97.38	4 000
	97.62	96.1	94.49	5 000
	97.18	95.64	92.18	6 000
衰减加速常数	6.428E-06	9.591E-06	1.596E-05	
外推初始常数	1.009	1.010	1.024	
推算光通维持寿命/h	56 812	38 201	23 846	
报告光通维持寿命/h	>36 000	>36 000	<36 000	

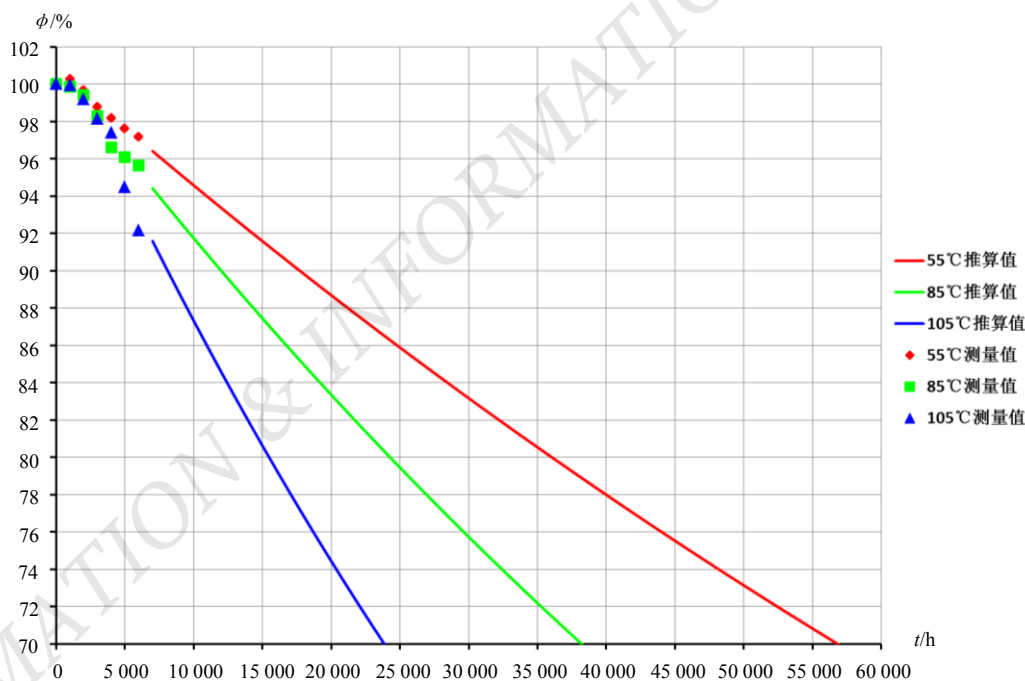


图 5 3 种不同壳体温度条件的 LED 光通维持寿命 L_{70}

4 不确定度评估

为保证本系统的试验时间准确度符合标准要求, 需对试验中的各个不确定度分量进行严格控制。恒温加速寿命试验的测量时间为重要因素, 当光通量、温度、电流、电压等输入量误差非常小时, 也可能引起

较大的时间偏差。试验时间测量不确定度由光通量、温度、电流、电压、时间等输入分量组成 (公式(3)), 每个分量用其概率分布的标准偏差估计值表征, 称为标准不确定度, 包括 A 类评定与 B 类评定^[6]。A 类评定是对在规定测量条件下 (指重复性测量条件、期间

精密度测量条件或复现性测量条件)测得的量值,用统计分析方法进行测量不确定分量的评定。B类评定是用不同于A类评定的方法对标准不确定度分量进行评定,主要来源于校准证书、生产厂说明书、检测依据标准、以往测量数据、测量仪器特性经验等。

$$L_{70} = f(\Phi, T, I, V, t) \quad (3)$$

因为光通量、温度、电流、电压、时间等输入分量相对独立,各不相干,引起试验时间的变化也相对独立,因此结合仪器设备特性及工作经验等信息,参考标准 GB/T 27418—2017 评估上述输入分量的标准不确定度 u_i , 计算试验时间的合成标准不确定度 u_{crel} , 利用包含因子 k 确定试验时间的扩展不确定度 U_{rel} (公式(4))^[7]。各输入分量的不确定度评估如表3所示。

$$U_{\text{rel}} = k \cdot u_{\text{crel}} \quad (4)$$

表3 各输入分量的不确定度评估

输入分量	不确定来源	评定方法	标准不确定度分量 u_i
光通量	积分球光谱仪系统	B类	1.910%
	高精度直流源	B类	0.013%
电流	驱动电源	B类	0.173%
	数据采集器	B类	0.060%
电压	高精度直流源	B类	0.048%
	驱动电源	B类	0.017%
	数据采集器	B类	0.020%
时间	计算机操作软件计时器	A类	0.015%
温度	高温箱	B类	1.890%
	数据采集器	B类	0.451%
相对合成标准不确定度 u_{crel}			2.73%
包含因子 k			2
相对扩展不确定度 U_{rel}			5.5%

由表3可知:LED恒温加速寿命试验时间与期望值的相对扩展不确定度为5.5%,包含概率 P 为95%。

作者简介:

吴杜雄,男,1986年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:光电标准化及检测。E-mail: wudx@cesi-gz.org.cn

刘秀娟,女,1983年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:半导体光电和显示标准化研究。E-mail: liuxiujuan@cesi.cn

周钢(通信作者),男,1981年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:光电标准化及检测。E-mail: zhougang@cesi-

gz.org.cn

包含因子 k 为2;表明通过阿伦尼乌斯模型推算的LED光通维持寿命结果的准确性,也验证LED模拟工况寿命试验系统的有效性,符合LED恒温加速寿命试验的标准要求。

5 结语

本文设计一套基于LabVIEW的LED模拟工况寿命试验系统,模拟LED实际工作温度、电流、电压,开展以温度为单一应力水平的加速寿命试验,并运用阿伦尼乌斯模型推算LED光通维持寿命,分析寿命不确定度,验证本系统的可行性及有效性。LED应用领域及环境状况不同,影响LED寿命的应力水平可能包括湿度、机械力、光辐射等,这些应力水平相互作用施加在LED形成各种失效模式,需对不同LED在更多的应力水平下进行加速寿命试验,获取更精确的试验数据以符合LED实际应用情况,为LED可靠性寿命研究提供科学合理的评价方法。

参考文献

- [1] 全国照明电器标准化技术委员会.GB/T 24826—2016 普通照明用LED产品和相关设备术语和定义[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [2] 唐元天.加速寿命试验数据管理与解析系统研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2007.
- [3] 陈愿.基于威布尔分布的某电子部件贮存可靠性寿命评估[J].电子元器件与信息技术,2019(1):1-4,14.
- [4] 俞建峰,储建平.LED照明产品质量认证与检测方法[M].北京:人民邮电出版社,2018.
- [5] 唐普英,谢启.基于LabVIEW的多串口通信及数据存储的研究与实现[J].实验室研究与探索,2015,34(8):93-97.
- [6] 曹祥显.测量不确定度的分析[J].商品与质量,2018(44):216-217.
- [7] 全国认证认可标准化技术委员会.GB/T 27418—2017 测量不确定度评定和表示[S].北京:中国标准出版社,2017.