

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107547

照明灯具灯光品质检测仪设计

柯顺利 张恩雨 朱明宽 戴礼圣 谢宇航 徐坤

(河南工业大学电气工程学院 郑州 450001)

摘要: 随着光源产品的不断更新换代,人们对健康照明也越来越关注。照明灯具灯光品质检测是健康照明的重要保证,尤其是灯光强度、闪烁频率和闪烁占比等灯光品质参数检测。针对健康照明,设计了一种基于STM32的照明灯具灯光品质检测仪,选用硅光电池作为光电转换的传感器,通过电流电压转换和低通滤波提取光信号中的光强部分,通过带通滤波提取频闪信号,用包络检波电路对频闪信号鉴幅,用鉴频电路对频闪信号鉴频。采用STM32F103RCT6单片机作为核心处理器,对信息进行分析处理,获得灯光强度、闪烁频率和闪烁占比等品质参数。该系统主要优点是可以检测灯光灯具多参数品质,结构简单,体积小,成本低,稳定性好,能够用于家用照明灯具的灯光品质质量检测,帮助人们筛选出更优质的灯具,实现健康照明。经过实验得出,该系统可以准确的检测出,市面上家用照明灯具是否合格,历次检测精度均可达到99%以上。实现了光源是否健康的检测,为检测光照是否安全提供了一种参考方法。

关键词: STM32 单片机;光电池;灯光品质;多参数检测;灯光强度;闪烁频率

中图分类号: TN36 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Design of lighting quality detector for lighting lamps

Ke Shunli Zhang Siyu Zhu Mingkuan Dai Lisheng Xie Yuhang Xu Kun

(School of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: With the continuous renewal of light source products, people are paying more and more attention to healthy lighting. The detection of lighting quality is an important guarantee of healthy lighting, especially the detection of lighting quality parameters such as intensity, flicker frequency and flicker proportion. Aiming at health lighting, design a kind of lighting lamps and lanterns lighting quality detector based on STM32, silicon photocell chosen as the photoelectric sensor, through the current voltage conversion and low pass filtering to extract the signal intensity of the light, through band-pass filter to extract the stroboscopic signal, using the stroboscopic signal envelope detection circuit as a picture, using the stroboscopic signal frequency discriminator circuit. STM32F103RCT6 microcontroller is used as the core processor to analyze and process the information, and obtain the quality parameters such as light intensity, flicker frequency and flicker proportion. The main advantages of the system are that it can detect the multi-parameter quality of lighting lamps online, with simple structure, small size, low cost and good stability. It can be used to detect the lighting quality of household lighting lamps, and help people screen out better lamps and achieve healthy lighting. After the experiment, the system can accurately detect whether the household lighting on the market is qualified, the detection accuracy can reach more than 99%. It can detect whether the light source is healthy and provide a reference method for detecting whether the light source is safe.

Keywords: STM32 MCU; photovoltaic cells; lighting quality; multi-parameter detection; light intensity; scintillation frequency

0 引言

灯光品质对于人们的视力和身心健康有很大影响^[1],研究表明低频的频闪会引起眼睛疲劳^[2],使人注意力不集中,甚至引起严重的头疼,影响人们的生理和心理健康^[3],

选择好的灯具能减少频闪带来的不适^[4]。

目前市场上对于灯光强度检测方法比较成熟,有光敏电阻法^[5]、光电池法^[6]、电荷耦合元件法^[7],灯光频闪检测的方法很少且精确度低,主要有手机照相检测法、陀螺测试检测法、光电池检测法^[8]。其中手机检测法不能定量分析

灯光闪烁频率;陀螺测试检测法精确度低且不确定度大;光电池可以快速响应灯光亮度变化并精确地检测出灯光闪烁频率,通过对当前市场上存在的灯光品质检测设备的分析发现,目前市场上很少有全面检测灯光品质的仪器,大多数只能检测出灯光光照强度,功能比较单一,对于灯光频闪的检测缺乏严谨的科学依据且精确度低,而专业设备体积较大且造价高。

本设计通过硅光电池将光信号转换为电流信号,电流信号经过 I/V 转换电路转换为电压信号,然后对电压信号进行低通滤波得到电压直流分量^[9],通过计算得到该电压直流分量对应的灯光光照强度^[10]。对电压信号进行带通滤波得到电压交流分量,通过计算得到该交流分量的频率得到灯光闪烁频率,之后将灯光光照强度和闪烁频率的数值以动态波形图的形式显示在 LCD 液晶显示屏上^[11],最后进行调试提升检测精度。

1 检测仪总体设计

所设计的照明灯具灯光品质检测仪总体结构如图 1 所示,主要包括硅光电池^[12]、光信号采集电路、I/V 转换电路、直流信号提取电路、频闪信号提取电路、鉴幅电路、鉴频电路、LCD 显示屏和 STM32F103RCT6 单片机。

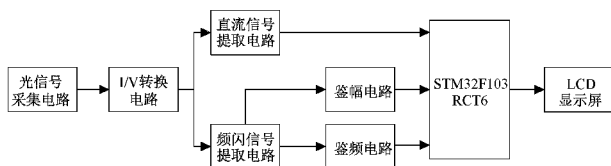


图 1 系统结构

其中,光信号采集电路把光信号转换为线性电流信号,I/V 转换电路实现电流信号转换为电压信号,直流信号提取电路实现提取直流信号的功能^[13],频闪信号提取电路实现提取灯光频闪信号的功能,鉴幅电路实现鉴定频闪信号幅值的功能,鉴频电路实现把频闪信号转换为方波的功能。STM32F103RCT6 通过 AD 采集读取各信号的电压值,由直流信号的电压值计算得到光强,由频闪信号鉴幅后的电压值计算得到灯光闪烁幅值,由频闪信号鉴频后的电压值计算得到灯光闪烁频率。

2 灯光品质检测电路设计

2.1 直流信号提取电路设计

直流信号提取电路是一个 16 Hz 的低通滤波器,将第 1 个电路输出的电压信号滤波,提取直流电压,提取到的直流电压通过计算可以得到光照强度。本设计选用二阶有源低通滤波电路,其电路如图 2 所示。

该电路的通带电压增益为:

$$A_f = \frac{V_o}{V_p} = 1 + \frac{R_3}{R_2} \quad (1)$$

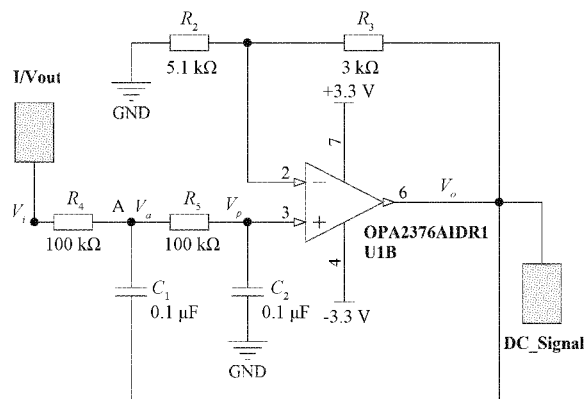


图 2 直流信号提取电路

其中, V_p 为 V_i 经过两阶 RC 滤波电路滤波后的输出电压。

下面计算这两节 RC 滤波电路的传递函数:

$$\frac{V_p(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{1 + sR_5C_2} \quad (2)$$

$$\frac{V_o(s)}{V_p(s)} = A_f(s) \quad (3)$$

对点 A 由基尔霍夫电流定律(KCL)^[14]可得:

$$\frac{V_i(s) - V_a(s)}{R_4} - [V_a(s) - V_o(s)]sC_1 - \frac{V_a(s) - V_p(s)}{R_5} = 0 \quad (4)$$

联立式(2)~(4)取 $R_4 = R_5 = R, C_1 = C_2 = C$ 可得电路传递函数:

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_f}{1 + (3 - A_f)sRC + (sRC)^2} \quad (5)$$

2.2 频闪信号提取电路设计

频闪信号提取电路由 1 个 16 Hz 的二阶高通滤波器和 1 个 1.6 kHz 的一阶的低通滤波器构成,形成一个 16 Hz~1.6 kHz 的带通滤波器。其电路如图 3 所示。该电路保留 16 Hz~1.6 kHz 频段内的频闪信号,滤除该频段外的信号以及直流信号。

此电路中包含 1 个二阶高通滤波电路和 1 个一阶低通滤波电路,其中二阶高通滤波电路的传递函数为:

$$A(s) = \frac{A_f(sRC)^2}{1 + \frac{RC}{Q} + (sRC)^2} \quad (6)$$

其中, $R = R_8 = R_9, C = C_3 = C_4, A_f = 1 + \frac{R_6}{R_7}, Q = \frac{1}{3 - A_f}$ 。

2.3 鉴幅电路设计

鉴幅电路由 1 个整流电路和 1 个滤波电路构成的包络检波电路,其电路如图 4 所示,本电路用到的二极管是 BAT60A,硅二极管导通电压为 0.7 V。本电路的输入信号

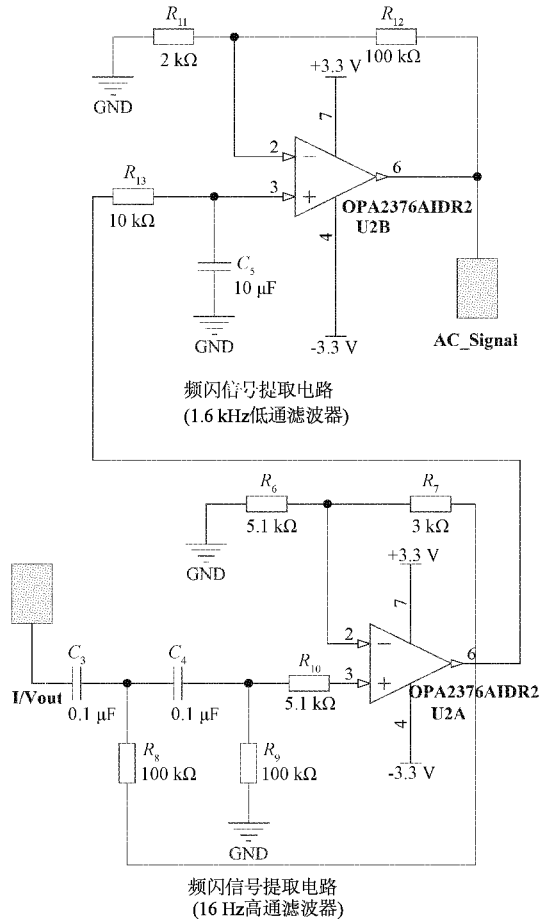


图3 频闪信号提取电路

为全波的正弦信号,经过二极管后变为半波信号,只保留上半部分的信号。然后把这个半波信号输入到 16 Hz 的一阶 RC 低通滤波器,直接输出直流信号,由输出的直流信号可以计算交流信号的幅值。通过测试发现滤波后得到的电压值与输入信号的峰值几乎一样大,可以达到准确鉴幅的功能。

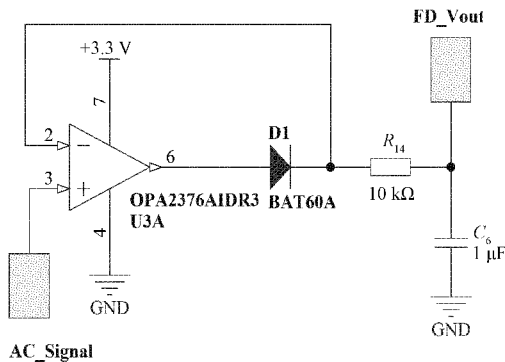


图4 鉴幅电路

2.4 鉴频电路设计

本设计使用的是软件计算频率,使用简单精确度很高。通过迟滞比较器^[15]把正弦波转换为方波,然后使用定时器

中断检测方波的上升沿,通过计算两次上升沿的时间差得到方波周期,实现鉴频功能。迟滞比较器的电路如图 5 所示。

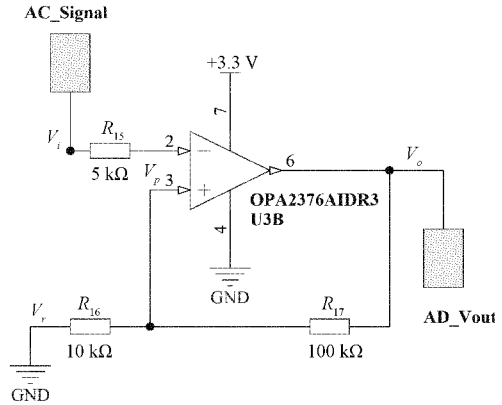


图5 鉴频电路

迟滞比较器会输出两个电压,其反馈到输入端将产生两个门限电压值。通过调节 R_{16} 、 R_{17} 的值可以改变上下门限电压值,根据叠加原理,可以求出门限电压。

当 $V_o = 0 \text{ V}$ 时,则:

$$V_p = \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{17}} V_o + \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{17}} V_r = 0 + 0 = 0 \text{ V} \quad (7)$$

当 $V_o = 3.3 \text{ V}$ 时,则:

$$V_p = \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{17}} V_o + \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{17}} V_r = \frac{10}{100 + 10} \times$$

$$3.3 + 0 = 0.3 \text{ V} \quad (8)$$

当输入电压值为 $0 \sim 0.3 \text{ V}$ 之间时,输出波形不会发生变化,这样能有效防止 0 V 附近的噪声信号引起电压翻转,提高精确度。

3 检测仪软件设计

3.1 主程序设计

主程序流程如图 6 所示,开机后显示封面。每隔 10 ms 检测一次封面“进入”图标区域是否被按下,如果没有就一直等待,如果被按下了就开启定时器中断并显示主界面,主界面主要显示处理后的数据以及处理后数据的动态波形图以及界面切换的图标。本设计的主函数仅负责界面切换,而数据采集、处理和显示都放在定时器中断服务子程序中执行。然后每隔 10 ms 检测一次主界面的“返回”图标区域是否被按下,如果没有被按下就一直执行定时器中断服务子程序,如果被按下了就关闭定时器中断,同时 LCD 界面回到封面显示。

3.2 定时器中断子程序设计

本设计共有两个定时器中断,定时器中断(1)用到了内部时钟 TIM3,定时器中断(2)用到了内部时钟 TIM4。

其中定时器中断(1)的中断服务子程序的程序流程如图 7 所示,由于灯光闪烁信号的频率一般为 100 Hz 左右,

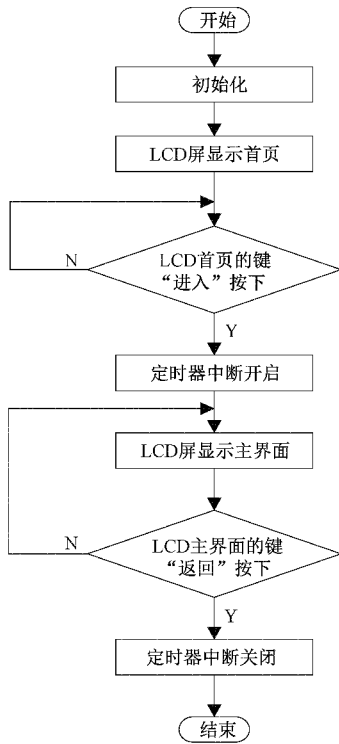


图 6 主程序流程

由采样定理可得,采样频率应该大于 200 Hz,为保证波形还原度更好。故本实验采样频率选用 1 000 Hz,每隔 1 ms 中断一次。

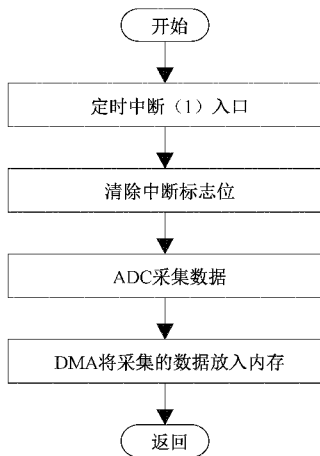


图 7 定时器(1)中断子程序流程

定时器中断(2)的服务子程序如图 8 所示,每隔 200 ms 中断一次,在这 200 ms 中定时器中断(1)服务子程序刚好采集 200 次数据存放在数组中。定时器中断(2)具有更高的抢占优先级,它可以打断中断(1)而优先执行,每隔 200 ms 将数据显示在屏幕上。

3.3 ADC 数据采集子程序设计

ADC 数据采集子程序如图 9 所示,用来采集光强信号、闪烁幅值信号、闪烁频率信号共 3 个电压值。首先调用

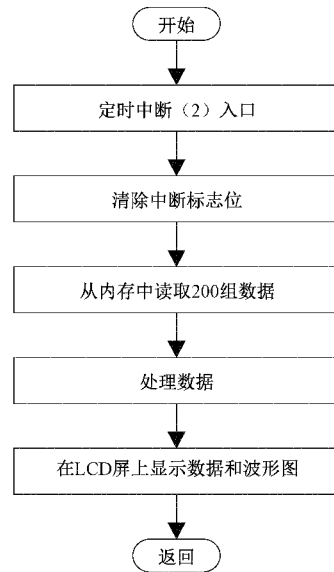


图 8 定时器(2)中断子程序流程

ADC 并同时采集 3 个 I/O 口的输入电压值,采集完毕后延时 10 μ s 再重复采集第 2 次,如此重复 10 次,对 10 次数据用平均值滤波的方法得到的值作为本次采样的最终值。防止因电路波动导致的数据严重失真问题。

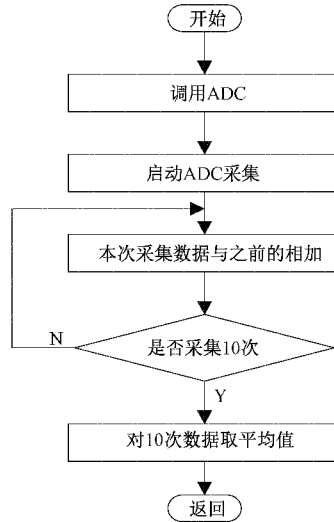


图 9 ADC 采集子程序流程

4 调试与试验

本文设计的照明灯具灯光品质检测仪包含直流信号提取电路、频闪信号提取电路、鉴幅电路和鉴频电路,借助 Altium Designer 软件设计 PCB 电路图,通过对电路图总体调试分析,制作出灯光品质检测电路板实物如图 10 所示。为了提高检测仪的人机交互能力和可用性,采用 2.8 寸触摸显示屏作为显示输出器件,动态显示直流分量信息、鉴幅信息和鉴频信息,以及检测结果的数字信息等,如图 11 所示。

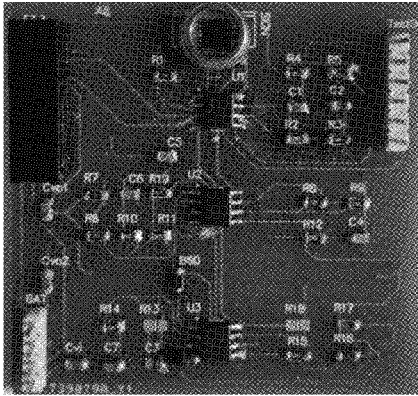


图10 灯光品质检测电路板实物图

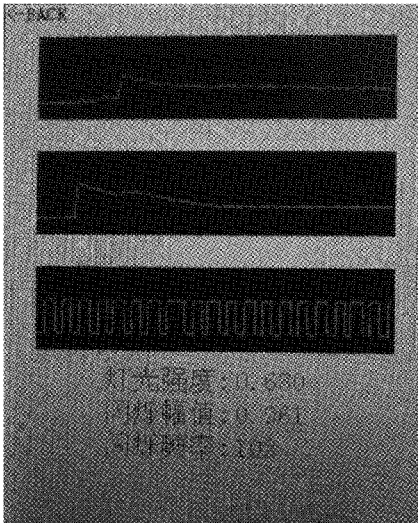


图11 采集调试图

为了得到光电池准确的输入输出特性曲线,通过检测不同照度时的输出来近似得到拟合的光照特性曲线,数据进行线性拟合得到对应关系如图12所示。

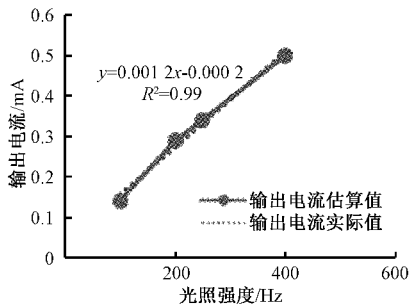
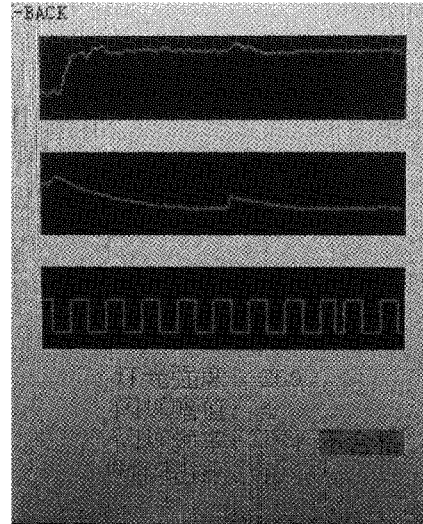


图12 光电池输出电流与光照强度关系图

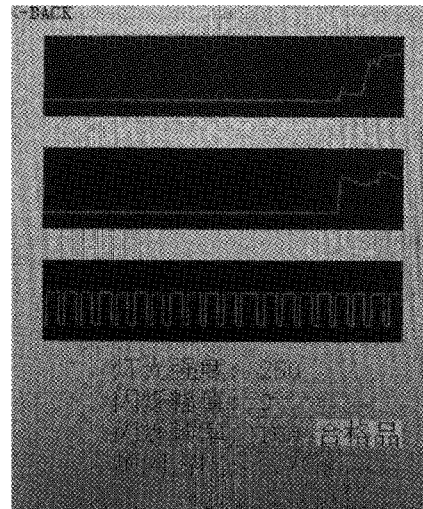
由图12可知,输出电流与光照强度呈线性关系,且可以通过计算输出电流得到实际的灯光光照强度。

本文设计的基于STM32的照明灯具灯光品质检测仪,主要针对的是日常使用的照明灯具,为了检验检测仪的性能,本文选取了两款市场上常见的照明灯具进行测试。其中一款为功率18W的日光灯管,另一款为功率9W的

LED灯具。分别使用本文设计的检测仪进行检测,结果分别如图13(a)、(b)所示。其中图13(a)为日光灯检测结果,灯光强度为259 lx,闪烁幅值为4,闪烁频率54 Hz,频闪占比1.86%,图13(b)为LED灯的检测结果,灯光强度为250 lx,闪烁幅值为9,闪烁频率100 Hz,频闪占比为3.75%。



(a) 某品牌功率18 W日光灯管灯光检测结果



(b) 某品牌功率9 W日光灯管灯光检测结果

图13 两款灯具品质检测结果

对于人体来说,绝大多数人都能明显察觉到80 Hz以下的光闪烁,此时人眼能够感知到光线的明暗变化。根据IEEE Standard PAR1789研究报告中的结论,人眼可辨识80 Hz以下的频闪,人体生理上对这样的低频闪烁可能会有头疼、眼花、心神不安,或引发癫痫等反应。对于照明灯具来说,低于80 Hz的光频闪是无法接受的。因此,可得出结论,对于所检测的功率18 W日光灯管灯光品质检测不合格,而功率9 W的LED灯灯光品质检测合格。

5 结 论

本文采用硅光电池将光信号转换为电信号的方法,设

计一款便携式的照明灯具灯光品质检测仪。采用高性能的 STM32F103 系列的单片机对各个电压数据进行采集和处理得到灯光各个参数,实现灯光品质检测。硬件电路设计部分,先将光电池输出的电流信号转换为电压信号,再通过低通滤波电路提取直流信号、通过带通滤波器电路提取交流信号,对交流信号使用鉴幅电路和鉴频电路实现鉴幅和鉴频。软件设计部分,单片机通过 ADC 采集电压数据,并把电压值换算成对应的灯光光照强度和频闪幅值。通过定时器中断在精确的时间点采集数据,由此确定离散信号每个周期的时间,得到灯光频闪频率。然后把各个结果以数值和动态波形图的形式显示在 LCD 屏幕上。经过试验验证,本设计可以同时检测到具体的灯光强度、闪烁幅值、闪烁频率以及工频频闪所占百分比;同时还可以根据检测到的实际数值进一步的判断该产品合不合格;可以广泛应用于工厂、学校、家庭。今后的研究方向应使用高速处理芯片,提高系统的检测速度和系统的稳定性,以减少偏差性,使采样精度更加准确。

参考文献

- [1] 赵晓杰,徐蔚.光源频闪对人体健康的影响分析[J].光源与照明,2020(2):44-48.
- [2] 王建,陈萍,薛晓晓.自镇流 LED 球泡灯频闪产生原因和解决方案[J].中国照明电器,2017(12):44-49.
- [3] 党卫民,孙菲,何丽华,等.荧光灯频闪对视觉功能影响的实验观察[J].照明工程学报,1999(2):54-57.
- [4] 牛占彪.健康照明与无频闪护眼灯[J].中国照明电器,2015(3):10-13.
- [5] 胡山,李春华,任淑艳,等.大功率 LED 灯具的光学特性检测系统设计[J].机床与液压,2011,39(12):64-66,103.
- [6] 于婷婷,倪晨,方恺,等.基于 SPARK 科学学习系统的硅光电池实验研究[J].大学物理实验,2020,33(2):72-75.
- [7] 裴林,明玉生,张波.CCD 亮度色度计在 LED 照明测试中的应用[J].中国照明电器,2017(7):46-49.
- [8] 霍旭阳,齐秋菊,沈俊廷.灯光品质检测仪的设计[J].科技创新导报,2019,16(32):84,86.
- [9] 宋锡文,董业鹏,杨世飞.基于 FPGA 的振动信号处理参数寻优试验研究[J].电子测量与仪器学报,2021,35(2):101-108.
- [10] 刘浩捷,杨海马,李筠,等.基于 STM32 的纸张破漏检测系统研究[J].电子测量技术,2020,43(18):141-145.
- [11] 栾天,刘一清.基于 STM32 的区域智能用电器检测设备[J].电子测量技术,2020,43(14):182-188.
- [12] 贾志宏.一种基于硅光电池的光检测电路的设计[J].电子测量技术,2020,43(5):141-144.
- [13] 申浩,赵冬娥,张斌,等.激光光幕中心位置检测系统[J].国外电子测量技术,2020,39(1):1-5.
- [14] 蔡默雯,李卫民.基尔霍夫电流定律在故障分析中的应用[J].电气化铁道,2020,31(S2):254-257.
- [15] 潘高,伍滔,周泽坤,等.一种新型的高精度迟滞比较器[J].微电子学,2020,50(6):789-793.

作者简介

柯顺利,硕士研究生,主要研究方向为智能传感与光电检测。

E-mail:keshunli@126.com

徐坤,副教授,硕士生导师,主要研究方向为智能传感与检测。

E-mail:k.xu018@haut.edu.cn