

便携式分光测色仪电路设计

樊洁^{1,2}, 颜昌翔¹

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了实现对物体表面颜色的精确测量, 介绍了一种基于分光光度法的颜色检测仪器的电路设计。该系统以 LPC2478 芯片为核心, 首先控制脉冲氙灯曝光, 实现对被测物体的照明, 然后利用 S4114-46Q 光电二极管阵列对由光学系统分光产生的物体光谱信号进行分时采集, 最后通过 A/D 转换和数据处理得到物体颜色信息, 并将检测结果通过 LCD 显示输出。结果表明, 系统功率低于 5W, 单次测量时间为 2 s 两次测量间隔为 3 s 该设计具有测量时间短、体积小、功耗低等优点, 适合应用于印染、纺织等需要现场测量的领域。

关键词: 分光测色仪; ARM; 脉冲氙灯; 硅光电二极管阵列

中图分类号: O432 3; TH 744 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2011)05-0016-04

Circuit Design of Portable Spectrophotometer for Color Measurement

FAN Jie^{1,2}, YAN Chang-xiang¹

(1 Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences Changchun 130033 China
2 Graduate University of Chinese Academy of Science Beijing 100039, China)

Abstract In order to survey the color of the object surface accurately, this paper designed a circuit for color measuring instrument based on the method of spectrophotometry. The system was based on LPC2478 microcontroller, the tested object was illuminated by controlling the exposure of pulse xenon lamp. Then using the self-scanned photodiode array, the time-sharing spectrum signal produced by the optical system was collected, finally the color information of the tested object was attained by using the A/D converter and data processing method, then was output by the LCD displayer. The results indicate that the power of the system is less than 5W, single measurement time is 2 s and the intervals between two tests is 3 s. With the merits of the short measuring time, small size, low power consumption and so on, this system can be applied to printing dyeing and textile which need on-site measurements.

Key words spectrophotometer; ARM; pulse Xenon lamp; Si photodiode array

0 引言

现有的颜色检测仪器主要有色差计和分光测色仪^[1]。色差计不能精确测量出色源的三刺激值和色品坐标, 但能准确测出 2 个色源之间的差别, 其测量速度快, 也具有适当的测量精度, 它不能用于测量结果要求很正确的场合, 例如微小色差的评价等。分光测色仪可以精确的测量颜色, 但是系统构成复杂, 成本较高, 适用于要求较高的测色与配色场合。色差计和分光测色仪均分为台式机和便携式两种。台式机精度高、稳定性好、方便颜色管理和控制, 但是由于体积庞大, 不易于携带。便携式仪器精度较高, 并且体积小, 功耗低, 适合现场测量。国内现有的测色产品主要以色差计和台式分光测色仪为主, 为了实现高精度、快速、低成本的颜色测量, 文中设计了一种便携式分光测色仪的工作电路。

1 原理概述

1.1 色度学原理

色度学中用三原色的量来表示颜色^[2], 匹配某种颜色所需要的三原色的量, 称为颜色的三刺激值。用红、绿、蓝作为三原色时, 颜色方程中的三原色量 R、G、B 就是三刺激值。波长范围

380~780 nm 内所有光谱色对应的三刺激值总和就应当是被考虑颜色的三刺激。因为由 (R)、(G)、(B) 三原色匹配等能光谱, 有的三刺激值为负值, 这不利于理解和计算, CIE 推荐使用 1931 CIE-XYZ 色度学系统。

$$\begin{cases} X = k_{280}^{780} \int_{280}^{780} \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = k_{280}^{780} \int_{280}^{780} \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = k_{280}^{780} \int_{280}^{780} \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\bar{x}(\lambda)$ 为颜色刺激函数, 表示颜色刺激与波长的函数关系。

对于光源色, 颜色刺激函数就是光源的光谱功率分布, 即 $\bar{x}(\lambda) = s(\lambda)$; 对于物体色, 进入人眼的辐射成分既与照明光源的光谱功率分布 $s(\lambda)$ 有关, 也与物体的光学性质有关。

在实际计算中, CIE 推荐用求和来近似积分。

$$\begin{cases} X = k \sum_{\lambda} \bar{x}(\lambda) \\ Y = k \sum_{\lambda} \bar{y}(\lambda) \\ Z = k \sum_{\lambda} \bar{z}(\lambda) \end{cases} \quad (2)$$

由于颜色的三刺激值 X、Y、Z 标定困难, 难于准确测量, 因

而常用三刺激值各自对三刺激值总量的比值, 即色品坐标 (x, y) 表示颜色, 为了使颜色的表示更加完整, 还需加上表示颜色光亮度的参数 Y 。

(x, y, Y) 颜色空间是非均匀颜色空间, 但是近似均匀的颜色空间是可以建立起来的。在均匀颜色空间中两颜色点之间的距离表示两颜色的色差 $E^{[3]}$ 。

1.2 分光光度法测色原理

分光光度法通过测量光源的光谱功率分布或物体反射光的光谱功率, 根据这些光谱测量数据通过计算的方法求得物体在各种标准光源和标准照明体下的三刺激值, 进而由此计算出各种颜色参数。由于它通过探测样品的光谱成分确定其颜色参数, 所以精度非常高, 可以区分同色异谱现象。

2 系统硬件设计

便携式分光测色仪的系统如图 1 所示, 系统测色过程为: 接受测色指令, 启动脉冲控制电路, 产生光电检测所需的时钟脉冲和触发脉冲, 控制照明氙灯闪光。脉冲氙灯发出的光经积分球漫反射后照射在样品上, 样品的反射光经光栅光谱分离后投射到光电检测部件上, 光电变换后产生样品反射光光谱的光电信号, 经 A/D 变换后生成数字化的光谱数据, 经相关数据处理和解算后得到样品的反射率、颜色三刺激值及色坐标等颜色信息, 根据用户的操作对其分别进行显示。

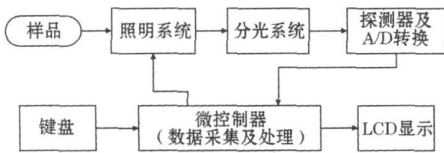


图 1 系统框图

2.1 光源驱动电路

物体必须借助光源照明才能呈色。光源本身的颜色特性将直接影响人们感受的颜色。CIE 推荐使用的标准照明体有 A、B、C、D、E 标准照明体 D65 有相关色温为 6504K 典型日光的光谱功率分布, 是目前 CIE 优先推荐使用的标准照明体, 此标准照明体的光谱功率分布用高压氙灯来模拟^[5]。

该设计采用脉冲氙灯作为照明光源, 它具有光强高, 耗能小的特点。通常情况下, 两次连续闪光的间隔是 1~5 s 图 2 为脉冲氙灯的控制电路。

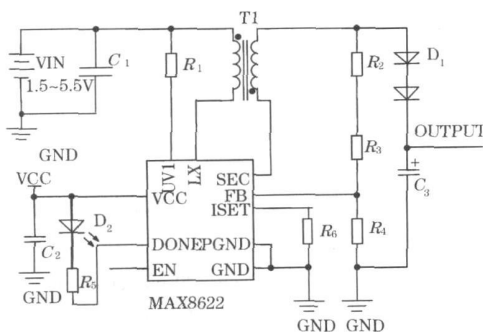


图 2 脉冲氙灯驱动电路

当 EN 引脚为高电平时, 功率开关导通, 允许变压器产生高的电压脉冲, 经过整流滤波产生 300 V 直流输出。当闪光灯电容

充满电时, 漏极开路输出 DONE 会产生指示信号。MAX8622 每 11 s 自动启动一次输出充电, 能够以最小电池电流保持电容器的电荷量。利用外部电阻分压器监控输出电压可以提供较高的充电精度。直接检测变压器二次值, 除了防止输出电容通过反馈电阻放电外, 还可以直接检测输出电压, 以获得最好的电压精度, 并使其不依赖于变压器的匝数比。MAX8622 能够对任何大小的闪光灯电容充电, 只需 28 s 即可把 100 F 电容充到 300 V^[6]。

2.2 光电探测电路

分光测色仪测量波长范围为可见光范围 340~740 nm, 该设计的测量波长间隔为 10 nm, 因而需要 40 路的光电探测器件。经选型, 决定采用 S4114-46Q 光电探测器。此探测器为 46 路硅光电二极管阵列, 具有有效面积大, 光谱响应范围宽, 线性度好, 极间电容小, 响应速度快等优点。图 3 为 S4114 光谱响应曲线。

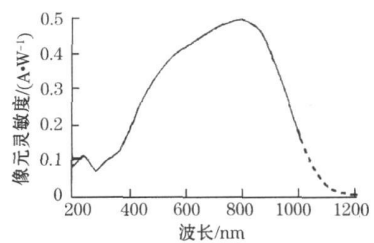


图 3 S4114 光谱响应曲线

S4114-46Q 主要有 2 种的工作电路。第一种是最常用的电路, 运算放大器直接与每一路输出相连, 同时读取输出信号。这种工作电路的输出是低阻抗的, 并且易于多路复用。但是由于每一路输出都需要接 A/V 转换电路, 这使得整个电路非常庞大, 不能满足仪器小型化的要求。另一种是一种电荷存储读出方式, 如图 4 所示。此时电荷存储在各个通道的极间电容中, 其大小与照射的光信号强弱成比例, 这些信号可以被多路复用器依次读出。采用这方法, 光电二极管需要施加反向电压。

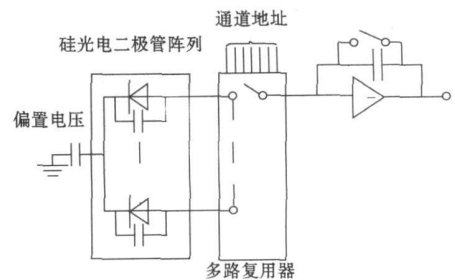


图 4 探测器工作电路

为了实现仪器的小型化, 低功耗, 该设计采用第二种工作电路。

当需要对多个模拟量进行模数变换时, 由于模数转换器 (A/D 转换器) 的价格较贵, 通常不是每个模拟量输入通道设置一个 A/D, 而是多路输入模拟量共用一个 A/D, 中间经过多路转换开关切换。选择多路复用器需要考虑以下指标: 通道数量, 泄漏电流, 导通电阻。为了得到精确的反射光的光谱曲线, 因而需要选择一款性能较高的多路复用器。

该设计采用的多路复用器件为 ADG738 它是一款采用单电源供电的低压 8 1 多路复用器, 包含 3 线 SPI 接口。ADG738 的导通电阻为 2.5 Ω , 平坦度为 0.75 μV , 漏电流为 100 pA, 常温下开启速度 20 ns, 关闭速度为 10 ns 采用 TSSOP 封装。它便于直接与 LPC2478 相连, 其精度高, 开关速度快的优点保证了光谱测量的准确性和及时性^[7]。

2.3 电源设计

该系统采用 4 节干电池 6 V 供电。经计算可得, 系统在 5 V 电压上消耗的总电流为 300 mA 左右, 在 3.3 V 上消耗的总电

流不超过 500 mA, 为保证系统可靠性, 则电源系统 3.3 V 能够提供的电流应当约为 600 mA, 5 V 供电不超过 1 A 即可。

根据系统在各电压上消耗的电流和体积、成本等方面的考虑, 前级电路可以使用开关电源, 为系统提供 5 V 供电。由于系统需要为 AD 转换提供 3.3 V 参考电压, 因而对此电压的稳定性有较高的要求, 所以不适合用开关电源, 应当用低压差模拟电源 (LDO), 并且需要对电源和地进行模数隔离。电源电路如图 5 所示。

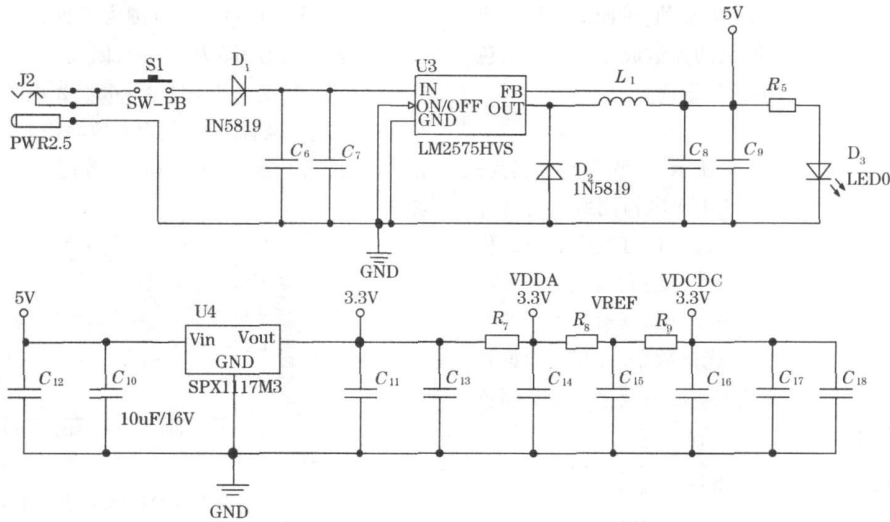


图 5 电源电路

2.4 控制及其他接口设计

该系统采用 LPC2478 作为主控制芯片。它基于 ARM7TDM I- S 内核, 是一款 32 位的微处理器, 其本身强大的功能可以简化电路的复杂度, 提高电路的稳定性。芯片本身带有 512 KB 的 flash, 98 KB 的 SRAM; 最高时钟频率达 72 MHz, 8 路 10 位的 ADC; LCD 控制器, 支持 TFT, STN 液晶显示屏的控制; 并且包含全速 USB (包括 HOST, DEVICE 和 OTG) 控制器; 支持 SPI 串口通信 (可以直接与多路模拟开关 ADG738 相连)。

基于成本和需要考虑, 系统采用 128 \times 64 点阵的 STN 液晶显示屏。并且分别设计了 USB 和 RS-232 接口, 便于数据的传输和管理。

3 系统软件设计

设计采用 ARM 核微控制器集成开发工作 ADS1.2 作为系统的开发平台。编程语言采用嵌入式 C 语言, 这提高了编程速度, 加大了程序的可读性, 并且省去了内存分配等基础性工作, 从而加快了元件的开发速度。

程序流程图如图 6 所示。

4 测试结果

经调试, 系统各个模块均已可以正常工作。实现了对脉冲氙灯的控制, 光信号的采集, 数据处理, 传输和显示等功能。

该系统可以对波长范围为 340~740 nm 的光谱信号进行采集; 进行一次完整测量需要的时间约为 2 s 左右; 由于在脉冲氙灯曝光前需要先对电容进行充电, 因而连续两次测量的间隔

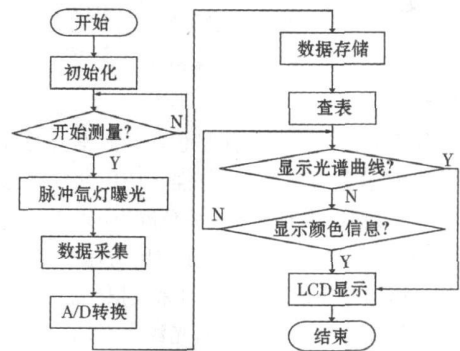


图 6 程序流程图

应不低于 3 s

功耗方面, 假定每次测量用时 10 s 系统由 4 节 5 号碱性干电池供电, 每节电池的容量为 1200 mAh, 可进行 1000 次以上测量。

5 结束语

系统采用 6 V 电源供电, 以硅光电二极管阵列为光电转换器件, LPC2478 为微控制器, 采用嵌入式 C 语言进行软件设计, 实现了被测物体光谱信息的测量与显示, 并且设计了 RS-232 和 USB 通信接口, 便于仪器与电脑之间的数据传输, 从而有利于数据的管理及分析。系统进行一次完整测量的时间约为 2 s, 最小测量间隔为 3 s, 每四节新电池可进行 1000 次以上测量, 具有测量时间短、体积小、功耗低的特点, 在纺织、印染、食品造纸等领域拥有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 李宏光,吴宝宁,施浣芳,等. 几种颜色测量方法的比较. 应用光学, 2005 26(3): 60- 63.
 [2] LEON K, MERY D, PEDRESCHI E, et al. Color measurement in Lab units from RGB digital images. Food Research International, 2006 39(10): 1084- 1091.
 [3] 张以谟. 应用光学. 北京: 电子工业出版社, 2008 156
 [4] 范以辉, 惠焕强. 浅谈分光光度法和分光光度计的原理及其应用. 计量与测试技术, 2006, 33(12): 11- 12

[5] 蒋月娟. 分光测色仪的设计研究. 光学技术, 2001 27(3): 281- 288
 [6] 杨淑娟. 高速高精度分光测色仪的分析与设计. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
 [7] LPC2210 16/32-bit ARM microcontroller with 10-bit ADC and external and memory interface. Philips Semiconductors 2004
 作者简介: 樊洁 (1986-), 硕士, 主要从事硬件电路的设计。
 E-mail fanjihaha@ 126 com

(上接第 11 页)对恒定的特性,特别是当非晶态合金中 B(硼)的含量为 15~ 18% 时,在材料的居里温度以下时,弹性模量 E 的变化非常小^[6]。所以压磁电感式 MPA 传感器的膜片材料,应选 Fe 基 Fe-B 系列的非晶态合金。另外,压磁电感式 MPA

传感器的原理是基于压磁效应,即式 (7) 中的饱和磁致伸缩系数 s_s 所表征的特性。对于非晶态合金材料,当环境温度低于该材料的居里温度 T_c 时, s_s 值近似为常数。

表 2 不同温度时的静态试验数据

测量温度 /	灵敏度 /mV/kPa	进气压力 /kPa								
		0	23.99	35.4	47.6	58.3	68.2	79.6	89.7	100.9
- 20	0.627	4.13	18.86	25.74	33.27	40.16	46.45	53.43	59.68	67.12
0	0.728	4.68	22.23	30.71	38.11	46.73	54.58	62.61	70.15	78.11
25	0.731	4.75	22.97	30.89	38.41	46.99	54.79	62.91	70.73	78.51
40	0.729	4.88	23.43	31.23	39.14	47.14	54.97	63.07	70.94	78.67
60	0.727	5.03	23.91	31.87	39.45	47.25	55.09	63.26	71.23	78.79
80	0.727	5.27	23.56	32.05	39.78	47.37	55.18	63.38	71.32	78.88
100	0.726	5.35	23.73	32.38	39.93	47.49	55.36	63.49	71.45	78.97
120	0.727	5.44	23.96	32.69	40.05	47.67	55.47	63.69	71.78	79.17

根据式 (7), 传感器测量绕组的输出感应电压与激磁电流强度、激磁频率以及绕组匝数成正比,即在相同载荷下,增大上述几项参数可以提高传感器输出灵敏度。

根据铁磁学原理,一般晶体软磁材料,当磁化频率提高时,材料磁导率会下降,但对大多数非晶态合金,即使磁化频率高达几百 kHz 时,甚至更高,其磁导率仍然很高^[9]。

激磁频率的选取还涉及到 MPA 传感器的动态特性。MPA 传感器的动态特性直接关系到电控单元 (ECU) 中抗混叠滤波器的设计和信号采样速率的确定,为了瞬态空燃比的精确控制,要求具有有限响应时间的 MAP 传感器必须能及时准确地复现发动机的泵气脉动。为了复现进气脉动,MAP 需满足 f_b 、 $4f_c$ ^[7-8], 其中 f_b 为 MAP 的带宽频率,取决于传感器膜片的固有频率 f_0 , 而 f_c 为发动机的脉动基频,取决于发动机的转速。显然传感器的激磁频率最终要根据发动机的转速选取。缩系数 s_s 所表征的特性。对于非晶态合金材料,当环境温度低于该材料的居里温度 T_c 时, s_s 值近似为常数。

5 结束语

通过上述理论与试验分析,可以认为利用 Fe 基非晶态合金检测汽车电喷发动机的进气压力是可行的,与厚膜压阻式 MAP 传感器相比,其主要优点是:

(1) 温度零点漂移低,其值为 0.936% F/S,若采取适当的补偿,将能获得更好的温度稳定性;

(2) 结构简单,制造成本低,工作可靠;

(3) 由于非晶态合金膜片厚度可以做到比目前压阻式 MPA 传感器膜片厚度小 10 倍,所以其检测灵敏度高。

尚待研究的问题是传感器的动态性能,磁屏蔽以及一定范围的温度补偿等问题。

参考文献:

[1] 秦永和,李伟,程本同,等. 汽车传感器的现状与发展趋势. 传感器技术, 2003, 22(12): 5- 8.
 [2] 杨晓林. 与汽车发动机电喷系统配套的压力传感器设计. 汽车电子, 2006, 22(7): 264- 266
 [3] 石来德,袁礼平. 机械参数电测技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1981
 [4] 郭振芹. 非电量电测量. 北京: 计量出版社, 1984
 [5] 石延平. 压磁式测力传感器. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005
 [6] 赵英俊. 非晶态合金传感器原理与应用技术的研究. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994.
 [7] 陈利明,方会咏,杨君. 发动机 MAP 传感器动态特性相关问题的探讨. 汽车科技, 2007, (4): 24- 27
 [8] HARRISON M F, STANEV P. Measuring Wave Dynamics in IC Engine Intake Systems. Journal of Sound and Vibration, 2004 269 389- 408
 作者简介: 石延平 (1958-), 教授, 博士, 硕士生导师。主要研究领域为机电一体化、测控技术等方面的教学与科研。
 E-mail shiyp58@ yahoo com. cn