

文章编号:1005-4642(2024)08-0048-05

自动调光窗系统的设计与制作

孙炳盛

(西安交通大学苏州附属中学, 江苏 苏州 215100)

摘要:以理论联系实际和深度应用高中物理知识为目的,运用高中物理教材中的传感器知识,使用偏振片、光敏电阻、电压比较电路设计并制作了自动调光窗系统,该实验可以帮助学生进一步掌握传感器的应用原理以及自动控制系统中的闭环控制原理。

关键词:传感器;光敏电阻;偏振片;自动调光

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2024.08.008

科学与技术密不可分,科学的发展促进技术的进步和应用。高中物理选择性必修二第五章的传感器教学内容,是电磁学理论具体应用的实例,该节介绍了传感器的概念、基本原理以及简单应用,并且设置了简单的小实验,让学生在动手实践中强化对传感器应用的认识^[1]。然而教材中的实验存在以下不足:

1) 缺少模块化的设计,信息采集与动作执行界限不明显;

2) 缺少逻辑判断,不符合数字化设计思想;

3) 没有反馈设计,自动控制的环节不完整。

为解决以上不足,本文基于自动控制系统的思想制作了自动调光窗系统,对教材中的传感器应用实例进行了整合,可以作为传感器应用案例教学的拓展。

1 自动调光窗系统的设计

自动调光窗系统结构如图 1 所示,系统的基本结构包括 1 对偏振片、光传感器、控制电路以及驱动机构 4 部分。正对放置的偏振片 M 和 N 作为控制进入室内光线强弱的部件,光传感器将探测到的光照强度信息反馈给控制电路,由驱动机构调节两偏振片偏振方向的夹角。根据马吕斯定律 $I = I_0 \cos^2 \alpha$ 可知,透过偏振片 N 的光的光强将发生变化,从而实现对进入室内光线的自动控制。控制电路由 3 部分组成:电压比较电路、逻辑运算

电路和电机驱动模块,其中电机驱动模块采用 L298N 驱动板,以下主要设计电压比较电路和逻辑运算电路。

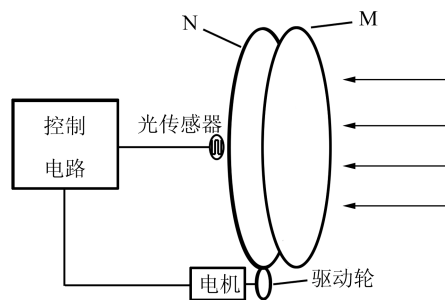


图 1 自动调光窗系统结构

1.1 电压比较电路的设计

系统需要将传感器识别的光线亮度转变成控制电路的电信号,可借助教材中的加速度传感器电路^[2],如图 2 所示。当系统加速度为 0 时两侧弹簧长度相同,滑块和滑片相对静止在变阻器 R 的中间位置;当系统具有向左或向右方向的加速度时,滑块带动滑片会偏离中间位置。设变阻器滑片左、右部分电阻丝的阻值分别为 R_2 和 R_1 ,每组电源电动势大小为 E 且不计内阻,则滑片上电势 φ_P 与两电源之间位置的电势 φ_Q 的关系为

$$\varphi_P = \varphi_Q + E - IR_1, \quad (1)$$

其中,

收稿日期:2024-04-02;修改日期:2024-05-21

基金项目:2021 年江苏省教科研立项课题(No. 2021JY14-XK30)

作者简介:孙炳盛(1980—),男,江苏兴化人,西安交通大学苏州附属中学高级教师,学士,从事中学物理实验教学、中学物理实验教具的开发、中学物理竞赛教学工作。E-mail:642057871@qq.com

$$I = \frac{2E}{R_1 + R_2}. \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)计算可得

$$\varphi_P = \varphi_Q + E \frac{R_2 - R_1}{R_1 + R_2}. \quad (3)$$

可见,当滑片向右偏离变阻器中心位置时, $R_2 > R_1$,则 $\varphi_P > \varphi_Q$;当滑片向左偏离变阻器中心位置时, $R_2 < R_1$,则 $\varphi_P < \varphi_Q$;当滑片位于变阻器中心位置时, $R_2 = R_1$,则 $\varphi_P = \varphi_Q$.

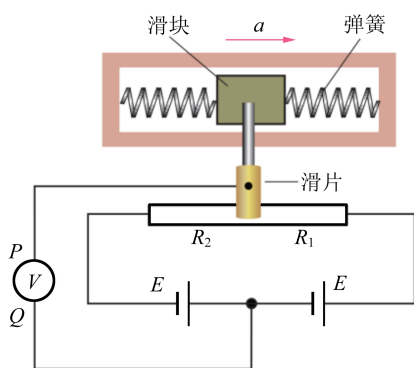


图2 加速度传感器电路

现将图2中电路改造成图3上方虚线框中电路,原滑动变阻器用串联的可变电阻 R_1 和光敏电阻 R_2 替代,光敏电阻的阻值 R_2 受光照影响而发生变化。光照不同, R_2 不同, P 和 Q 端电势的高低关系也不同,从而可以用来控制电动机正反转或停机^[3]。

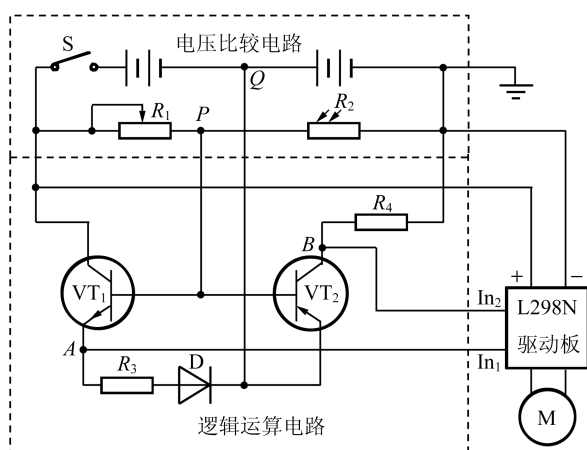


图3 系统电路图

1.2 逻辑运算电路的设计

从 P 和 Q 端输出的电压并不能直接输入直流电动机使其工作,因为 R_1 和 R_2 正常工作时的

阻值较大,电路中电流不足以使电动机转动;从 P 和 Q 端输出的电压也不能直接输送到L298N驱动板的信号端口 In_1 和 In_2 ,因为无论 P 和 Q 端电势高低的关系如何,相对于零电势点(驱动板的电源输入端“—”极)均是高电势,无法使电动机工作。因此,应设计逻辑运算电路,将 P 和 Q 端的3种电势关系转化为“0 1”、“1 0”或“0 0”的3种不同数字信号,输入到驱动板的信号端口 In_1 和 In_2 。

2019 版人教版高中物理教材较 2003 版在传感器章节增加了三极管的教学内容,三极管具有电流放大和开关的作用,采用三极管开关功能可以设计简单的逻辑运算电路^[4]。

图3下方虚线框中的逻辑运算电路由2个三极管 VT_1 (NPN型9013)、 VT_2 (PNP型9012)和2个 $1\text{ k}\Omega$ 的定值电阻 R_3 和 R_4 以及二极管 D 组成。

1) 闭合开关 S ,当 $\varphi_P > \varphi_Q$ 时, VT_1 导通, VT_2 截止, A 点通过三极管 VT_1 与电源正极连接,故电压为“高”输出信号“1”,由于 VT_2 截止, B 点无法与高电势点连通,故电压为“低”输出信号“0”,驱动板获得“1 0”控制信号使得电动机正向转动。

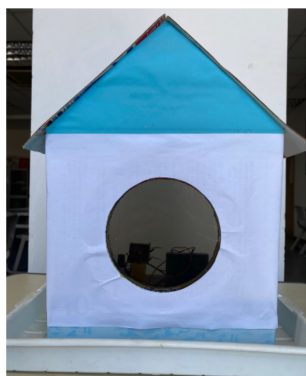
2) 当 $\varphi_P < \varphi_Q$ 时, VT_2 导通, VT_1 截止,此时二极管 D 也处于截止状态, A 点无法与高电势点连通故电压为“低”输出信号“0”,而 B 点通过 VT_2 与 Q 点连接,电压为“高”输出信号“1”,驱动板获得“0 1”控制信号使得电动机反向转动。

3) 当 $\varphi_P = \varphi_Q$ 时, VT_1 和 VT_2 均截止, A 和 B 处电压均为“低”,驱动板获得“0 0”控制信号使电动机停转。二极管 D 的作用是防止三极管 VT_1 截止时, Q 端高电压从 A 端输入到驱动板。

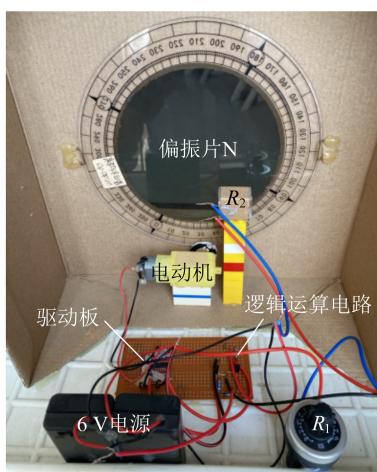
2 自动调光窗系统的制作与调试

2.1 系统的制作

图4为完成制作的系统。用硬纸板制作简易房屋模型,偏振片 M 固定在窗外,偏振片 N 安装在室内并可以自由转动;电动机转盘与偏振片 N 边缘相接,可以驱动偏振片 N 转动;光敏电阻 R_2 装在遮光罩内并使其感光面正对偏振片 N ;将焊接好的电路板和驱动板安装在房屋模型内,按照图3连接好电线。 R_1 是最大电阻为 $2\text{ k}\Omega$ 的电位器,电位器上刻有刻度可读取阻值;电源总电压为 6 V 。



(a) 正面



(b) 背面

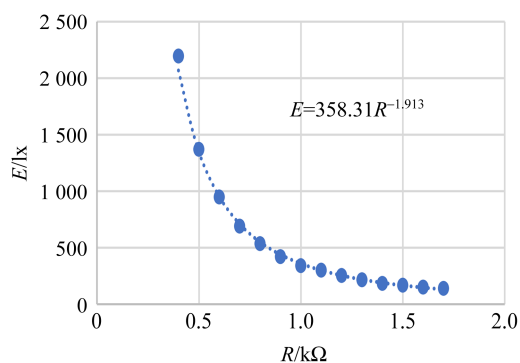
图 4 完成制作的系统

2.2 光敏电阻的特性测试

若要准确设定室内光照强度,需要确定作为传感器的光敏电阻 R 随光照强度 E 的变化关系. 将光敏电阻放在照度计测量头旁边,引脚连接到欧姆表,在黑暗的环境中采用可调光的白炽灯正对照射,调节灯光亮度,测量光敏电阻不同阻值所对应的照度,数据如表 1 所示,图 5 是根据表 1 绘制的关系曲线.

表 1 光敏电阻 R 与照度 E 的实验数据

$R/\text{k}\Omega$	E/lx	$R/\text{k}\Omega$	E/lx
0.40	2 196	1.10	300
0.50	1 370	1.20	253
0.60	948	1.30	215
0.70	690	1.40	183
0.80	535	1.50	167
0.90	420	1.60	150
1.00	340	1.70	139

图 5 照度 E 与光敏电阻 R 的关系曲线

2.3 系统调试

电位器 R_1 的作用是设定室内所需的光照强度,具体做法:当需要光敏电阻附近的光照强度时,例如需要 $E=300 \text{ lx}$,根据表 1 或图 5 可知,此时光敏电阻 $R_2=1.10 \text{ k}\Omega$,所以将 R_1 阻值设定为 $1.10 \text{ k}\Omega$,理论上光敏电阻探测到 $E>300 \text{ lx}$ 时电动机工作带动偏振片 N 旋转,使室内光照强度减弱直到符合设定要求,反之偏振片反向旋转直到光照强度符合要求. 在黑暗的环境中用可调光白炽灯作为光源靠近偏振片 M 向内照射进行测试,在 R_1 阻值设定为 $1.10 \text{ k}\Omega$ 时,偏正片 N 自动旋转一定角度后保持稳定,此时光敏电阻附近的光照强度约为 300 lx . 缓慢调节白炽灯亮度,偏振片均能自动旋转而保持室内亮度基本恒定. 由于三极管需达到一定电压才能导通,即 P 和 Q 端电势的差值需达到一定值时电动机才会工作,实际上系统反应会有迟滞,所以系统调整过程中室内亮度会稳定在较小区间而不是某个点,这也保证了系统良好的稳定性而不会过于灵敏导致亮度来回振荡. 如果要增强或减弱室内的光线,可以减小或增大电位器 R_1 的阻值.

为了便于定量设定,在电位器 R_1 阻值刻度盘外围添加了照度值刻度盘,制作方法:根据图 5 中图像拟合的表达式计算出所需照度值对应的电阻阻值,测得原阻值刻度盘 $0\sim 2 \text{ k}\Omega$ 的圆心角为 264° ,由于电阻刻度均匀,则可方便计算出各阻值与电阻零刻度之间的角度,如 500 lx 对应的阻值 $0.84 \text{ k}\Omega$ 与电阻零刻度之间的夹角为 110.9° ,利用作图软件精确标出各阻值的位置,再标上对应的照度值,调整图像至合适大小,打印出来并适当剪裁后贴在电阻刻度盘外侧,如图 6 所示. 根据

表 1 中数据校验刻度盘上的对应关系,其值基本准确。

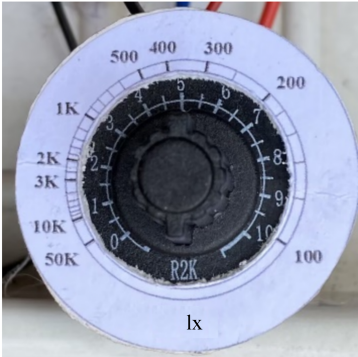


图 6 添加有照度值的电位器阻值刻度盘

2.4 无稳定状态的阻断

当室外光照比较弱,两偏振片透振方向转到平行时透过的光仍达不到设定值,电动机将一直转动无法停止,即系统找不到稳定状态。图 7 显示了利用干簧管处理的方法,将干簧管固定在偏振片 N 的边缘附近,常闭触点开关 1 与 2 接在 A 点与 In_1 端口之间,在可转动偏振片 N 的恰当位置安装小磁铁。当两偏振片透振方向转到平行时,小磁铁恰好靠近干簧管使得常闭触点断开,驱动板 In_1 端口的电压信号被切断使电动机停转。由于 B 点与 In_2 端口的信号传输路径保持畅通,因此当室外光照恢复较强值时,电动机仍可工作使偏振片 N 回转。常开触点开关 1 与 3 还可连接补充照明电路,当触点 1 与 2 断开后,1 与 3 随即闭合,室内照明电路自动开启进行补充照明。补充照明的电路为独立供电电路,不影响原系统的工作。

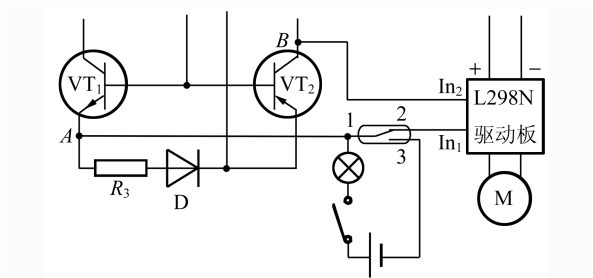


图 7 无稳定状态的阻断电路

3 自动调光窗系统的教学应用

3.1 元件与电路特性的教学

该系统综合应用了传感器教学章节里的光敏电阻、干簧管、三极管以及加速度传感器电路,为这些器件与电路提供了应用场景,可引导学生深入学习各元件的特性,有利于学生整体把握相关知识。结合该系统可进行以下内容的拓展教学:

- 1) 光敏电阻阻值与光照强度关系的定量研究;
- 2) 干簧管通断与磁铁摆放方位关系的研究;
- 3) 三极管的放大功能与开关功能的特性研究;
- 4) 加速度传感器中 P 和 Q 端电势差与滑片移动距离关系的定量研究。

3.2 闭环控制概念的教学

闭环控制是自动控制的重要方法,具有较强抑制干扰的能力,且对元件不敏感,可以选用不太精密的元件构成较为精密的控制系统,获得满意的控制效果,因而闭环控制方法被自动控制广泛采用。将高中物理中传感器知识与闭环控制概念相结合进行教学,更能体现传感器对现代科技应用的重要意义。图 8 所示为自动调光窗系统的闭环控制过程。

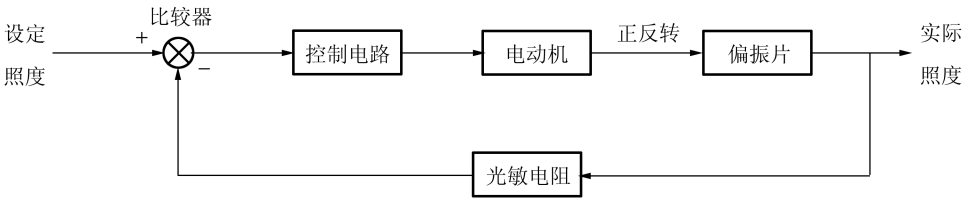


图 8 自动调光窗闭环控制图

采用自动调光窗系统进行教学时还可以让学生思考如下 3 个问题:

1) 若将电动机接线交换使电动机转动方向与正常方向相反,系统会如何反应?

2) 若要提高或降低系统的灵敏度,应如何改进?

3) 若不用偏振片而用其他方法调节亮暗,应如何设计?

结合具体应用案例向学生进行相关知识教学,符合核心素养情境化教学的要求,学生获得知识更加具体、直观,更容易理解知识的内涵。

3.3 作为其他自动控制系统开发的平台

很多自动控制系统外观上差别很大,但其内在设计思想和主要电路功能相同,区别是检测装置与执行装置根据应用场景不同而变化,因此自动调光窗系统的主要电路可以用来开发其他自动控制系统。例如,开发水位自动调节器,将 R_2 用浮标驱动的变阻器(水位传感器)替换,用 R_1 设定需要的水位,电动机的正反转对应进水与排水,从而让水位稳定在需要的高度;或者开发模型汽车定速巡航装置,将 R_2 换成具有电阻功能的速度计(速度传感器),用 R_1 设定需要的速度,电动机的正反转控制汽车油门的增大或减小,从而实现汽车速度稳定在某一需要的值。

引导学生积极思考,以自动调光窗系统为平台可以开发较多其他自动控制装置,培养学生的创造性思维。

4 总结与反思

结合教具进行教学是提升教学效果的有效手段,深度挖掘教材中传感器的教学内容,结合学生现有认知设计并制作的自动调光窗系统,可以让学生对传感器的应用以及自动控制基本思想有更加全面的认识,也可以对教学起到有效的补充和拓展,符合核心素养下情境化教学的要求。具体体现为:

1)自动调光窗系统使用了偏振片、光敏电阻、二极管、三极管、干簧管、定值电阻与可变电阻等中学常见器件,是高中物理电学、光学知识的综合应用,内部结构的可视化便于学生对各器件的观察以及理解其工作原理;

2)用自动调光窗系统作为教具进行教学可以拓展高中物理传感器章节的教学内容,能够增强学生对传感器应用的认识,促进学生对闭环控制思想的深入了解,激发学生学习科学和应用科学的热情,对高中物理教师紧扣教材开发教具也有一定的参考意义;

3)以科技作品的标准衡量该自动调光窗系统,会存在些许不足,例如控制电路不如集成芯片简洁,模型制作粗糙,等等。这些可以在完成基本概念教学后引导学生思考和改进。

参考文献:

- [1] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书教师教学用书·物理(选择性必修第二册)[M]. 北京:人民教育出版社,2019:116-119.
- [2] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书·物理(选择性必修第二册)[M]. 北京:人民教育出版社,2020:103-107.
- [3] 何京妮. 挖掘传感器的教学价值:以加速度传感器为例[J]. 物理教学,2022,44(2):22-23.
- [4] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2017:24-32.

Designing and making automatic dimmer window system

SUN Bingsheng

(Suzhou High School Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Suzhou 215100, China)

Abstract: With the purpose of combining theory with practice and applying high school physics knowledge deeply, this paper focused on designing and making automatic dimmer window system with polarizer, photosensitive resistor and voltage comparison circuit by using sensor knowledge in high school physics textbook, to help students further master the application principle of sensor and closed loop control principle in automatic control system.

Key words: sensor; photosensitive resistor; polarizer; automatic dimmer

[编辑:龙玉梅]