

文章编号:1005-4642(2020)11-0018-04

基于光敏电阻的光开关设计性实验

王 鑫, 杨胡江

(北京邮电大学 理学院, 北京 100876)

摘 要:利用光敏电阻设计了光开关设计性实验, 学生先测量光敏电阻的伏安特性和光照特性, 然后自行设计光控开关, 模拟路灯的自动控制, 实现“天黑自动开启, 天亮自动关闭”的功能. 利用 NE555P 双稳电路和 LM741 运算放大器分别设计电路, 解释了光开关的工作原理.

关键词:光敏电阻; 光开关; 设计性实验

中图分类号: O482.7

文献标识码: A

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.11.003

光敏电阻受光照射后导电能力急剧增加, 光敏电阻器对光的敏感性(即光谱特性)与人眼对可见光的响应很接近, 只要人眼能感受的光, 都会引起它的阻值变化. 光敏电阻具有灵敏度高、光谱特性好、使用寿命长、稳定性高、体积小、坚固耐用等特点, 被广泛用于自动化技术中^[1], 常用来制作光控开关. 其不足之处在于强光照射时线性度较差, 使其应用领域受到了限制. 在了解光敏电阻特性的基础上, 设计光开关电路, 实现自动控制路灯(用 LED 代替)的功能. 在外界环境光强足够亮时, LED 灯灭; 外界环境光弱到一定值时, LED 灯亮.

1 实验原理

光敏电阻器的阻值随入射光(可见光)光照度变化. 光照下物体的电导率改变的现象称为内光电效应, 光敏电阻是基于内光电效应的光电元件, 实物图如图 1 所示.

当内光电效应发生时, 光电流 I_{ph} 为^[2]

$$I_{ph} = \frac{A}{d} \Delta\sigma U, \quad (1)$$

其中, A 为与电流垂直的截面积, d 为电极间的距离, $\Delta\sigma$ 为材料电导率的改变量, U 为光敏电阻两端所加的电压. 由式(1)可知, 在光照强度一定的情况下, 光敏电阻的电流与两端所加电压成线性关系, 其斜率可以反映在该光照条件下光敏电阻的阻值状态.



图 1 光敏电阻

1.1 光敏电阻的伏安特性

以点光源作为辐射光源, 通过改变光敏电阻到光源的距离 L 来改变入射光强. 入射到光敏电阻上的光照度与光敏电阻受光面到光源距离 L 的平方成反比, 不同光照条件下光敏电阻的伏安特性^[3]曲线如图 2 所示, $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$. 光照度越强, 伏安特性的斜率越大, 电阻阻值越小.

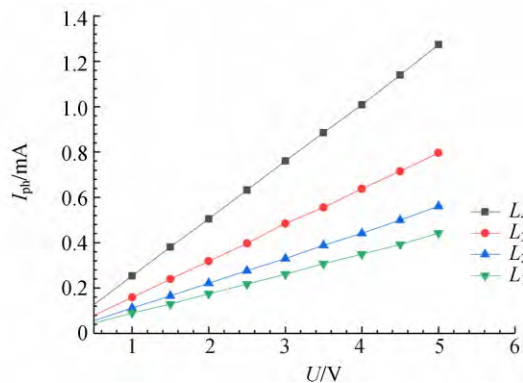


图 2 光敏电阻的伏安特性

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 北京邮电大学 2017 年教育教学研究与改革项目 (No. 2017JY43)

作者简介: 王 鑫 (1976—), 女, 吉林榆树人, 北京邮电大学理学院工程师, 硕士, 主要从事物理实验教学与管理工 作. E-mail: xinwang1215@bupt.edu.cn



1.2 光敏电阻的光照特性

光敏电阻上光电流随光照度的变化曲线如图 3 所示(图中用 L^{-2} 表示光照度),不同曲线显示的是光敏电阻在不同外加电压($U_1 > U_2 > U_3 > U_4$)下的光照特性.从图中可以看出,在外加电压一定时,光电流随光照度的增加而增加,但两者不是线性变化.

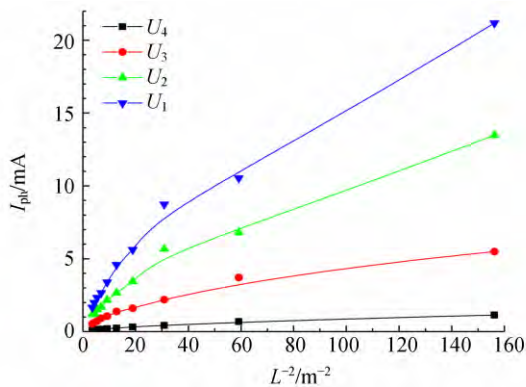


图 3 光敏电阻的光照特性曲线

光敏电阻的阻值随光照度的连续变化关系如图 4 所示.在不同的光照情况下,光敏电阻的阻值不同.由图 4 可以看出,其光照特性曲线线性度较差.

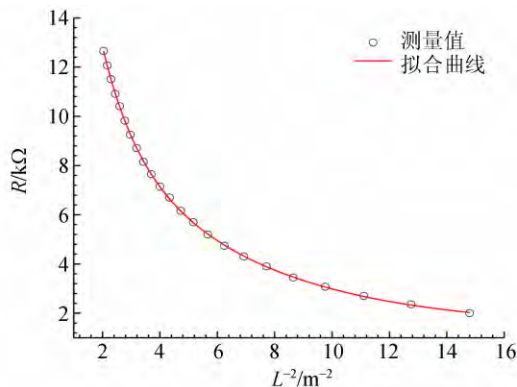


图 4 光敏电阻 $R-L^{-2}$ 曲线

2 实验仪器及器件

实验装置如图 5 所示,包含直流稳压电源、数字万用表、毫安表、白光源、电阻箱、滑线变阻器等.实验器件有光敏电阻(图 1)、普通电阻、 $0.1 \mu F$ 电容、发光二极管、NE555 时基集成电路、LM741 运算放大器.

为了消除室内杂散光的影响,设计制作了光敏电阻遮光罩,如图 6 所示,它可以有效地滤除周围环境杂散光的影响.

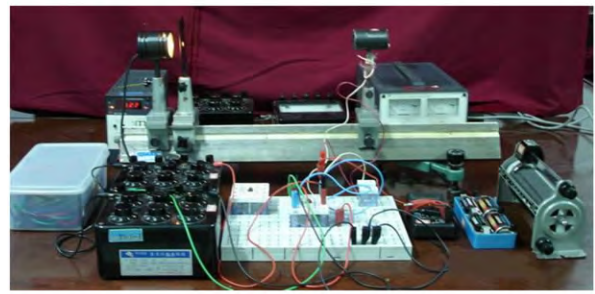


图 5 实验装置图

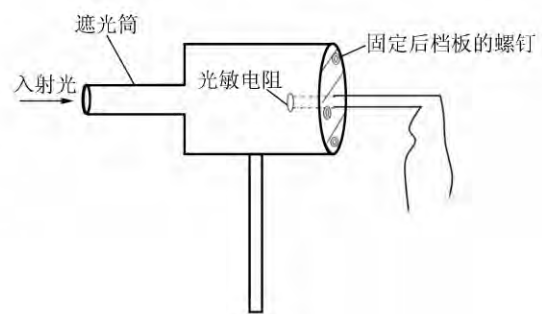


图 6 光敏电阻遮光罩示意图

3 实验设计

列举 2 种实验电路,都可以实现光开关的功能.

3.1 利用 NE555P 双稳态电路设计光控开关

实验用 NE555P 设计的光控电路如图 7 所示, R_{op} 为光敏电阻, R_1 和 R_2 是电阻箱, R_p 是 LED 的限流保护电阻. NE555P 的输出电压 U_o . 只有 2 种状态:高电平或低电平,高电平电压大小由电源电压 V_{cc} 决定. 其输出状态由其管脚电压 U_2 和 U_6 共同决定,功能表如表 1 所示^[4].

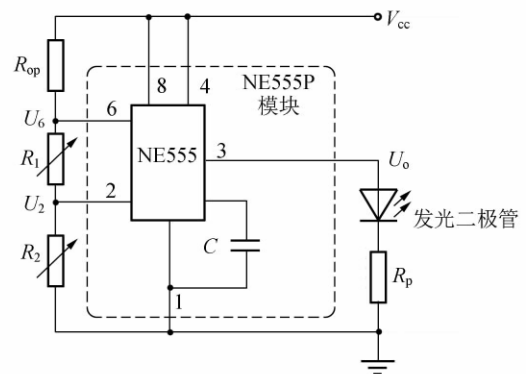


图 7 利用 NE555P 设计的光敏电阻光开关电路图

表 1 NE555P 功能表(电压 1 代表 V_{cc})

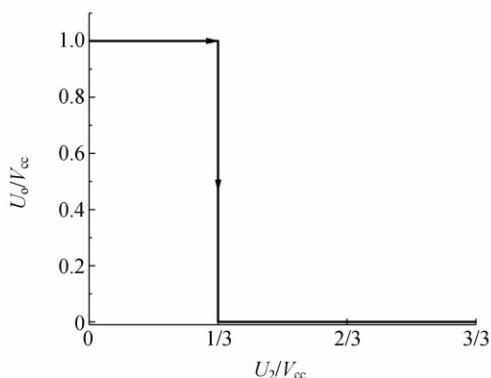
U_4	U_2	U_6	U_o
1	$<1/3$	任意	1
1	$>1/3$	$<2/3$	保持
1	$>1/3$	$>2/3$	0
0	任意	任意	0

由图 7 和表 1 可知,

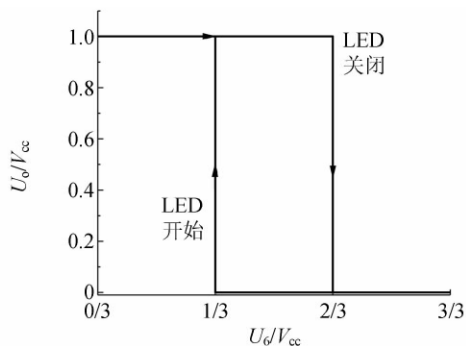
$$\frac{V_{cc}}{R_{op} + R_1 + R_2} = \frac{U_6}{R_1 + R_2} = \frac{U_2}{R_2}. \quad (2)$$

改变光照度,就能改变 R_{op} 的阻值,从而改变 U_2 和 U_6 的电压,实现对电路的控制.

当 $R_1 \geq R_2$ 时, $U_6 \geq 2U_2$, 输出电压完全由 U_2 决定, 电路输出特性如图 8 所示.

图 8 $R_1 \geq R_2$ 时 NE555P 的工作原理

当 $R_1 = 0$ 时, $U_2 = U_6$. 此时, 若 $R_{op} > 2R_2$, 则电路输出高电平. $R_{op} < R_2/2$, 电路输出低电平. $R_2/2 < R_{op} < 2R_2$, 输出电平保持原值不变, 其输出特性如图 9 所示.

图 9 $R_1 = 0$ 时 NE555P 的工作原理

当 $0 < R_1 < R_2$ 时, 电路的输出特性介于前面 2 种情况之间. 由(2)式和表 1 可得, 任何参量下, 电路必须在光足够强时输出低电平, 光足够弱时输出高电平. 可以看出, LED 由亮到暗和由暗到

亮的转变阈值不同, 这是为了避免光照度刚好在阈值附近时, 电路若稍有波动, LED 就可能会频繁的开关, 易损坏. 其开关条件为

$$\begin{cases} \frac{R_1 + R_2}{R_{op\text{光强}} + R_1 + R_2} = \frac{2}{3}, \\ \frac{R_2}{R_{op\text{光弱}} + R_1 + R_2} = \frac{1}{3}. \end{cases} \quad (3)$$

由此可以推出

$$\begin{cases} R_1 = \frac{4}{3}R_{op\text{光强}} - \frac{1}{3}R_{op\text{光弱}}, \\ R_2 = \frac{2}{3}R_{op\text{光强}} + \frac{1}{3}R_{op\text{光弱}}, \end{cases} \quad (4)$$

实验时, 分别测量 $R_{op\text{光强}}$ 和 $R_{op\text{光弱}}$, 即可计算出对应的 R_1 和 R_2 , 电路就能自动实现在某光照度下指示灯的亮或灭.

3.2 利用 LM741 设计光开关电路

只有 1 个门限电压的比较器称为单限比较器, 如图 10 所示, 运算放大器 LM741 起到单限比较器的作用^[5]. 即将一输入信号 U_i (反相端) 与一参考电压 U_r (同相端) 进行比较, 参考电压又称门限电压, 当 $U_i > U_r$ 时, $U_o = U_{ol}$ (输出为低电平), 当 $U_i < U_r$ 时, $U_o = U_{oh}$ (输出为高电平). 规定输出高电平为“1”, 低电平为“0”. 比较器的输入是模拟量, 输出是数字量, 构成了模拟电压和数字量转换的桥梁. 利用比较器的输入-输出特性, 可以设计出开关电路.

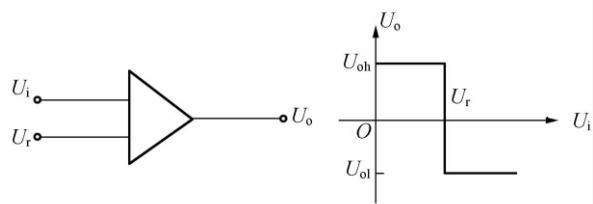


图 10 单限比较器的电路和传输特性

利用 LM741 设计的光敏电阻开关电路如图 11 所示, 主要由运算放大器和非平衡电桥电路构成^[6]. 电路中 R_2, R_3, R_4 是电阻箱. 由光敏电阻的光照特性曲线可以知道不同光照条件下对应的光敏电阻 R_{op} 的阻值, 根据其值设置非平衡电桥电路中的 R_2, R_3, R_4 的阻值. 由图 11 可以得到开关条件为

$$R_2 = R_3, R_{op} = R_4.$$

或

$$R_{op} = R_2, R_3 = R_4.$$

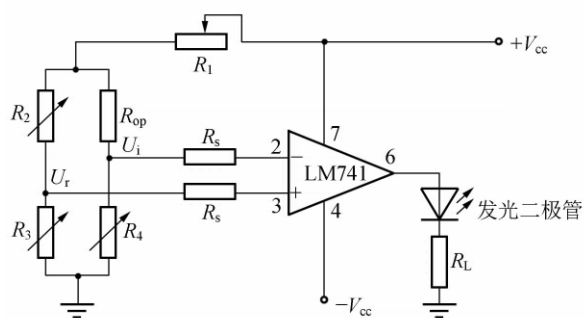


图 11 用 LM741 设计的光敏电阻开关电路

实验时,可以设置 $R_2 = R_3$ 或 $R_3 = R_4$. 在入射光光强比较弱时,光敏电阻 R_{op} 的阻值变得比较大,使得 $U_i < U_r$,那么 $U_o = U_{oh}$,此时发光二极管亮. 同理,当照射到光敏电阻的光较强时, R_{op} 变小,使得 $U_i > U_r$,那么 $U_o = U_{ol}$,此时发光二极管灭. 由上述分析可知,实验时根据环境光强开关灯的实际需要,合理设置电阻箱 R_2, R_3, R_4 的阻值,就能按照实际需要控制发光二极管的亮或灭,实现光开关的功能.

电源工作电压 V_{cc} 越大,电桥的灵敏度越高,根据 LM741 的工作参量选择合适的电压值. 设计电路中作为开关指示的 LED 半导体发光二极管,颜色不同对应的工作电压也不同. 红、绿、黄色的为 $1.8 \sim 2.5$ V,蓝色的约 4 V,白色的 5 V. 电路中 R_1 可以调节平衡电桥的工作电压. 把电阻 R_L 与发光二极管串联,可以起到限流保护作用,实验中取值为几 $k\Omega$. R_s 是输入保护电阻,阻

值的选取有一定的范围,实验中采用的阻值是十几 $k\Omega$.

4 结束语

采用 2 种方法设计的光开关电路,在实验现象方面有些差别,用芯片 NE555P 设计的开关电路在实际操作中控制灯的亮、灭位置不同,有延迟. 而利用 LM741 设计的光开关电路指示灯亮、灭基本在同一位置. 通过该实验,巩固和加深了对基础实验中平衡电桥原理的理解和掌握. 实验有利于学生深入了解光敏电阻的特性,通过练习使用芯片,合理运用实验结论设计光开关,将物理实验与实际应用紧密地结合在一起;开阔了学生们的设计思路,提升了本科生的动手能力、独立思考能力和实验创新能力.

参考文献:

- [1] 郭培源,付扬. 光电检测技术与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006:22-28.
- [2] 周红,杨卫群,沈学浩,等. 光敏电阻基本特性测量实验的设计[J]. 物理实验,2003,23(11):9-11.
- [3] 赵广林. 常用电子元器件识别/检测/选用一读通[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2012:32-35.
- [4] 张桂红. 实用新型电子元器件[M]. 福州:福建科学技术出版社,2005:362-368.
- [5] 赵培功,李雷. 集成电路应用[M]. 成都:电子科技大学出版社,1997:66-67.
- [6] 高茜. 用电桥研究光敏电阻的光电特性[J]. 物理实验,2004,24(9):13-15.

Designing experiment of optical switch based on photoresistor

WANG Xin, YANG Hu-jiang

(School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A designing experiment of optical switch with photoresistors was introduced. In the experiment, students measured the physical characteristics of photoresistors first, then they designed at least one circuit that could realize the function of “automatic on in the dark and automatic off during the day” to simulate the automatic control of street lamp. This experiment had been applied in our course for many years, and its teaching effect was incredibly good. Making use of NE555P bistable circuit and LM741 operational amplifier, the circuits were designed respectively, and the working principle of optical switch was explained.

Key words: photoresistor; optical switch; designing experiment

[责任编辑:郭 伟]