

文章编号: 1001-3806(2013)06-0777-04

基于液晶光开关的激光自动检测防护装置

陈佳琪, 李震, 张亚萍*

(中国石油大学(华东) 理学院, 青岛 266580)

摘要: 为了实现对任意波长激光的自动检测与防护, 根据光敏三极管、电磁继电器以及液晶电光效应实验原理, 设计了一套激光自动检测和防护装置, 并进行了理论分析和实验验证。光敏三极管在受到激光辐射时形成光电流, 通过放大电路和电磁继电器开关输出 5V 电压, 并使其在较短时间内激活液晶电压开关, 使液晶屏在受到激光照射时, 对激光基本不透明; 而当激光脉冲照射结束时又回到透明状态。结果表明, 这种激光防护眼镜的设计方案, 可在常态时允许普通和不太强的自然光透过, 而在激光照射时阻挡激光透过。

关键词: 激光技术; 液晶电光效应; 光开关; 激光防护

中图分类号: TN247 文献标识码: A doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.06.016

Automatic laser detection and protection device based on LCD light switch

CHEN Jia-qi, LI Zhen, ZHANG Ya-ping

(College of Science, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: A set of automatic detection and protection device of the laser was designed in order to realize the automatic detection and protection against arbitrary wavelength laser according to the principle of phototriode, electromagnetic relay and liquid crystal electro-optic effect experiments. Based on the theoretical analysis and experimental verification, phototriode photocurrent was formed when exposed to the laser radiation. The amplification circuit and an electromagnetic relay switch were used to control the output voltage of 5V and close liquid crystal voltage switch in a short time. When subjected to laser irradiation, the liquid crystal screen was substantially opaque, and returned to the transparent state at the end of the laser pulse. The results showed a design of laser protective glasses, blocking the laser irradiation and allowing ordinary bright light through at ordinary time.

Key words: laser technique; liquid crystal electro-optic effect; optical switch; laser protection

引言

自从 1960 年激光问世以来, 激光在医学、科研、工业生产及军事等领域的应用得到了迅速发展。随着激光日益普遍的应用, 激光防护也越来越受人们重视。但是暴露在激光面前会导致人眼和皮肤损伤, 一般来讲, 人眼比皮肤更脆弱, 严重暴露在激光下可能会造成角膜和视网膜的伤害^[1-2]。有文献指

出^[3], 除了要大力发展吸收型、反射型等激光防护材料以外, 利用快速开关技术则是激光防护技术的另外一个重要的发展方向。利用快速开关能够对付任何波长的高功率激光, 据此, 本文中设计了一套利用光电传感技术构成光电液晶开关的激光防护装置的实验方案。

1 实验原理

1.1 液晶开关特性

液晶光开关由两个相互正交的偏振片 P_1 和 P_2 两个电极以及中间的液晶分子构成。液晶分子具有光波导效应, 在没有外加电场时处于扭曲排列的状态, 如图 1 中左图所示, 此时沿 P_1 偏振方向入射的自然光到达下电极时偏振面旋转了 90° , 与 P_2 偏振方向平行, 故有出射光。在施加足够电压的情

基金项目: 中国石油大学(华东) 教学研究与改革基金资助项目(2012, NO. 49); 大学生创新创业训练计划资助项目(20121168; 201210425066)

作者简介: 陈佳琪(1991-), 女, 大学本科生, 专业为应用物理学。

* 通讯联系人。E-mail: zhangyp@upc.edu.cn

收稿日期: 2013-02-25; 收到修改稿日期: 2013-04-22

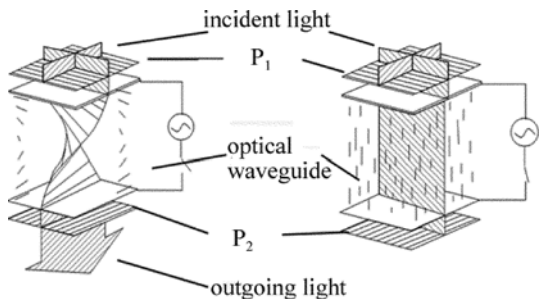


Fig. 1 The working principle of liquid crystal optical switch, P₁—optical polarizer 1; P₂—optical polarizer 2

况下,液晶分子波导被电场拉伸,如图 1 中右图所示,沿 P₁ 偏振方向的入射光到达下电极时不再偏转,并与 P₂ 偏振方向正交,因而光被关断^[4]。故上述液晶光开关在没有电场的情况下能让光透过,符合激光防护常态下透光的要求。

1.2 光敏三极管

光敏三极管是一种光电转换器件,其基本原理是光照到 P-N 结上时,吸收光能并转变为电能。光敏三极管和普通三极管的结构相似,不同之处是光敏三极管的基区是接收光区,所以基区面积做得比普通三极管要大,而发射极面积却小得多^[5]。当光敏三极管加上反向电压时,管子中的反向电流随着光照强度的改变而改变,光照强度越大,反向电流越大,大多数都工作在这种状态。

光敏三极管可以视为光照驱动的软开关,开断电路的输出量。以光敏三极管作为光开关电路的驱动核心,灵敏性较好、使用方便。多数情况下,在驱动电路中三极管工作于饱和与截止的开关状态,作为信号源控制主电路开断。

1.3 电磁继电器——电压控制开关

继电器线圈在电路中用一个长方框符号表示,在长方框内或长方框旁标注继电器的文字符号“J”。继电器的触点有 3 种基本形式:(1)动合型(H 型);(2)动断型(D 型);(3)转换型(Z 型)。本实验中采用的是 H 型,即线圈不通电时两触点是断开的,通电后两个触点就闭合,在检测到光电流时,开关闭合输出 5V 电压,使液晶开关关断不透光。

1.4 液晶光开关激光防护性能——光密度

光密度^[6] $D(\tau)$ 表征材料遮光能力的大小,其值定义为入射光强度与透射光强度之比值的对数值:

$$D(\tau) = \lg\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad (1)$$

式中, τ 代表材料透射率。

2 检测与防护装置的硬件设计

本防护控制装置由三部分构成(如图 2 所示)。

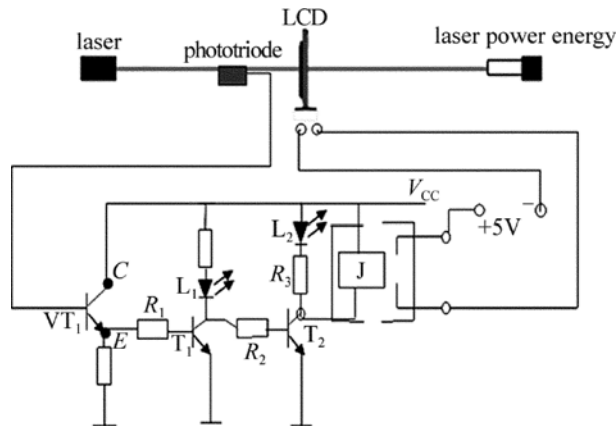


Fig. 2 Automatic laser detection and prevention device ($U_{C,E}$ —voltage between point C and E)

(1) 主光路:光学导轨上依次按“激光发射器-液晶屏(liquid crystal display, LCD)-激光功率能量计”放置,构成了“激光源-防护眼镜-眼睛角膜”模拟装置。打开半导体激光器,调节各元件高度,使激光垂直透过液晶屏射入激光功率能量计的通光孔中。

(2) 激光检测:本部分由光敏三极管 VT₁、三极管 T₁ 和 T₂、指示电路是否正常工作的发光二极管 L₁ 和 L₂ 以及电路电源 V_{CC} 构成,作用是检测激光并控制继电器电压,驱动液晶光开关。当 VT₁ 检测到激光时,随着其集电极-基极电压差值 $U_{C,E}$ 增加,VT₁ 产生光电流 I_E ,直至 VT₁ 饱和导通后,T₁ 集电极电位升高,触通 T₂;指示灯 L₁, L₂ 发光;T₁, T₂ 相互配合构成的光开关闭合,使得 H 型电磁继电器闭合,+5V 主机箱电源接通向液晶屏供电。激光消失后,光敏三极管失去触发而截止;L₁, L₂ 熄灭;继电器恢复断开状态,主电路断开,主机箱电源停止向液晶屏供电,光开关断开。

(3) 液晶光开关:由主机箱电源、H 型继电器和液晶屏构成。当继电器将主机箱电源连接到液晶电压控制端口,液晶光开关变成关断状态,阻止激光通过。当继电器驱动电压消失后,由于继电器内线圈存在剩磁,继电器开关会延时断开;液晶电压控制端口变为低电平,液晶开关继续开通,允许光通过。

3 实验装置测量与性能分析

3.1 液晶光开关电光特性测量

将液晶屏插入插槽,使激光束透过液晶屏垂直入射到激光功率能量计。在液晶屏静态 0V 供电电

压条件下,将透射率显示校准为 100%,改变液晶两端电压,使得电压值在 0V~6V 间变化,记录相应电压下透射率并绘制电光特性曲线,如图 3 所示。由图 3 可得阈值电压(90%)为 1.15V,关断电压(10%)为 1.85V。为此,设计电磁继电器输出关断电压为 5V,此电压远大于液晶屏关断电压 1.85V。

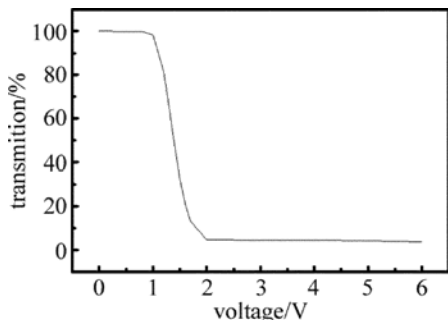


Fig. 3 Electro-optic characteristic curve of LCD screen

3.2 液晶屏透射率及光密度

取下液晶屏,调节激光束垂直射入光功率能量计,将透射率校准为 100%;再插入液晶屏,不供电情况下测得激光透射率为 57%,即液晶开关自然状态下的透射率。根据(1)式,计算可得光密度为 0.244。由于本实验中使用液晶屏透射率较低,在常态时能允许普通和不太强的光透过;但市场上已经有透射率在 90% 以上的液晶薄膜,运用于本装置可使常态透光效果大大改善。

3.3 不同激光强度光开关响应状态

如图 2 所示的连接装置,改变入射光强可测得不同光照强度下光敏三极管集电极电流 I_C 的变化曲线,如图 4 所示。可见在相同光照 E_C 情况下,随着 $U_{C,E}$ 增加,产生集电极反向光电流 I_C 增大。在 $U_{C,E}$ 相同的情况下, I_C 随着光强变化呈现非线性增加,主要体现在弱光时电流灵敏度低些,强光时则有饱和现象。因此,在 $U_{C,E}$ 较小时,对弱信号的检测不利。故本实验装置提供 V_{CC} 的电压值为 12V,以保证装置对弱光的相对灵敏。

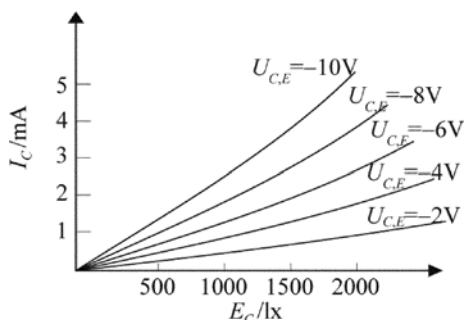


Fig. 4 Lighting characteristic curve of photodiode

在本实验的给定电压下,调节激光光强,测得装置响应状态如表 1 所示。由于光照强度大于 500lx 时, I_C 可达到 1mA,经过第 1 级放大后, T_2 管的基极电压可达到 3V 以上,可以使 T_2 管饱和导通,使光开关闭合。故本实验最小光强触发值为 500lx,实际可根据所需的最小光强触发值,选择不同 VT_1, T_1 和 T_2 管参量以及 V_{CC} 电压值。

Table 1 State response under different E_C

E_C /lx	switch state	E_C /lx	switch state
200	no action	1200	action
400	no action	1400	action
600	action	1600	action
800	action	1800	action
1000	action	2000	action

3.4 激光照射防护装置响应时间

实验时,将激光发射端接入示波器 CH_1 通道,将激光功率能量计输出端接入示波器 CH_2 通道,显示液晶在此套装置下对激光照射后关断的时间响应曲线如图 4 所示,测得装置响应时间 $t_1 = 50.45ms$ 。

由于装置光开关的关断时间一方面与电路开关等响应时间有关,另一方面与液晶对外电场的响应时间有关(如图 5 所示)。灵敏性和精度要求较高的场合可以考虑用快速电力电子器件,如金属-氧化物-半导体-场效晶体管(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT)等,电路响应时间在几微秒以内;目前市面上也有通过液晶结构方面的技术改进,使关断时间大大缩短的液晶材料,故可以使整个保护装置的反应时间在几十微秒之间^[7]。

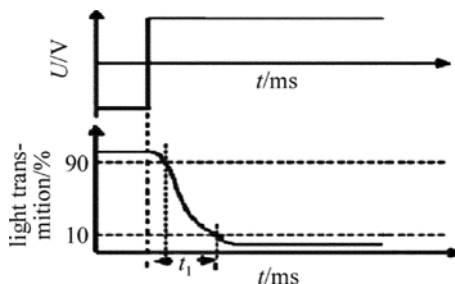


Fig. 5 Stimulated response time curve of the device

4 结论

设计了一套激光自动检测与防护装置,将光敏三极管和继电器结合,形成光开关。在检测到激光束照射后,光敏三极管产生光电流,通过两个三极管

放大,驱动继电器输出 5V 电压,使液晶光开关变成关断状态,阻止激光的通过。当激光结束,由于继电器内线圈剩磁的作用,继电器开关会延时断开,液晶电压控制端口变为低电平,液晶开关继续开通。

控制电路使液晶屏在受到激光脉冲照射时,对激光基本不透明,而当激光脉冲结束时,又回到透明状态。提供了一种激光防护眼镜的设计方案,该装置可在激光照射时阻挡激光,在常态时允许普通和不太强的光透过。如若基于透光度更高,反应更加灵敏的电子器件和液晶材料,则可具有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] FU Y F, HOU Q Z. Laser performance and occupational hazard [J]. *Industrial Safety and Dust Control*, 1998(1): 18-20 (in Chinese).
- [2] FENG S Y, ZHANG Y Y, LI B, *et al.* The harm of laser to eyes and the importance of laser protection [J]. *Laser Journal*, 1999, 20(2): 8-15 (in Chinese).
- [3] ZHANG Q T, XU Zh Z, FU Zh X, *et al.* Study and application of laser protective materials [J]. *Nanjing University of Chemical Technology*, 2001, 23(3): 82-86 (in Chinese).
- [4] LI Sh G, ZHANG Y P, ZHU H F. Physics experiment of college [M]. Beijing: Science Press, 2012: 266-273 (in Chinese).
- [5] LU R L. Phototriode [J]. *Applications of IC*, 1988, 8(3): 31-33 (in Chinese).
- [6] LUO Zh K, LIU H F, SUN R, *et al.* Research of the automatic verification device and testing technology for laser protective spectacles [J]. *Chinese Medical Equipment*, 2009, 30(7): 17-20 (in Chinese).
- [7] CHEN B R, YU B, ZHU X B. Dependence of response speed on structure parameters of phototransistors [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2000, 21(1): 59-65 (in Chinese).