

文章编号: 1001-3806(2016)04-0592-04

## 一种基于 STM32 的可编程激光能量衰减器

牛燕敏, 苏俊宏\*

(西安工业大学 光电工程学院, 西安 710032)

**摘要:** 为了实现激光能量的衰减, 采用3组衰减盘级联的方法, 实现了激光能量的宽范围衰减。衰减系统由 STM32 定时器产生的脉冲驱动步进电机, 并用霍尔传感器位置定位实现对衰减盘的精确旋转。分析了设计方案中光机部件、电机驱动、旋转控制等机构。结果表明, 衰减范围为 0% ~ 97.51%, 验证了系统的可靠性和重复性。这一结果对高功率激光器衰减的研究有一定的帮助。

**关键词:** 激光技术; 衰减器; 中性密度滤光片; 脉宽调制

**中图分类号:** TH744.5      **文献标志码:** A      **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.04.028

## A programmable laser energy attenuator based on STM32

NIU Yanmin, SU Junhong

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** In order to realize the laser energy attenuation, a cascade three-set disc attenuator was proposed to achieve wide range of attenuation of laser energy. In the attenuation system, exact rotation of attenuation plates was achieved with the stepper motor driven by the pulse generated by the STM32 timer and with the position decided by the Hall sensor. The opto-mechanical parts, motor driver and rotation control mechanism were analyzed. The experimental results show that attenuation range is 0% ~ 97.51%. Reliability and repeatability of the system are verified. The results are helpful for high power laser attenuation.

**Key words:** laser technique; attenuator; neutral density filter; pulse width modulation

### 引言

可编程激光能量衰减器是高功率激光系统中必不可少的测试仪器之一, 因高功率激光器输出功率较大, 无法直接作用在实验对象上, 因此, 一套合适的衰减系统就十分必要<sup>[1]</sup>。随着科学技术的不断发展, 测试系统对衰减器的要求也越来越高。目前, 我国虽然有可编程的激光能量衰减器, 但是其性能与国外相比较还存在很大的差别<sup>[2-5]</sup>。作者在现有的基础之上, 设计出了一台智能型可编程激光能量衰减器。

### 1 衰减器工作原理

衰减器是由3组衰减盘级联组合而成, 每一组衰减盘上装置了不同透过率的中性密度滤光片。当激光穿过3组衰减盘时, 衰减片通过吸收, 使其对 1064nm

激光在一定范围内得到衰减, 通过控制衰减盘的旋转得到不同组合的衰减。根据朗伯定律<sup>[6]</sup>, 光束穿过厚度为  $L$  的物质后, 光强  $I$  满足公式:

$$I = I_0 \lg(-kl) \quad (1)$$

式中,  $I$  为透过介质后的光强;  $I_0$  为入射介质前的光强;  $k$  为吸收系数;  $l$  为衰减片的厚度。由此可知, 不同透过率的衰减片之间进行自由组合就会得到精确而连续的衰减量。衰减器上每一组衰减盘装由5个不同的衰减片, 由排列组合可以得知, 衰减系统可以实现  $5^3 = 125$  种不同的排列组合。其机械机构如图1所示。

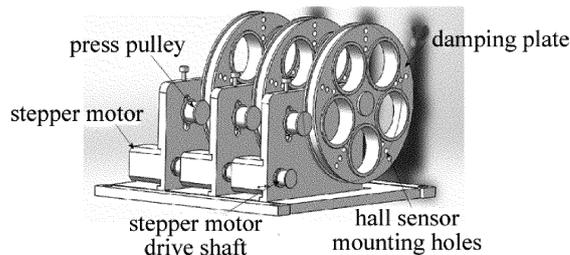


Fig. 1 Simple attenuator structure

衰减器在工作时, 每组衰减盘有各自的步进电机去带动, 从而现在衰减盘之间的级联。实际中衰减器的轮盘和步进电机的传动轴均为齿形设计, 二者通过齿形三角带连接, 其松紧程度可以通过压轮来调节, 从而可以

基金项目: 科技部国际合作资助项目(2013DFR70620); 陕西省科技计划资助项目(2011K09-39); 西安市科技计划资助项目(CXY1441(4))

作者简介: 牛燕敏(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事精密仪器及机械方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: sujhong@126.com

收稿日期: 2015-08-17; 收到修改稿日期: 2015-11-26

有效的防止在运动过程中出现打滑失步的现象。

## 2 设计要求

要实现激光能量的衰减,最简单的办法是通过光学衰减片,将其放置在光路中,使光强衰减。对于激光损伤测试系统而言,衰减片既不能改变激光分布,也不能产生多次反射以造成干扰<sup>[7]</sup>。通常能够实现这两个条件的光学衰减片可由两种方式获得:(1)在光学石英玻璃上沉积薄膜,但是由于衰减器要多次遭受强激光的辐照,采用光学镀膜的方式制备符合要求的薄膜不仅技术难度大,而且使用寿命较为有限<sup>[8]</sup>; (2)选择中性滤光玻璃,由于光通过中性衰减片之后,不同波长的光强均按同一比例衰减,因此不会对通过激光的能量分布造成影响<sup>[9]</sup>。但是,中性滤光片也存在明显的不足,中性滤光片对光的吸收不仅与所选材料有关,也与材料厚度有密切光系。通常中性玻璃的光通量是通过调节其厚度来确定的。由于中性滤光玻璃的脆性很大,要实现其厚度的精确加工显然很有难度。基于成本及其它综合因素考虑,该方案中选择了中性滤光玻璃作为衰减片,通过外联加工不同衰减倍率的衰减片,通过其相互组合匹配获得不同衰减倍率,从而实现激光能量的近线性调整。

依据激光损伤测试方法的要求,无论是对于 1-on-1 和 S-on-1 的激光测试方法,都需要得到不同能量等级的激光能量,这就必须要求辐照到测试样片上的激光能量能有规律地按不同能级进行变化。组合透过率衰减范围设计 0% ~ 100%,误差为 3%,同时,3 组衰减盘在级联时,激光应该能够准直入射 3 组衰减片,从而保证系统的稳定性和可重复性。

## 3 衰减过程的实现

### 3.1 衰减范围设计

3 组衰减盘级联以后,设其组合透过率为  $\tau$ 。因衰减片之间是级联关系,所以其组合透过率满足:

$$\tau_i = k_{1m} \cdot k_{2m} \cdot k_{3m}, (i = 1, \dots, 125) \quad (2)$$

式中,  $k_{1m}, k_{2m}, k_{3m} (m = 1, \dots, 5)$  依次为 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 衰减盘上衰减片透过率。

利用 MATLAB 软件,依据遗传优化算法可以对这 3 组 15 个衰减片的衰减倍率(透过率)进行估算拟合<sup>[10]</sup>,如果从这 125 组合中取出 100 个数据点,使得其对 1064nm 激光的透过率从是 1% ~ 100%、公差为 1% 的等差数列,则可以得到多组优化解。图 2 是其中最佳的一组设计值。由图可知,所设计的 100 个数据点除了在透射率为 75%、82%、86% 和 93% 等个别几个点有较大误差外,而其余各点设计值和理想值符合得很好。

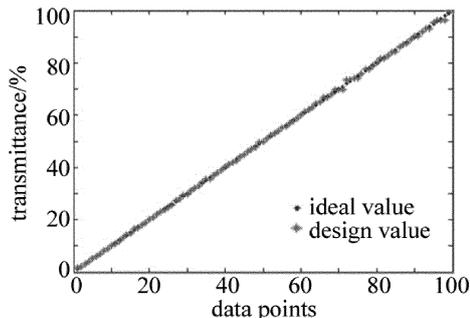


Fig. 2 Curve of 100 combination values and ideal values by using MATLAB software

表 1 是衰减器上实际装置的衰减片透过率,透过率为 1 的表示该位置上未安装衰减片,该系统以 3 组均为放置衰减片的位置作为参考位置(工作前衰减器的默认位置)。

Table 1 Actual transmission rate

attenuation piece 1 <sup>#</sup>	attenuation piece 2 <sup>#</sup>	attenuation piece 3 <sup>#</sup>
1	1	1
0.2040	0.3008	0.4051
0.6150	0.5103	0.6126
0.8120	0.7097	0.7080
0.9269	0.9266	0.8193

### 3.2 衰减盘旋转角度的精确控制

衰减器能否精确地对高功率激光进行衰减,很大程度上取决于衰减盘能否被精确地控制,本文中以 STM32 为主控芯片,通过脉宽调制(pulse width modulation, PWM)方式对衰减盘精确控制<sup>[11-12]</sup>。工作中为实现脉冲个数的精确控制,采用了单脉冲中断方式,从而严格地控制衰减盘的旋转角度。衰减盘旋转控制流程图如图 3 所示。

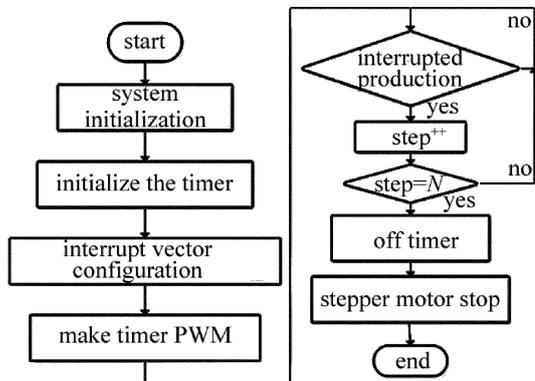


Fig. 3 Flow chart of disc rotation control

### 3.3 衰减盘的位置定位

衰减盘的位置定位是通过霍尔传感器来实现,在衰减盘上定点安装磁钢,霍尔传感器固定不动,随着衰减盘的转动,当磁钢靠近霍尔传感器时,由霍尔效应公式:

$$U_H = h \frac{A \cdot B}{d} \quad (3)$$

式中,  $A$  是导体通过的电流,  $B$  是垂直于导体磁场磁感应强度,  $h$  是霍尔系数,  $d$  表示距离。可知, 霍尔电压  $U_H$  会随着磁场强度  $B$  的增强而增大<sup>[13]</sup>。因此通过霍尔电压的变化, 可以定位衰减盘的位置。

### 3.4 衰减系统的自动化控制

衰减系统的自动化控制主要通过上位机发送相应指令给下位机实现, 上位机的可视化界面通过 Visual Basic 语言对其进行设计, 设计界面如图 4 所示。

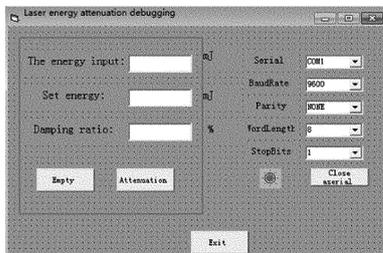


Fig. 4 Debugging interface of attenuation system

在上位机设计界面中主要包含了能量输入(通过能量计接收)、设定能量(衰减能量值)以及衰减百分比 3 个主要窗口。程序系统通过接收到相应的数据之后通过计算得到相应的衰减百分比, 该百分比之后通过图 4 的串口通讯程序将衰减比值发送到下位机<sup>[14-15]</sup>, 下位机接收到数据通过“二分法”算法寻找到最适的衰减组合并对其进行能量衰减。上位机和下位机通过 RS232 串口通讯从而实现衰减系统的自动化控制。

## 4 实验验证

利用 MATLAB 软件对所设计的 100 个数据点进行了误差分析, 其结果如图 5 所示。从图中可以看出, 其最大的设计误差仅为 1.58%。

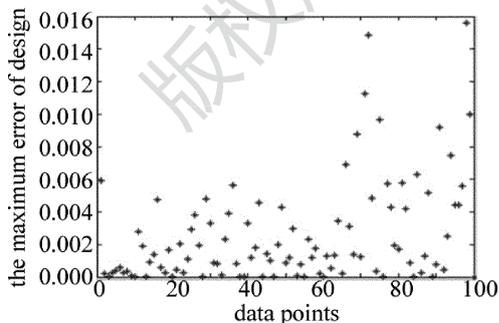


Fig. 5 Design error of 100 combination values and ideal values

图中所给出的可编程控制器的设计值虽然与理想值差异很小, 但是由于现有的中性衰减片玻璃的加工水平, 很难得到符合设计需要的中性衰减玻璃(其加工误差在 3% 左右)。

为了减小误差, 进一步减少数据组合点, 从所有的 125 组数据点中选取 70 种组合。其实际的透过率曲

线如图 6 所示。从图中可以看出, 虽然这 70 组数据在透过率为 1% ~ 100% 范围内可以得到逐点递增的组合, 但是并非完全是线性的, 特别是在 75% ~ 100% 范围, 数据点较为稀疏, 控制精度较差。为了提高对各级激光能量的控制精度, 实验中, 必须尽可能地使可编程衰减器工作在其线性段来测量。

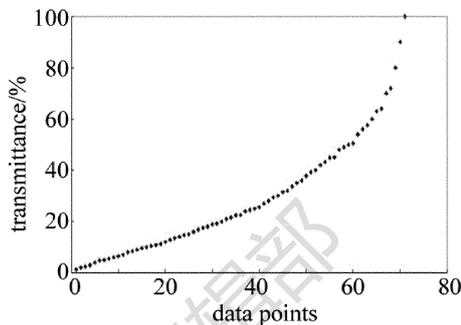


Fig. 6 Actual transmittance curve of 70 combination values

为了验证设计的衰减系统的稳定性以及可重复性, 对衰减系统进行了大量的试验验证, 其中测试数据如表 2 所示。

Table 2 Test data of attenuation system

theory of attenuation percentage/%	the set value/mJ	the actual input/mJ	the actual output/mJ	the actual percentage attenuation/%	attenuation of relative error/%
0	50	45.40	45.40	0	0
7.34	50	45.46	42.12	7.35	0.14
18.07	50	44.03	35.53	19.31	6.86
24.09	50	44.84	33.68	24.89	3.32
33.42	50	44.67	29.15	34.74	3.95
42.51	50	45.81	25.86	43.55	4.93
56.46	50	46.13	19.57	57.58	1.98
56.46	50	44.11	18.71	57.58	1.98
72.12	50	46.78	12.45	73.39	1.76
85.56	50	46.37	6.08	88.40	3.32
97.51	50	45.24	3.13	95.29	2.28

## 5 结论

通过 Nd:YAG 激光器<sup>[16-17]</sup>和上位机界面对所设计的衰减系统进行实际的测试, 得出了该系统的衰减范围为 0% ~ 97.51%, 满足设计要求, 因此该系统具有很宽的衰减范围。通过不断的反复试验, 验证了该系统具有很好的稳定性和可重复性。因此, 该系统可以很好应用在激光损伤测试系统以及其它高功率激光能量衰减系统之中。

### 参考文献

[1] LI J L, CHEN T, SUN G. A handheld variable optical attenuator study[J]. Study on Optical Communications, 2013 (3): 54-56 (in Chinese).

- [2] WANG J. Programmable optical attenuator works and automatic calibration[J]. Hefei University of Technology, 2012, 35(10): 1363-1365(in Chinese).
- [3] HE Y L, YANG Y Y, ZHANG G K, *et al.* A design method of high performance programmable optical attenuator[J]. Journal of Electronic Measurement Technology Abroad, 2005(5):21-23(in Chinese).
- [4] FAN D L. Shallow of hall sensor in the application of linear stepper motor[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2013(1):38-40(in Chinese).
- [5] BING Y K, TONG Sh F, SONG H F, *et al.* Wide range of high precision stepless laser energy attenuator research[J]. Journal of Electrical Engineering, 2010,37(11): 48-51(in Chinese).
- [6] ZHAO H P, LIU Y F, LIANG W W, *et al.* High precision continuous dynamic laser energy attenuation device design and its calibration method[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(s1):144-147(in Chinese).
- [7] YU Zh Q, XIN Y P, HUANG Ch, *et al.* The design of the high precision programmable optical attenuator[J]. Guangxi Communication Technology, 2010(2):13-15(in Chinese).
- [8] ZENG S H. Polymer waveguide optical attenuator research [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004:9-11(in Chinese).
- [9] JIN X Zh, WANG X. Variable optical attenuator (VOA) technology development review[J]. Optical Communication Technology, 2003, 27(12):29-31(in Chinese).
- [10] LIU W G. MATLAB programming tutorial [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2010:25-58(in Chinese).
- [11] YANG X Q, WU H X, JIN Zh. Motor control based on ARM technology [M]. Beijing: China Power Press, 2008:125-139(in Chinese).
- [12] HANG Zh W, WANG B, ZHU W H. STM32F32 ARM microcontroller application design and practice [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2012:81-92(in Chinese).
- [13] FAN D L. Shallow of hall sensor in the application of linear stepper motor[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2013(1): 38-40(in Chinese).
- [14] ZHANG Sh B, DAI H, CHEN Zh. Visual Basic 6.0 (Chinese version) entry and improve [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 25-68(in Chinese).
- [15] LI Ch L. Visual basic serial communication technology and typical examples[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006:24-56(in Chinese).
- [16] ZENG X G, XIA J, HU T H, *et al.* Power measurement systems based on lock-in amplifiers and labview [J]. Laser Technology, 2015, 39(3):295-299(in Chinese).
- [17] SHI Y L, ZHANG Y, SUN L. The laser effect on optoelectronic oscillator phase noise[J]. Laser Technology, 2015, 39(6):735-740(in Chinese).