

半导体激光器老化测试智能控制系统

阮颖* 王学忠 郭晶 郭伟玲 崔碧峰 沈光地
(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

摘要: 本文介绍了一个能对半导体激光器进行老化测试的智能控制系统。相对于已有系统^[2], 该系统采用一个经过 MATLAB 优化设计的半导体激光器驱动电路, 电路结构更为简单。控制系统能够同时在恒定电流老化筛选和恒定光功率老化筛选模式下, 对多个半导体激光器进行老化测试。该系统的实验表明, 工作稳定, 性能良好。

关键词: 半导体激光器 老化 筛选 驱动电路 智能化测试系统 MATLAB 优化设计
中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

Smart control system for LD aging test

Ying Ruan*, Xuezhong Wang, Jing Guo, Weiling Guo, Bifeng Cui, Guangdi Shen
(Electronic Information & Control Engineering College, Beijing University of Technology,
Beijing 100022, China)

Abstract: In this paper, a smart control system for semiconductor laser ageing test is described. Compared to prior system², this system can work in constant current aging mode and in constant power aging mode at the same time based on a new driver circuit which is designed and optimized by MATLAB. The experiment tell that the control system perform well enough to apply in LD aging test.

Key Words: semiconductor laser diode, aging test, screen, driver circuit, smart control system, MATLAB, optimum design

1 导论

半导体激光器因其体积小、重量轻、效率高、可直接调制、价格低廉等优点已经成为激光器家族的佼佼者, 广泛的应用于国民经济和国防的各个领域。为提高半导体激光器产品的可靠性、稳定性, 需通过可靠性筛选将早期失效的器件剔除^[1]。日益扩大的生产规模, 要求筛选、老化过程必须由高度自动化、智能化的控制系统进行控制。基于这种需求, 我们研制了一种具有自动化程度高、便于大规模应用的半导体激光器老化测试控制系统。在该系统中, 提出了一个新的控制电路结构, 实现了一个能老化 16 只激光器并且能同时工作在恒流、恒功两种模式的智能控制。此外提出了运用 Matlab 对驱动电路进行优化设计的新方法。整个老化测试系统包括控制系统、微动台、热台 (保温腔体、均热板、夹具)。本文仅对控制系

国家 863 成果产业化技术研究资金资助项目 (H010110310112)。作者简介: 阮颖, 女, 汉族, 1978—, 硕士。专业: 微电子学与固体电子学, 现从事半导体激光器老化和可靠性研究。Email: ruan_ying@163.com, Tel: 010-67391641-842。沈光地, 男, 汉族, 1939—, 博士, 专业: 微电子, 长期从事光电子与微电子方面的科研教学工作。

*Project supported National High Technology Research and Development Program of china (863) (H010110310112),

Author: Ying Ruan, female, born in 1978, master graduate, Microelectronic and Solid state electronics, Her research interests are semiconductor laser diode aging and reliability. Supervisor: Guangdi Shen, male, born in 1939, PhD, Microelectronic. His research interests are in semiconductor optoelectronics and microelectronic.

统进行阐述。

2 控制系统组成

本文所述的半导体激光器老化控制系统采用上下位机的结构,如图 1 所示。上位机为一台 PC 机,具有对下位机进行控制(设置器件个数、老化模式、老化温度、失效判据)、处理下位机上传数据、图形显示(P—I—V 测试曲线)等功能。下位机由一块控制板以及与之相连的 16 块驱动板组成。其中控制板由 AT89C52 单片机、选通电路、A/D 转换器组成,驱动板由数字电位器、跟随器、开关电路、驱动电路、激光器工作电流电压和光电流检测电路、过流报警电路部分组成。基本控制过程如下:在恒功模式时,采集电路对光探测器的光电流进行采样,经 A/D 转换后,单片机将采样值与设定值进行比较,根据偏差调节数字电位器。在恒流模式时,对驱动电流进行采样,进行类似调节。这里的设定值由上位机指定。限于篇幅,有关单片机扩展、选通电路以及 PC 机控制过程的内容不再进一步说明。

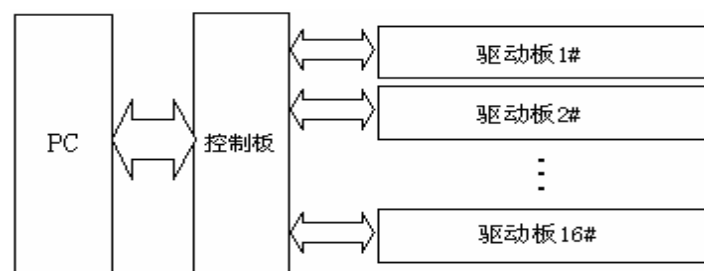


图 1 控制系统组成框图

3 控制电路设计

3.1 控制电路原理设计

控制电路原理如图 2 所示。图中所示 Rdr1、Rdr2 表示数字电位器;A 表示电压跟随器;B 表示电压放大、滤波电路;C 表示驱动电路;D 表示开关电路;E 和 F 分别表示激光器工作电压、电流采集电路;G 表示过流保护电路;H 表示光电流采集电路。电路的主要说明如下:

- 1) 数字电位器 Rdr1 与一个较小的电阻串联分压,并通过稳压管使数字电位器 AB 两端的电压稳定在一个定值。数字电位器抽头 W 上输出电压将作为整个电路的输入激励,使得电路状态的调整更为简单。文献[2]所述系统将光探测器的电流流经数字电位器而形成负反馈控制,而在本设计中运用软件形成负反馈机制,让单片机每隔 64ms 对采集值和设定值进行比较,数字电位器进行微调,完全可以达到恒定的效果(见实验结果)。
- 2) B 区电路在经电压跟随器有效隔离干扰后,对数字电位器的输出电压进行放大和滤波,有效地防止积分电路中运算放大器饱和而实际无法正常工作的现象。
- 3) 加强了对激光器的保护。在开关电路中通过单片机对继电器的开闭控制保障激光器的安全接入。为了避免老化过程中可能出现过流而对器件造成的损坏,在 G 区中采用运放进行电压比较监控驱动电流,一旦出现过流将产生外部中断信号向单片机申请中断。该中断信号将经 16 输入与门引入单片机中断输入端 INT0,同时经 16 选 1 数据选择器连接到单片机 I/O 口。在外部中断服务程序中,通过查询 16 选 1 数据选择器的数据选择端,可以确定哪一个是在申请的中断源,并用继电器切断该路。为了使电路具有对不同电流值进行监控的灵活性,我们在作为参考电位的运放同相端接入数字电位器 Rdr2,使用软件即可以对参考电位进行调整。

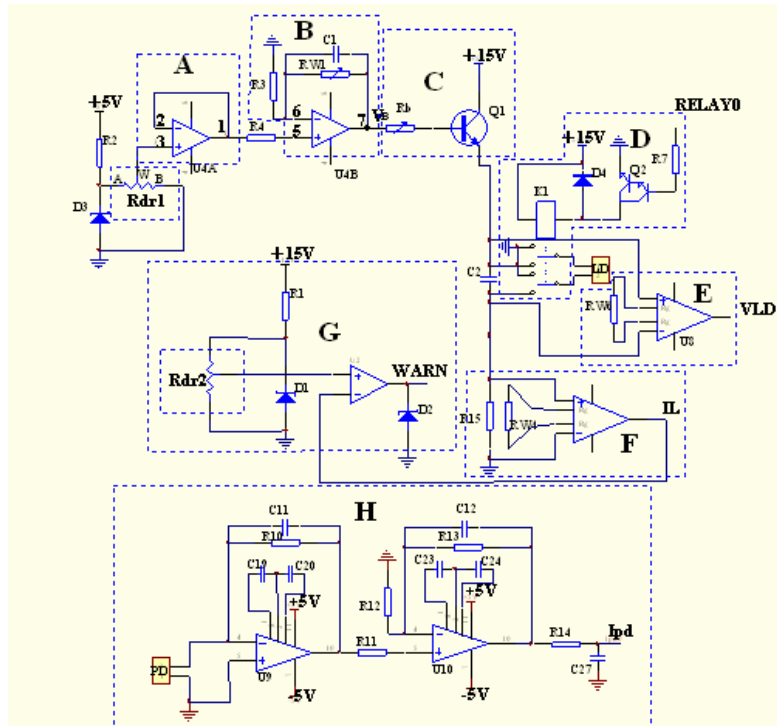


图 2、控制电路原理图

我们采用了 MATLAB 建模仿真分析的方法对控制电路进行验证与优化。该方法根据可变参数建立数学模型，运用 MATLAB 对各个参数的不同变化对电路进行模拟抽样和仿真分析，从而达到验证与优化设计的目的。采用这种方法不仅有助于元件特别是功率三极管的选择，而且对实际电路的优化起到较好的指导作用。该方法步骤如下：

1. 选择功率三极管，建立数学模型。根据选定的三极管的关键特性参数：直流放大倍数 h_{FE} 、基—射极电压 V_{BE} 随温度 T 变化的数学模型 $h_{FE} = h_{FE(T=T_0)} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$ ， $V_{BE} = V_{BE(T=T_0)} - (T - T_0) \cdot \beta$ 以及反向饱和电流 I_{CBO} 与温度 T 的数学关系 $I_{CBO} = I_{CBO(T=T_0)} \cdot e^{k(T-T_0)}$ ，而 $I_C = h_{FE} \cdot I_B + (1 + h_{FE}) \cdot I_{CBO}$ ，取样电阻 $R15$ 阻值很小，可以认为 $I_B = (V_B - V_{BE}) / R_b$ (1)，所以不难得出：

$$I_C = h_{FE(T=T_0)} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot (V_B - V_{BE(T=T_0)} + \Delta T \cdot \beta) / R_b + I_{CBO(T=T_0)} e^{k \Delta T} + I_{CBO(T=T_0)} e^{k \Delta T} \quad (2)$$

这里 $\Delta T = T - T_0$ ， $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ， V_B 为三极管输入电压， α 、 β 、 k 由三极管的特性决定。数字电位器的数字值 D_R 与抽头电压的关系 $V_W = D_R \cdot V_{AB} / D_{RMAX}$ ， D_{RMAX} 是数字电位器的总抽头数，由此我们推导出： $V_B = G \cdot V_W = G \cdot D_R \cdot V_{AB} / D_{RMAX}$ (3)，

其中 G 为电压放大倍数，把 (1)、(3) 式代入 (2) 可以得到一个 I_C 与 T 的关系式。如果知道 (2) 式中所有其它参数，那么很容易计算出 I_C ，即激光器驱动电流值。而由 I_C 又可以得出光功率值 P_0 （设光电转化效率为一定值）。

2. 利用上述数学模型，用 MATLAB 编成一个仿真程序。通过模拟温度变化，驱动电流、光电流抽样过程以及单片机对数字电位器的调整过程，它能够模拟电路的恒功、恒流两种工作模式。仿真过程中允许用户通过程序界面不断调整电路参数如三极管特性参数、电压放大倍数，数字电位器的 AB 端电压，数字电位器的抽头总数等，最终得到最优化电路结构和参数。
3. 利用上述仿真程序进行仿真、分析。

仿真分析表明，功率三极管的特性对于电路的稳定性有至关重要的影响。下面是选用大

功率三极管 2N3055 的仿真实例(其他参数也得到了优化)。仿真取样点数 $Samples = 1000$; 温度 T 变化模型: 在取样范围内, 温度 T 从室温 25°C 线性升至 50°C ; 三极管特性参数: 室温 25°C 时, $h_{FE} = 50$, $\alpha = 0.5$, $V_{BE(T_0=25)} = 0.8\text{V}$, $\beta = 0.0022\text{V}/^{\circ}\text{C}$, $k = 0.12$; 电压放大倍数: $G=6$, 基极电阻 $R_b = 0.5\text{K}\Omega$, 数字电位器电压 $V_{AB} = 3\text{V}$, 数字电位器抽头总数 $D_{RMAX} = 256$ 。当工作模式设为恒流老化模式, 电流设定为 500mA 时, 电流的平均值为 500.08mA , 均方误差值为 1.1805mA 。数字电位器输出电压 V_w 在 1.66V 到 1.48V 之间变化, 对应的数字量在 142 到 126 之间。可见, 电路能工作恒流模式下。在上述条件下, 电路工作在恒功模式下, 设定恒定功率为 500mW 时, 我们得到了类似的结果: 功率的平均值为 499.5mW , 均方误差值为 1.1203mW 。可见, 电路能工作恒功模式下。

4 实验

在电路设计与仿真优化后, 我们制作了 1 块控制板, 4 块驱动板(控制板总共可以接 16 块驱动板), 用 VB6.0 编制了上位机控制程序, 用 C51 编制了单片机控制程序, 进行实验。目的是验证系统是否能稳定工作, 平均值控制误差(统计平均值与设定值的误差占设定值的百分比)和方差的控制误差(方差占设定值的百分比)能够控制在 5% 以下以满足老化要求。

为了更好的验证控制系统对电路的调整能力, 测试在 21°C 下进行。首先我们通过上位机软件将驱动电路设置在恒流模式下, 在设定电流为 200mA 、 300mA 、 400mA 、 500mA 、 600mA 、 700mA 、 800mA 、 900mA 条件下分别测试了 2 小时(单片机每隔 64 毫秒对电路进行一次调整, 抽样数据送往上位机进行统计), 四个通道的驱动电流的平均值、方差统计结果均表明: 驱动电流较为稳定, 平均值的控制误差在 4% 以下。方差的控制误差在 0.15% 以下(可见控制精度较高, 误差主要为系统误差), 见图 4 (a)。当电路工作恒功模式, LD 功率平均值的控制误差在 4% 以下, 方差的控制误差在 0.2% 以下, 同样满足老化系统的要求, 见图 4 (b)。

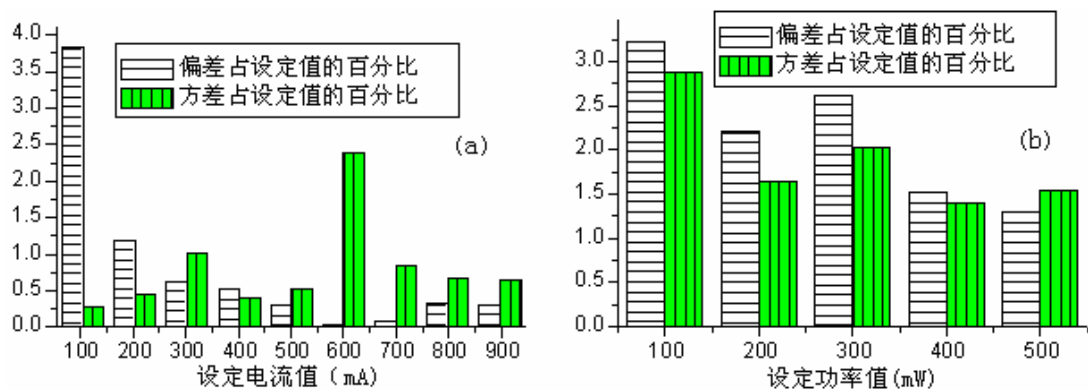


图 4 驱动板 1# 的实验统计结果

5 小结

本文阐述了一种用于半导体激光器老化筛选系统的能同时进行恒定电流老化和恒定光功率老化的智能控制系统。目前设计最大驱动电流为 900mA 。为了提供 2A 或者以上的大电流, 满足更多型号大功率激光器的老化, 还需要对设计做进一步的优化。

参考文献

- [1]唐宪明、罗绮心, 电子产品的可靠性与安全性[M].武汉.华中科技大学出版社, 2002, P58.
- [2]马军、唐宽平等, 半导体激光器老化筛选设备与筛选方法[P], 中国, 发明专利, 申请号: 01129827.8, 2003 年 1 月 8 日