

文章编号: 1001-3806(2009)01-0100-04

基于光纤信号传输的准分子激光器控制系统

史萌萌, 江海河*, 邓国庆, 贺龙海

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要: 为了解决准分子激光器在工作时产生的电磁干扰对激光器控制系统信号的影响, 利用光纤的抗电磁干扰特性, 采用光纤进行信号的传输, 研制了用于信号传输的模拟和数字光纤传输模块和基于该模块的嵌入式准分子激光器控制系统。经测试, 该系统模拟通道的 -3dB 带宽为直流到 3MHz , 非线性误差最大为 1.2% , 激光器在工作过程中, 控制系统工作稳定、可靠。结果表明, 该系统具有很好的抗电磁干扰能力。

关键词: 激光器; 电磁干扰; 光纤; 嵌入式系统

中图分类号: TN248.2⁺² **文献标识码:** A

Development of controller for excimer laser based on optical fiber

SHI Meng-meng, JIANG Hai-he, DENG Guo-qing, HE Long-hai

(Anhui Institute of Optics Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract: To solve the problem of that the electromagnetic interference (EMI) induced by a working excimer laser, which might affect the signal of the laser control system, the analog and digital optical fiber models for signal transmission and embedded excimer laser control system were designed by transmitting the signals with optical fibers for their character of immunity to EMI. It was proved that the system's analog channel's -3dB bandwidth was DC $\sim 3\text{MHz}$, its max nonlinearity was 1.2% , and the control system was stable and reliable while the excimer laser working. Experiment results indicate that this system have good character of immunity to EMI.

Key words: lasers; electromagnetic interference; optical fiber; embedded system

引言

准分子激光器作为紫外波段的强相干光源, 有很好的应用前景和在特定领域不可被其它激光器替代的优点。自准分子激光器问世以来, 已经在工业、医疗和研究领域得到了应用。但是, 准分子激光器具有高压、快放电的特性, 一般大功率准分子激光器的工作高压可以达到 $30\text{kV} \sim 40\text{kV}$, 放电时间仅有 $20\text{ns} \sim 50\text{ns}$ 左右, 在抽运放电回路中, 由于瞬时的大电流流过, 会产生很强的电磁干扰^[1]。

在准分子激光器的控制系统中, 激光器产生的强电磁干扰通过信号线耦合进入控制系统中, 对数据信号和控制信号产生干扰, 影响了激光器工作的稳定性。准分子激光器运行过程中产生的强电磁干扰, 使用屏蔽线缆也不能达到很好的效果。由于光纤具有抗电磁

干扰的能力, 在强电磁场环境中使用光纤进行信号的传输是避免电磁干扰的一种非常有效的方法。在高能物理试验等一些会产生强电磁干扰的环境中, 光纤的应用都取得了很好的效果^[2,5]。作者研制了嵌入式的准分子激光器控制系统, 使用光纤进行信号的传输, 避免了电磁干扰的影响, 从而保证了激光器工作的可靠性。

1 激光器控制系统组成

激光器控制系统主要由主控制器、气体控制单元、能量控制单元、激光触发频率控制单元和光纤传输模块等组成^[6-7], 系统的控制逻辑如图1所示。

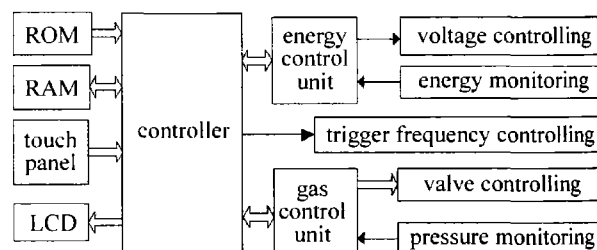


Fig. 1 Logic block diagram of control system

气体控制单元的输入信号来自激光腔体气压测量电路, 激光腔体气压测量范围为 $0\text{Pa} \sim 5 \times 10^5\text{Pa}$, 气压

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(60478025); 江苏省高技术研究计划资助项目(BG2007015)

作者简介: 史萌萌(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光电测量与控制技术。

* 通讯联系人。E-mail: hjiang@aiofm.ac.cn

收稿日期: 2007-10-09; 收到修改稿日期: 2008-07-24

测量电路输出电压 $0\text{V} \sim 5\text{V}$ 。气体控制单元的输出信号对激光器的配气系统进行控制。受控准分子激光器的工作气体为 Ne 、 Ar 和 F_2/He 混合气 3 种气体,分别为 Ne :228kPa, Ar :12kPa, F_2/He :10kPa,在配气系统中使用了 5 个电磁阀用于气路的通断,除了 3 路气体控制电磁外,还包括一个气路截止电磁阀和一个激光腔体抽真空电磁阀。电磁阀选用直流 24V 驱动的直动式两位双通电磁阀。

能量控制单元的输入信号来自激光器能量测量电路,激光器能量测量电路在能量 $0\text{mJ} \sim 20\text{mJ}$ 范围内输出电压为 $0\text{V} \sim 5\text{V}$;能量控制单元的输出信号通过控制开关电源模块控制激光器的工作电压,开关电源控制输入电压 $0\text{V} \sim 5\text{V}$,输出电压 $0\text{kV} \sim 20\text{kV}$ 。

激光器触发电路输入为一个晶体管-晶体管逻辑 (transistor-transistor logic, TTL) 电平的脉冲信号,为了触发的可靠性,脉冲信号脉宽 2ms ,触发频率为 $1\text{Hz} \sim 200\text{Hz}$ 。

控制系统中的数据信号和控制信号均通过光纤进行连接。系统光纤连接如图 2 所示。

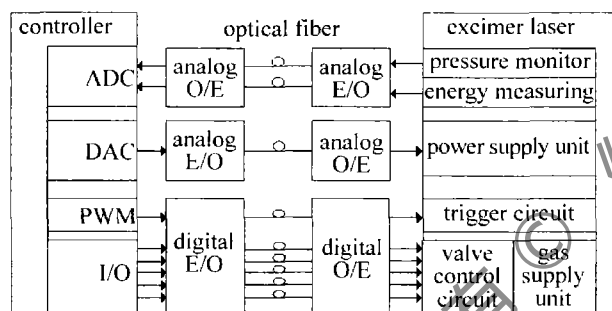


Fig. 2 Optical fiber connection diagram

2 激光器控制系统设计

主控制器采用三星公司的 ARM7 系列 16/32 位嵌入式微控制器 S3C44B0X。人机界面采用 256 色的彩色液晶显示屏 (liquid crystal display, LCD) 和触摸屏。直接在触摸屏上就可以完成手动控制、自动控制和参数设置等操作。只读存储器 (read only memory, ROM)、随机存取存储器 (random access memory, RAM)、触摸屏和 LCD 电路不再介绍,下面主要介绍激光器控制部分的电路。

2.1 模拟输入通道

模拟输入通道的输入信号为激光器的腔体气压和激光能量。系统采用的模/数转换器 (analog digital converter, ADC) 为 MAXIN 公司的 MAX1165,它是一片具有并行接口的 16 位 ADC。输入信号范围 $0\text{V} \sim 4.096\text{V}$,气压和能量测量电路的输出一般都在此范围内;内部集成了时钟、采样保持电路和高精度的电压基

准;采样速率可以达到 165kSPS ;芯片的数字部分和模拟部分单独供电。为了对两路信号进行采集,在 MAX1165 前端使用了一片模拟多路开关 MAX4581,对 MAX1165 进行分时复用。对每一路的输入信号都通过电路进行预处理,用以对输入信号进行滤波处理、提高模拟输入通道的输入阻抗、降低输出阻抗以提高模块开关速度等。

2.2 模拟输出通道

模拟输出通道通过控制开关电源模块来调节激光器的工作电压。数/模转换器 (digital analog converter, DAC) 采用 TI 公司的 TLV5619, TLV5619 为具有并行接口的 12 位电压输出型 DAC,采用 2.5V 的电压基准, DAC 转换输出范围为 $0\text{V} \sim 5\text{V}$,可以控制开关电源电压输出范围为 $0\text{kV} \sim 2\text{kV}$,满足激光器对高压调节的要求。在 DAC 转换之后接输出缓冲电路,降低输出通道的输出阻抗和提高输出通道的驱动能力。

2.3 配气系统控制电路

由于 S3C44B0X 的输入输出 (input/output, I/O) 口大部分用于其它用途,使用了一片 74HC573 扩展了 8 路输出口。其中 5 路通过配气系统控制电路对配气系统的 5 个电磁阀进行控制。其中一路电磁阀的控制电路如图 3 所示。

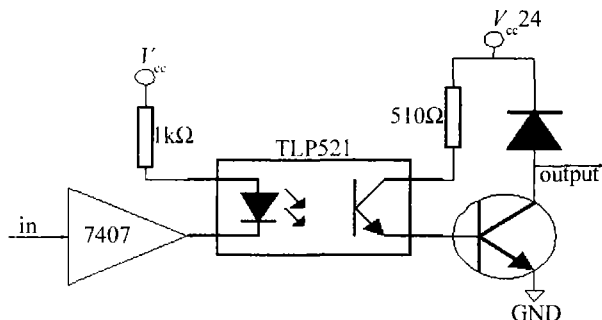


Fig. 3 Valve control circuit of gas supply unit

2.4 触发频率控制电路

激光器触发电路的输入信号要求为 TTL 电平的脉冲信号,该信号可以用 S3C44B0X 芯片中的脉宽调制 (pulse-width modulation, PWM) 定时器产生。定时器的输入时钟由芯片内部产生,频率为: $\text{MCLK} / \{\text{prescaler value} + 1\} / \{\text{divider value}\}$;其中 MCLK 为 S3C44B0X 的主频, prescaler value 和 divider value 均可以通过寄存器设置。在 PWM 的控制寄存器中, TCNTB 和 TCMPB 分别为计数寄存器和比较寄存器,当 TCNTB 中的值小于 TCMPB 中的值时,信号进行跳变,前者决定了脉冲信号周期,后者决定信号脉冲宽度。

2.5 光纤传输模块设计

在整个系统中需要传输的信号既有模拟信号,又

有数字信号,所以光纤传输模块也分为模拟光纤传输模块和数字光纤传输模块。

模拟光纤传输模块路包括模拟光发射电路和接收电路两个部分。光发射电路主要完成信号的电光转换。采用高线性的激光二极管(laser diode, LD),电路包括预均衡电路^[8-9]、LD驱动电路和偏置电路。其中预均衡电路用来补偿LD的非线性,LD驱动电路将输入电压信号转换成驱动LD的电流信号,电流偏置电路给LD提供恒定的电流,并使其工作于电光转换的线性区域^[10]。

光接收电路完成信号的光电转换。采用高线性的PIN光电二极管,电路包括前置放大电路和主放大电路。前置放大器为一个互阻抗放大器,它决定系统的

主要性能。前置放大器出来的电压一般很小,所以要经过主放大电路进一步放大,同时进行电平的移动。

模拟光纤传输模块最主要的性能参量为:线性度、频带宽度和噪声特性^[11]。用频率为100kHz的正弦波测量系统的线性度,通过逐点扫描法测得的数据如图4a所示。对测量的数据和理想线性曲线进行比较计算得知,在0V~5V范围内系统的非线性误差最大为1.2%。

对频带宽度的测量采用了时域测量的方法,输入正弦波幅度0V~5V,改变正弦波频率逐点扫描测得系统的-3dB带宽为直流到3MHz,图4b为输入信号为2MHz时的输入和输出信号波形,其中通道2为输入信号,通道1为输出信号。

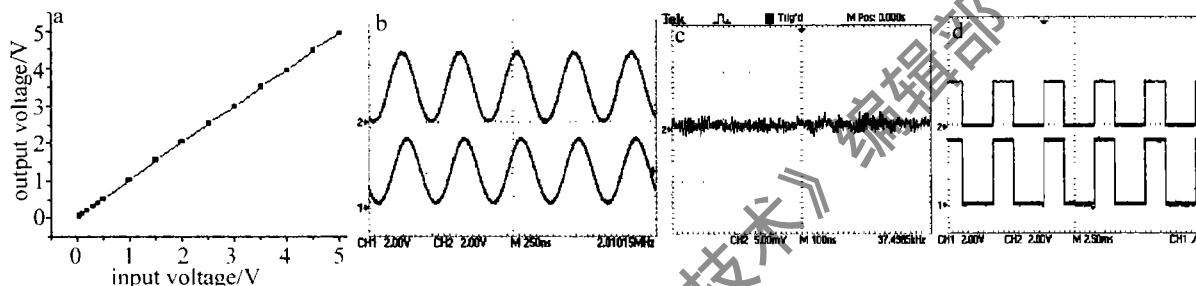


Fig. 4 Optical fiber transmission module test

a—linear measured curve b—measured waveform of 2MHz sine wave c—measured waveform of output noise d—the trigger signal transmitted by optical fiber

输出噪声峰峰值是系统的指标之一,它决定系统的最小可传输信号。测量系统噪声时,用50Ω匹配头接在系统的信号输入端口,宽带示波器记录的波形如图4c所示,可知系统的噪声峰峰值约为5mV。

数字光纤传输模块相对比较简单,从低成本和简单、可靠的原则上进行设计。光发射电路可以采用一个门电路来实现,输入信号和TTL电平兼容。接收电路包括一个前置放大器和一个输出电平为TTL电平的精密电压比较器。图4d为用设计的数字光纤传输模块传输的一个脉冲宽度为2ms、频率200Hz的触发信号波形。

3 系统软件设计

系统软件流程如图5所示。控制程序主要包括手动控制模块、自动控制模块和管道清洗模块。手动控制通过触摸屏对激光器进行配气控制和能量控制等。鉴于国外的准分子激光器已经实现自动控制功能,所以在软硬件设计过程中预留了自动控制模块,以便下一步进行功能的扩展。激光器采用自动控制后,可以实现配气过程的自动化和激光能量控制的自动化。管道清洗模块为了清除更换气体钢瓶后气体管道中残留的空气。激光器工作之前,为避免对阀流管的损伤,要对其进行10min的预热,由S3C44B0X中的实时时钟

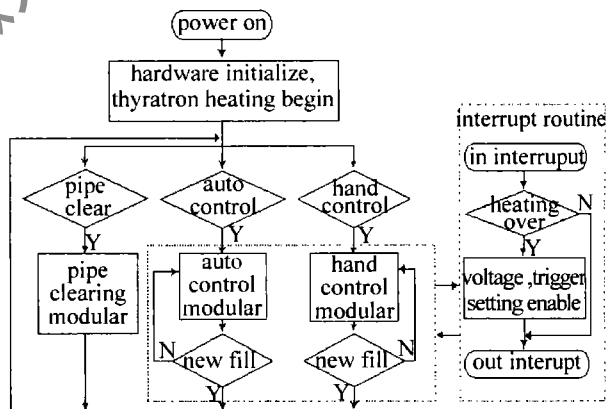


Fig. 5 Control system flowchart

进行定时。预热完成后才可对高压进行设置和进行激光触发。

4 实验结果

传统的准分子激光器的压力和能量显示均采用模拟表盘显示,对电压的调节也采用手动的模拟调节方式。由于读数时人眼观测误差和操作失误,导致气体配比和能量调节的精度都较低。对准分子激光器采用数字化控制后,激光器产生的强电磁干扰会对控制系统产生影响,导致激光器工作不稳定。在控制系统中采用光纤进行信号的传输后,便可以解决在数字化控制系统的中的电磁干扰问题。

在该激光器控制系统中,系统模拟输入通道的实际分辨率最高为10位,相对于传统的模拟显示表盘,压力和能量的采集精度有所提高。系统模拟输出通道实际有效分辨率为10位。在能量控制中,要求激光器工作电压变化最小为100V,即8位的分辨率,控制系统10位的分辨率可以提高控制的精度。系统中使用的光纤长度为3m。激光器的阈值电压最小为10kV,从阈值电压以上的11kV开始,在手动控制模式下,进行电压调节测得的工作电压和激光发射能量的关系如图6所示,由于激光器腔体设计的关系,激光能量在达到10.2mJ后便不再增加。

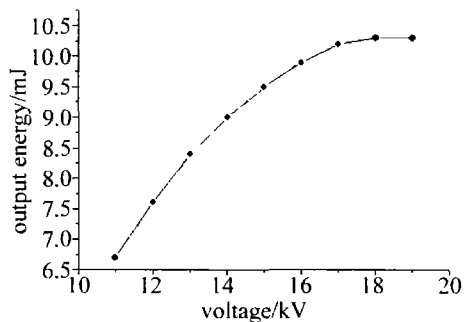


Fig. 6 Laser output energy vs. laser voltage

5 结论

实验证明,该系统可以不受电磁干扰的影响,工作状态稳定。通过增加光纤的长度和对模拟光纤收发模块进行校准后,可以实现激光器不受干扰的远程控制。不足的地方是模拟光纤传输模块的精度影响了系统的整体控制精度,如果能提高模拟光纤传输模块的性能,就能进一步提高控制系统的精度。

参考文献

- [1] DENG G Q, ZHU Zh Q, HE L H. EMI and suppression methods in excimer laser system [J]. Optoelectronic Technology & Information, 2005, 18(3): 24-26 (in Chinese).
- [2] RODGER H, LORI R, LAWRENCE E, *et al.* Fiber optics timing, firing and control systems for high energy density physics experiments at pegasus II [J]. SPIE, 1996, 2611: 227-234.
- [3] SONG W W, ZHANG CH D, LIU Y, *et al.* Development of a field measurement instrument for nuclear electromagnetic pulse (NEMP) based on signal transmission through fiber [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2007, 27(2): 246-249 (in Chinese).
- [4] ZHANG P J, AN Q, WANG Y F. Application of fibre optic in HE-SYRL new timing system [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1998, 18(5): 368-370 (in Chinese).
- [5] CHENG L, MIAO D. Study of the technology of optical fiber transmission in missile control system [J]. Tactical Missile Technology, 2006(3): 81-84 (in Chinese).
- [6] FAN Y P, HUANG X Y, XU Y Sh. Development of a microcomputer controlling system for high power excimer laser [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2002, 19(1): 21-24 (in Chinese).
- [7] PENG D F, WANG Y Q, LI B. Real-time power measurement and control system of high power CO₂ lasers [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 483-485 (in Chinese).
- [8] STRAUS J. Linearized transmitters for analog fiber links [J]. Laser Focus, 1978, 14(10): 54-61.
- [9] KOICHI A, TATSUYA K. Linearization of LED nonlinearity by predistortions [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1978, 13(1): 133-138.
- [10] XI H B, WANG M M, ZHU Sh L, *et al.* Optical fiber transmission system for radar signal [J]. Optical Communication Technology, 2007(5): 34-36 (in Chinese).
- [11] FENG G B, LIU F H, YANG P L, *et al.* Practical broadband analog fiber optic transmission system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(16): 587-589 (in Chinese).
- [6] VALLEY G C, SEGEV M, CROSIGNANI B, *et al.* Dark and bright photovoltaic solitons [J]. Phys Rev, 1994, A50(6): R4457-R4460.
- [7] SEGEV M, VALLEY G C, BASHAW M C, *et al.* Photovoltaic spatial solitons [J]. J O S A, 1997, B14(7): 1772-1781.
- [8] LIU J S, LU K Q. Screening-photorefractive spatial solitons in biased photovoltaic-photorefractive crystals and their self-deflection [J]. J O S A, 1999, B16(4): 550-555.
- [9] HOU C F, YUAN B H, SUN X D. Incoherently coupled screening-photovoltaic soliton pairs [J]. Acta Physica Sinica, 2000, 49(10): 1969-1971 (in Chinese).
- [10] JI X M, WANG J L, LIU J S, *et al.* The temperature dependence of incoherently coupled bright-dark screening photovoltaic solution pairs [J]. Laser Technology, 2004, 28(4): 387-389 (in Chinese).
- [11] JI X M, NIE H X, WANG J L, *et al.* Temperature dependence of the low-amplitude screening-photovoltaic bright spatial solitons in biased photovoltaic photorefractive crystal [J]. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(9): 1142-1144 (in Chinese).
- [12] LIU J S, HAO Z H. Separated spatial soliton pairs and solitons interaction in an unbiased series photorefractive crystal circuit [J]. Phys Lett, 2003, A29(7): 213-220.
- [13] ZHANG D Y, LIU J S, LIANG C H. Solitary evolution of Gauss beam in photovoltaic-photorefractive crystal [J]. Acta Optica Sinica, 2001, 21(6): 647-651 (in Chinese).
- [14] HAO Z H, LIU J S. Modulation on dynamical evolution of Gaussian beam in an unbiased serial photorefractive crystal circuit [J]. Acta Physica Sinica, 2002, 51(12): 2772-2777 (in Chinese).
- [15] CHENG L J, PARTOVI A. Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs [J]. A P L, 1986, 49(21): 1456-1458.

(上接第99页)