

文章编号: 1001-3806(2003)06-0569-03

## 半导体激光器在高压反馈电路中的应用\*

孙梅生 程 遥 方星豪  
(清华大学自动化系, 北京, 100084)

**摘要:** 阐述了一种高精度的高压反馈控制电路。它由发送电路将反馈电压实时值转换成串行数字信号, 再用它调制半导体激光器发出的光, 其光穿过耐高压绝缘层送给接收电路。后者通过光敏二极管和 74AHC 反相器整形电路获得串行数字信号, 然后送给控制器中的单片机, 在其软件支持下, 实现全闭环控制。所述方法新颖实用, 具有参考价值。

**关键词:** 半导体激光器; 高压反馈电路; 串行数字信号; 单片机

**中图分类号:** TN249 **文献标识码:** A

### Application of semiconductor lasers in high-voltage feedback circuit

Sun Meisheng, Cheng Yao, Fang Xinghao  
(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, 100084)

**Abstract:** This paper introduces a high precision high voltage feedback control circuit. The transmitting circuit turns the real time voltage into serial digital signals to modulate the light of the semiconductor laser. After passing the high voltage insulating barrier, the light is received by receiving circuit. Through photodiode and 74AHC inverter, the serial digital signals are obtained and sent to the microcontroller to form a closed loop control.

**Key words:** semiconductor laser; high voltage feedback control circuit; serial digital signal; microcontroller

## 引 言

半导体激光器(简称 LD)技术位于激光技术的前沿, 曾被称为“未来的激光”。它具有体积小、低功耗、易于集成、高输出强度、适用范围广等优点, 多年来向高输出功率<sup>[1,2]</sup>、高光束质量、高效率、低成本和长寿命方向迅速发展, 在通信、医疗、精细加工和数据存储等方面的应用<sup>[3]</sup>越来越广泛。本文中阐述一种利用半导体激光器实现高压反馈信号传输的实用方法。

高压电脉冲在原油电脱水、除尘、大型臭氧发生器、离子加速器等领域的科学研究和工业应用中日趋增多。在进行实验或生产过程中, 由于负载变化和供电电源电压变化, 以及升压变压器不可避免地具有较大的漏电感和铁芯 BH 特性的非线性等原因, 常需要采用反馈电路来保证输出脉冲的幅值稳定并等于设定值。传统的办法是从变压器低压侧

(原边) 取样形成局部闭环稳压, 虽然有一定效果, 但无法补偿变压器的非线性影响。彻底解决问题的方法是从高压侧(即副边)取样, 构成全闭环稳压。作者曾尝试用无线电波实现其非接触式反馈, 因高压大功率(例如 30kV, 100kW)电脉冲高次谐波干扰太强, 未能如愿。后又尝试用红外实现上述反馈信号传输, 由于红外发光管发出的光穿过绝缘层衰减后, 入射到光敏管的光很弱, 受噪声和温漂影响严重, 仍不能如愿。此后用半导体激光器、发送电路和接收电路, 实现了非接触式高压反馈信号的传输, 它可确保人身和设备安全, 效果良好。

## 1 基本原理

实现上述意图的基本原理如图 1 所示。图中所示变压器副边绕组抽头 b 点与 c 点之间的电压是整个副边绕组输出电压  $u_o$  很小的一部分, 例如 0.1% (即  $u_{bc} = 0.001u_o$ ), 虽然  $u_{bc}$  本身的电压不高, 但它仍需与变压器原边绕组、逆变电路和控制器等绝缘, 并希望其耐压可达  $u_o$  最大峰值的 3 倍以上, 以确保安全。

\* “211 工程”基金资助项目。

作者简介: 孙梅生, 男, 1945 年 5 月出生。副教授。长期从事电力电子、微电子和自动控制等领域的教学与科研工作。

收稿日期: 2003 04 15; 收到修改稿日期: 2003 06 07

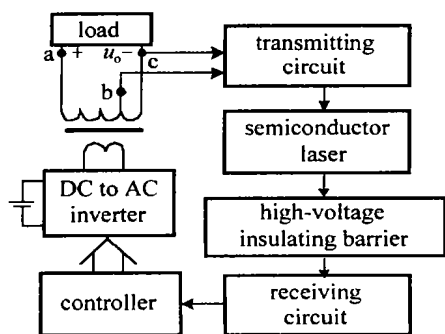


Fig. 1 Schematic diagram

发送电路将被测信号衰减后, 经过高输入阻抗的模拟信号缓冲电路, 送给 12bit 串行输出 A/D 转换电路, 再经过编码和驱动电路<sup>[4]</sup>等, 控制半导体激光器是否发光。LD 发出的光穿过耐高压绝缘层后, 送给接收电路的光敏二极管 PD, 然后接收电路将 PD 接收到的串行数字信号送给控制器中的单片机 (或称单片微型计算机, 例如 MC196), 在其固化软件支持下, 实现非接触式全闭环反馈。

图 1 中耐高压绝缘层材料选用聚四氟乙烯, 它的电绝缘性能优良, 而且透明。例如 SFM-2 定向或半定向型聚四氟乙烯, 其耐压优于 50kV/mm。

## 2 发送电路

图 1 中的发送电路如图 2 所示。其中  $A_1$  是高

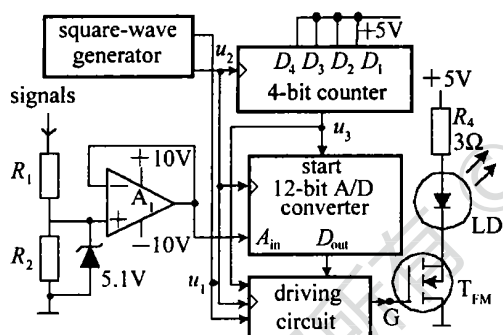


Fig. 2 Configuration of transmitting circuit

输入阻抗、低功耗、亚高速集成运算放大器, 可选用 TLE2037, 它的静态输入电阻超过 200MΩ, 输入失调电压  $U_b \leq 0.1\text{mV}$ , 转换速率约 7.5V/μs, 静态功耗可小于 500mW。A<sub>1</sub> 接成电压跟随器形式, 它的输出送给 12bit 串行输出 A/D 转换器。后者可选用

$$u_g = \begin{cases} U_{gh} & 16mT < t < (16m+1)T \text{ 或者 } (16m+n+1)T < t < (16m+n+1.25)T \\ U_{gh} \times D_n & (16m+n+1.25)T < t < (16m+n+1.5)T \\ U_{gl} & (16m+1)T < t < (16m+2)T \text{ 或者 } (16m+n+1.5)T < t < (16m+n+2)T \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $m$  为正整数或 0;  $n$  是正整数, 其值在 1 至 14 范围内。  $U_{gh}$  是  $u_g$  的高电平, 其值不低于 4.5V;  $U_{gl}$  是  $u_g$  的低电平, 其值在 0 至 0.4V 范围内。

ADS7835, 它的内部参考电压  $U_{ref} = 2.5\text{V}$ 。该器件需要输入时钟信号 ( $f \approx 500\text{kHz}$ ) 和 A/D 转换起始信号 (start), 它们分别由方波发生器和 1/16 计数器提供 (如图中所示), 前者由石英晶体振荡器和分频电路构成, 后者可选用 MC14526 构成。

图 2 中左侧电阻  $R_1$  和  $R_2$  起分压作用, 其阻值的大小可依据以下两点计算: (1) 流过  $R_1$  的电流为图 1 中负载电流的 0.1% 左右; (2)  $R_2$  两端电压的绝对值之最大值等于 A/D 转换参考电压  $U_{ref}$  的 80% 左右。

在参考电压  $U_{ref} = 2.5\text{V}$  前提下, ADS7835 的模拟输入电压  $u_{a.in}$  可在  $-2.5\text{V}$  至  $+2.5\text{V}$  范围内变化。在  $0 \leq u_{a.in} < +2.5\text{V}$  条件下, 它输出的  $D_{11} = 0$ , 其它各位串行数据  $D_n$  ( $D_n = 1$  或 0;  $n$  是整数, 且  $0 \leq n \leq 10$ ) 与  $u_{a.in}$  之函数关系是:

$$\sum_{n=0}^{10} 2^n \times D_n = \frac{u_{a.in}}{2.5\text{V}} \times 2^{11} \quad (1)$$

在  $-2.5\text{V} < u_{a.in} < 0$  条件下,  $D_{11} = 1$ , 其它各位串行数据  $D_n$  与  $u_{a.in}$  之函数关系是:

$$\sum_{n=0}^{10} 2^n \times D_n = \frac{2.5\text{V} + u_{a.in}}{2.5\text{V}} \times 2^{11} \quad (2)$$

为了便于接收电路解码, 图 2 中“编码电路”根据 A/D 转换器输出的数字信号、1/16 计数器输出的启动信号和方波发生器输出的方波, 经过编码后再送给高速 MOSFET 管  $T_{FM}$  的栅极, 控制半导体激光器是否发光。

编码电路输出信号与各输入信号的波形如图 3 所示。

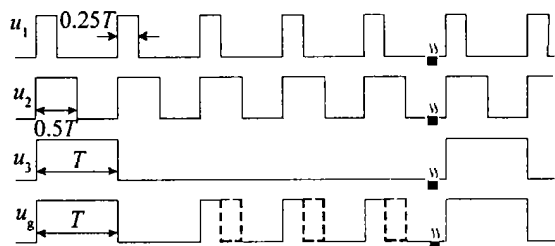


Fig. 3 Waveforms

图中 MOSFET 栅极电压  $u_g$  随各位 (bit) 串行输出数据  $D_n$  和时间变化, 即:

图中  $T_{FM}$  需选用高速器件, 笔者选用 TPIC5423L, 将其四通道并联作为  $T_{FM}$ , 其响应时间最大值不超过 70ns。该器件每个通道允许通过的漏极

电流可达 0.625A。图中的 LD 可选用中心波长为 (970~990) nm 的小功率半导体激光器<sup>[5]</sup>, 例如 F-980-800C-100, 它的阈值电流为 0.3A, 输出功率可达 0.8W。

### 3 接收电路

接收电路如图 4 所示。图中 PD 是光敏二极管, 它的光谱特性应与发送电路中半导体激光器的光谱特性相适应。实验时选用 S186P 作为光敏二极管, 其暗电流小于 30nA, 亮电流可超过 35 $\mu$ A (入射光波长在 (900~1000) nm 范围内, 光照强度不小于 1mW/cm<sup>2</sup>)。图中反相器选用 74AHC14 (具施密特特性的高级高速 CMOS 反相器), 在没有光入射到光敏二极管时, 反相器输出高电平, 其值大于 4.8V。当入射到光敏二极管的光照强度大于 1mW/cm<sup>2</sup> 时, 反相器输出低电平, 其值小于 0.2V, 符合数字电路高速 CMOS 器件输入电平之技术规范。

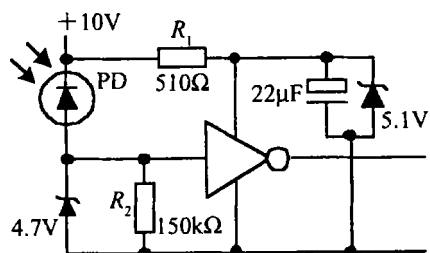


Fig. 4 Configuration of receiving circuit

以上所述, 实际应用于原油电脱水高压脉冲源, 它安装在室内, 机柜内有风机散热, 机内最高温度不

超过 40℃, 而且通信距离只有约 120cm, LD 在 40℃ 条件下发出的光到达光敏管的强度比接收电路所需额定光照强度大 1 倍以上, 因此, 上述电路工作稳定可靠。

至于图 1 中控制器内单片机软件的设计等详情, 可供查阅的文献或器件资料相当多, 而且不属于本文主题内容, 因此不赘述。前面所述编码电路等有类似情况, 不重复说明。

### 4 结 论

对于高压反馈控制而言, 前面所述激光传输方法不受高压大功率脉冲高次谐波的影响, 而且半导体激光器发出的光穿过绝缘介质后入射到光敏二极管的光足够强<sup>[6]</sup>, 光敏二极管的亮电流和暗电流之比超过 1000 倍, 因此, 不需要放大即可直接驱动 74AHC 系列数字器件。综上所述, 用半导体激光器实现高压反馈信号传输, 可靠性好、电路简捷、实用性强。

#### 参 考 文 献

- [1] 曹三松. 激光技术, 2000, 24(4): 203~206.
- [2] Welch D F. IEEE JSQE, 2000, 6(6): 1470~1477.
- [3] 施德恒, 郭峰, 刘玉芳 et al. 激光技术, 2002, 26(2): 90~93.
- [4] Zou W, Chen M, Gao Y. SPIE Proc, 2002, 4916: 369~372.
- [5] Huang R K, Dornelly J P, Walpole J N et al. IEEE LEOS Conf Proc, 2002, 1: 93~94.
- [6] 康俊, 李明中, 隋展 et al. 激光技术, 2002, 26(4): 287~289.

(上接第 568 页)

控制。可对炮手训练时击发的次数、发射炮弹的数量和命中靶机的炮弹数进行累计, 训练结束时以此来评定训练的效果, 并给出炮手的训练成绩。另外, 计算机可在 CRT 上同步模拟显示高炮射击训练的整个过程。整个系统的程序流程如图 4 所示。

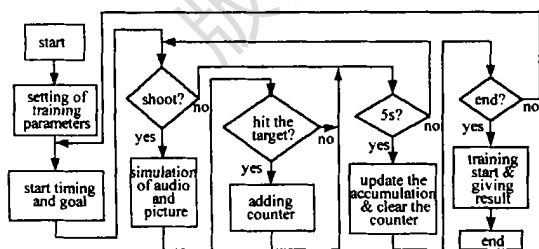


Fig.4 Flowchart of the program

### 6 结束语

该系统投入使用并通过鉴定, 2000 年获得中国人民解放军科学技术进步三等奖。但由于采用激光

代弹, 靶机上的激光接收面必须正对发射方向, 使得靶机的航向单一, 这无疑增加了训练应用的局限性, 需进一步改进, 使之更接近于实战。

#### 参 考 文 献

- [1] 林远芳, 黄元庆. 激光技术, 2001, 25(2): 32~34.
- [2] 何英, 孟晨. 电子技术应用, 2000, 26(11): 12~14.
- [3] 郝鸿安. 常用数字集成电路应用手册. 北京: 中国计量出版社, 1987: 388~391.
- [4] 张利. PC 机打印口原理及应用开发. 北京: 清华大学出版社, 1996: 98~104.
- [5] Kruglinski D J 著. VC++ 技术内幕. 北京: 清华大学出版社, 1999: 201~210.