

大功率光脉冲发生器的系统设计

王金红, 洪小斌, 于水

(北京邮电大学 信息光子学与光通信研究院国家重点实验室, 北京 100876)

摘要:提出了一种大功率光脉冲发生器,通过软硬件设计实现并验证了方案的可行性。系统通过优化 PID 参数实现了对泵浦温度的精确控制,通过自动功率闭环控制实现了输出光脉冲峰值功率的调节。实验表明,系统可实现响应时间为 760ps、峰值功率为 4.8W 的光脉冲。

关键词:光脉冲发生器;自动功率控制;自动温度控制;串口通信

中图分类号:TN242 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2013)01-038-03

System design of high power optical pulse generator

WANG Jin-hong, HONG Xiao-bin, YU Shui

(Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communication, State, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract:A high power optical pulse generator is proposed and experimentally validated. The temperature of this system is accurately controlled by using the optimization PID parameter, and peak power of optical pulse is adjusted by an automatic power closed-loop control. The experiment results demonstrate that our system can realize 4.8W peak power and 760ps response time of the output optical pulse. Additionally, the system is highly integrated, which can be widely used in optical fiber sensor system.

Key words:optical pulse generator; automatic power control (APC); automatic temperature control (ATC); serial communication

0 引言

分布式光纤温度传感系统是基于光后向喇曼散射和光时域反射(OTDR)原理实现的温度测量系统。光纤温度传感系统将光纤作为温度感应器和传输介质,通过分析处理后向散射的光信号,检测出光纤沿线的温度变化和分布情况。同时,根据采集到的光信号的返回时间,对温度点进行定位,实现监测光纤沿线温度变化和定位的要求。分布式光纤温度传感系统多用于电力电缆温度检测、隧道火灾检测等长距离线型空间的温度检测。光源在长距离光纤传输中会产生损耗,并且后向散射光很微弱。为了降低对接收端转换模块灵敏度的要求,光纤传感系统采用大功率光脉冲发生器作为信号源。

本文设计了一种大功率光脉冲发生器的实现方法,包括光路和电路设计两部分。该发生器内嵌微处理器控制电路和驱动电路,上位机监控工作状态并发送控制指令,实现不同工作模式间的切换。工作模式

包括自动光功率控制(APC)、自动驱动电流控制(ACC)和自动增益控制(AGC)。微处理器控制泵浦工作电流,使发生器实现增益可调,并能在很大的输入功率范围内获得较好的工作性能。

1 系统框图和工作原理

1.1 系统框图

大功率光脉冲发生器采用前向泵浦方式,整体结构如图 1 所示。大功率光脉冲发生器主要由 1550nm 激光器、980nm 泵浦激光器、隔离耦合器、掺铒光纤(EDF)、耦合滤波器、PIN 二极管、微处理器及驱动电路组成。14 脚 Butterfly 封装的 980nm 泵浦激光器内部包括激光器 LD、背光检测二极管 PD、制冷器 TEC 和热敏电阻 TR 等 4 个器件。PD 用于检测泵浦激光器的输出功率大小;TR 是常温 25℃时阻值为 10K 的负温度系数的热敏电阻,用于测量泵浦激光器 PN 结的温度;TEC 用于对激光器制冷或者加热。隔离耦合器将输入光和泵浦光耦合进掺铒光纤,同时抑制光反射。耦合滤波器滤掉 980nm 的泵浦光和自发辐射光以降

收稿日期:2012-10-10。

作者简介:王金红,(1987-),女,硕士生,主要研究方向为光纤传感。

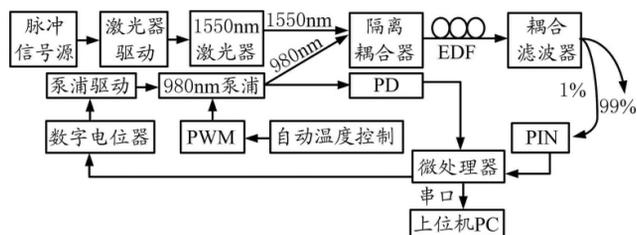


图1 大功率光脉冲发生器系统结构图

低噪声,实现 1550nm 的光输出,并且将 1%的输出光功率耦合至 PIN。由转换后的电信号可以推算出输出光功率,为处理器提供智能化控制所需的监视信号。微处理器根据 PD 和 PIN 转换的信号量大小和上位机要设置的功率值或者电流值周期性调节数字电位器的大小,实现系统稳定输出并完成闭环控制。自动温度控制模块保证泵浦工作在恒温状态。

1.2 放大作用原理

1550nm 波长的输入光在掺铒光纤中传输,并与钕离子相互作用产生受激辐射,发射出大量与输入光相同的光子(即频率、相位、传播方向和偏振态相同),同时泵浦激光向掺铒光纤中注入足够强的泵浦光,提供受激辐射持续进行的条件,使输入光得到放大^[1]。

1.3 自动温度控制(ATC)

泵浦激光器采用内部集成的以珀尔帖(Peltier)效应为工作原理的半导体热电制冷器(TEC)作温控元件,确保泵浦工作在恒温条件下。TEC的工作原理为:当给 TEC 通不同方向的电流时,可对与其接触的泵浦激光器的 PN 结制冷或加热,TEC 的制冷量或加热量的多少与其工作电流成正比^[2]。自动温度控制(ATC)电路原理图如图 2 所示。由泵浦激光器内部的热敏电阻 TR 和 3 个 10kΩ 精密电阻组成电桥,将设定的恒定温度 25℃和实时温度值输入差分电路,输出温度偏差信号。将温度偏差信号接入 PID 补偿网络,通过调节 P、I 和 D 的系数,准确控制输出电压。该输出电压与参考电压比较,通过 PWM 控制器和场效应管驱动电路控制 TEC 两端电压的大小,达到控制 TEC 电流方向的目的,不仅实现了制冷和加热的切换,还可通过电压差值来控制 TEC 制冷或加热电流的大小。这样,热敏电阻、PID 补偿网络和 TEC 就构成一个闭环的温度控制回路。通过优化 PID 的参数,可以将温度变化控制在 0.1℃,并有效抑制光波长的漂移、保持泵浦激光器输出功率的稳定。

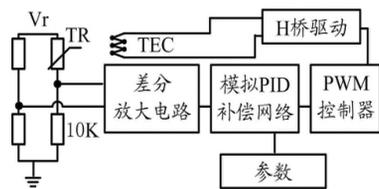


图2 自动温度控制原理图

1.4 自动功率控制(APC)

APC 由背光检测二极管 PD、微控制器、数字电位器和功率放大器驱动电路组成的闭环系统实现,原理图如图 3 所示。背光检测二极管 PD 将泵浦的背光信号转换为正

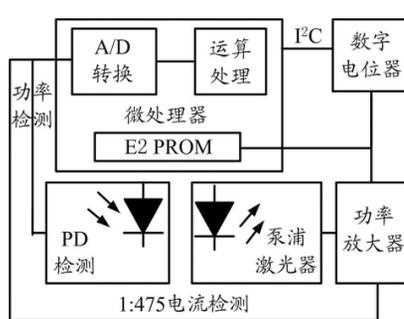


图3 APC 和 ACC 原理图

比于此光信号的电流,电流经过电阻变换为电压信号,电压信号输入功率放大器的负向输入端。同时,微控制器内部集成的 A/D 转换器采样此电压信号,经运算处理为对应泵浦光功率,与上位机串口发送的预设泵浦功率进行比较,二者不相等时,微控制器依据二者的大小关系和相差的数值大小,通过 I²C 总线调节数字电位器的阻值大小,并将数字电位器的阻值存储在微控制器的 E2PROM 中。如果功率放大器正向输入发生变化,那么放大器的输出电流就发生变化,即泵浦的驱动电流发生变化,则泵浦激光器的输出功率发生变化,PD 检测的电流值和转换后的电压随着发生变化,导致功率放大器的反向输入发生改变,如此实现一次功率控制。通过 A/D 采集后,如果此时泵浦激光器的功率和预设功率值仍不相等,微控制器将继续调节数字电位器的阻值,直至泵浦激光器的输出功率与预设值相符,实现泵浦激光器功率的智能闭环控制。在输出功率值与预设值相符后,微控制器仍周期性地读取 PD 检测的光电流的电压信号,达到实时监控泵浦激光器输出功率的大小。如有偏差,可通过调节数字电位器的阻值,保证泵浦激光器恒定功率输出。

ACC 原理与 APC 原理类似,读取泵浦激光器驱动电流大小,根据要设置的驱动电流值调节数字电位器阻值,实现泵浦驱动电流的闭环和实时控制。

AGC 与 APC 和 ACC 方法类似,工作原理如下:耦合滤波器将输出光功率的 1%耦合进 PIN 管,PIN 实现光电转换,转换后的电信号经微处理器的 A/D 模块转换,得到的数字信号通过微控制器运算处理,得出大功率光脉冲发生器输出光功率与预设输出光功率的差值,微控制器根据差值,通过 I²C 总线调整数字电位器的阻值。利用定时器周期性地读取输出光功率的大小,实现对输出光功率值的实时控制。

2 系统软件设计

系统软件由初始化程序、主程序、I²C 控制程序、上位机通信程序、中断处理程序、工作模式转换和参数设置程序等组成,完成命令处理、参数采集、闭环控制、工作模式转换、功率或电流大小设置和告警状态指示等功能。

2.1 主程序

系统上电后,系统软件完成 PIC18F452 对 I²C 模块、EUSART 模块、定时器模块和 A/D 模块的初始化。如果单片机是第一次使用,EEPROM 存储的数据都为 FF^[3],在这种情况下发生器将出现状态未知的现象,无法继续工作。为了避免这种情况,第一次使用单片机时,需在 EEPROM 中存储工作模式和工作状态,本设计中预设状态为 ACC 模式,电流的大小为 450mA。主程序是一个大循环,不断读取几个状态标志,根据相应状态进行相关处理,如功率或电流大小设置、I²C 控制数字电位器和告警状态指示等。定时中断和串口中断实现参数自动周期调节和命令处理。

2.2 ACC 程序设计

大功率光脉冲发生器工作模式分别为 APC、ACC 和 AGC 三种,这三种模式的工作原理类似,都是闭环控制,且控制方法相同,这里以 ACC 控制过程为例进行说明。ACC 程序流程图如图 4 所示。泵浦驱动电流为 $I_{光}$,泵浦驱动电路检测管脚输出电流为 $1/475I_{光}$,流经电阻 R ,与微控制器 A/D 转换器连接处的电压为 $1/475I_{光}R$,经采集转换,换算为实际泵浦驱动电流大小并存储。以 20ms 为周期四次采集转换,得出泵浦驱动工作电流平均值,消除由于干扰等原因造成的采样错误。本设计中预设的泵浦驱动电流值 $I_{设}$ 来源有两种,一是上位机通过串口发

送的控制帧中包含预设值;二是当大功率光脉冲发生器工作时,如果串口没有发送控制命令,根据上次写入 EEPROM 中的预设值读出设置的电流大小。比较 $I_{光}$ 与 $I_{设}$,根据两者的差值,得出在现有基础上要调整数字电位器阻值的大小,数字电位器阻值为全局变量。根据编程之前多次测量实验结果得出的数据,相差为 3 时,数字电位器相应调节一

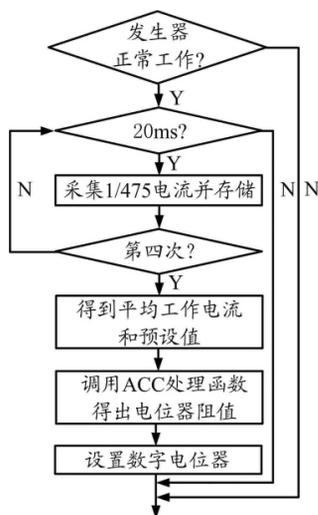


图 4 ACC 程序设计流程图

个档位,调节后的 $I_{光}$ 与 $I_{设}$ 十分接近。微控制器通过 I²C 总线控制数字电位器阻值的调整。微控制器设定定时器,周期读取 $I_{光}$,自动控制数字电位器阻值的大小,实现实时调节 $I_{光}$,完成 ACC 控制。

3 实验验证

为了验证设计方案的可行性,对设计实现的大功率光脉冲发生器进行实验测试,测试连接图如图 5 所示。输入周期为 100ms,脉冲宽度为 20ns,波长为 1550nm 的光脉冲。泵浦激发的载流子持续时间为 20ms,因此载流子能够在 2 个脉冲之间完全恢复。大功率光脉冲发生器输出峰值光功率很大,为避免烧坏器件接入衰减器,PD 的转换效率为 450W/W。

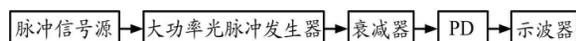


图 5 实验连接图

大功率光脉冲发生器的响应时间是指从输出光功率 10% 到 90% 所用的时间,输出平均光功率为 11.4dBm,衰减器衰减值为 33.8dB,图 6 是经过示波器采集的波形图,从图 6 得出经过 PD 转换后的电压值为 0.9V,那么大功率光脉冲发生器输出峰值功率为:

$$\frac{0.9V \times 2398.8}{450W} = 4.80W$$

图 6 中 T1 为输出光功率 10% 的时间点, T2 为输出光功率 90% 的时间点,由此可以得到大功率光脉冲发生器的上升沿响应时间为 760ps。

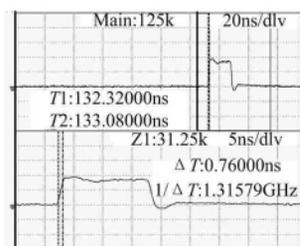


图 6 实验结果图

4 结束语

本文设计实现了大功率光脉冲发生器,并且应用在分布式光纤温度传感系统中,作为信号源使用。该发生器采用小型化设计,具有集成度高、功耗低和增益大等优点。实验表明,光脉冲发生器上升沿小于 1ns,输出功率为 4.8W,为实现长距离、高分辨率的分布式喇曼温度传感器奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘增基,周洋溢,胡辽林,等.光纤通信[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [2] 徐广平,冯国旭,耿林.基于单片机控制的高精度 TEC 温控[J].激光与红外,2009,39(3):254-256.
- [3] PIC18(L)F2X/4XK22 数据手册,nano Watt XLP 技术的 28/40/44 引脚低功耗、高性能单片机[R].Microchip Technology Inc, 2011.