

基于 TDC_GP21 的激光测距仪设计

纪晓轮, 蒋 钱, 陈江伟, 张旭野

(江苏国电南自海吉科技有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:为提高激光测距仪测距精度,采用 ACAM 公司的时间数字转换芯片 TDC_GP21,设计了高精度的时间间隔测量模块,采用数据拟合算法对测距系统进行了标定,并用多项测距算术平均值的方法提高系统测距精度。测量结果表明系统电路简单、精度较高、成本更低、具有量产可行性。

关键词:激光测距;飞行时间;TDC_GP21;拟合

中图分类号:TH744.5

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2015)03-0026-03

在电力行业激光盘煤仪系统中,通过激光测距仪对燃料堆各点高度进行测量,可以为激光盘煤仪系统求得燃料堆体积提供精确的距离数据,从而方便实现对燃料的数字化管理。激光测距仪通过测量激光飞行时间来间接求得距离,其测量公式如下:

$$s = \frac{c \cdot t}{2} \tag{1}$$

式中, c 为光速,取值为 0.3×10^6 m/s; t 为激光飞行时间; s 为目标与激光测距系统之间的距离。由式(1)可推导出下式:

$$\Delta s = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \tag{2}$$

由式(2)可知激光测距的精度取决于激光飞行时间的测量精度,若实现 1 cm 的测距精度则要求计时精度为 67 ps,故激光飞行时间测量是激光测距系统中最重要的一个环节。基于此本文采用时间转换数字技术进行时间间隔测量,该技术基于德国 ACAM 公司的 TDC_GP21 芯片,测距系统选择宏晶公司的 STC12LE5A60S2 芯片作为主控制器,控制计时模块和液晶显示模块。

1 测距系统结构与测量原理

测距系统结构如图 1 所示,激光二极管型号为三洋公司的 DL-3147-065 型,输出功率为 5 mW;激光波长为 650 nm;光电二极管采用敏光科技公司的 LSSPD-2.5 型,该光电二极管的特点

为响应时间短、暗电流小、灵敏度高。测距原理是由主控制芯片控制激光驱动电路产生开始计时信号,驱动激光二极管向目标发射激光脉冲的同时触发 TDC_GP21 开始计时,出射的激光到达目标表面,经漫反射后被聚焦透镜接收,照射到光电二极管上产生光电流,然后经过前置放大电路将光电流转换为电压,再经过滤波电路滤除干扰信号,最后通过比较整形电路,产生停止计时信号触发 TDC_GP21 停止计时。TDC_GP21 自动记录 START 脉冲和 STOP 脉冲之间的时间^[1],并保存为数字量,主控制芯片通过 SPI 接口读出寄存器中存储的时间量,按照式(1)计算出距离值,通过 RS485 发送给 PC 机上位机或直接在 12864 液晶显示屏上显示。

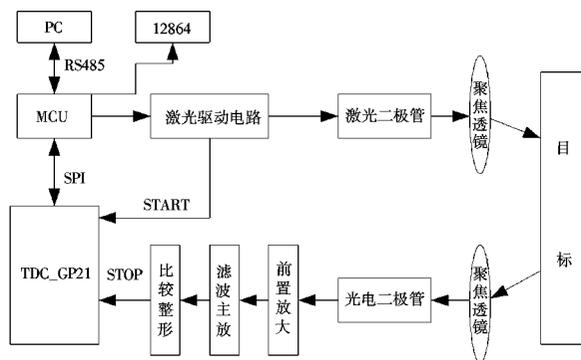


图 1 测距系统结构框图

Fig. 1 Structure diagram of ranging system

2 高精度计时模块设计

2.1 TDC_GP21 概述

TDC_GP21 是德国 ACAM 公司面向时间测量领域新推出的一款高精度计时芯片,是 TDC_GP2 的升级版,主要由时间数字转换单元、算术逻辑单元、温度测量单元、脉冲发生器、时间控制单元、时钟校准单元、四线制 SPI 接口、配置寄存器、状态寄存器、结果寄存器、斩波稳定低噪声比较器组成^[2]。

2.2 TDC_GP21 特点

(1)测量范围宽、测量精度高。TDC_GP21 具有 2 个测量范围,其中测量范围 1 的测量范围为 3.5 ns ~ 2.5 us,双通道典型精度为 90 ps,单通道双精度为 45 ps,测量范围 2 的测量范围为 500 ns ~ 4 ms,单通道典型精度为 90 ps,双精度模式为 45 ps,4 精度模式为 22 ps^[3]。

(2)芯片功耗低,每 30 s 一次温度测量的平均电流为 0.08 uA。

(3)价格低廉,外围电路简单。

2.3 TDC_GP21 硬件电路设计

图 2 为基于 TDC_GP21 的计时模块硬件电路图,本文选择 TDC_GP21 测量范围 1 设计近距离计时模块,关闭 START 通道,开启 STOP1、STOP2 通道。图中 STOP1 通道接入开始计时脉冲,STOP2 通道接入停止计时脉冲,回波信号接收处理电路的输出信号在进入 TDC_GP21 的 STOP2 通道之前先经过由高速比较器构成的整形电路,降低信号中干扰噪声对计时的影响,防止误触发,四线制 SPI 接口与主控制器的 SPI 接口相连,中断脚与主控制器的外部中断 1 引脚连接。TDC_GP21 需要一个 4 MHz 的高速时钟单元进行校准和 32.768 kHz 的晶振供内部 EEPROM 使用^[4]。

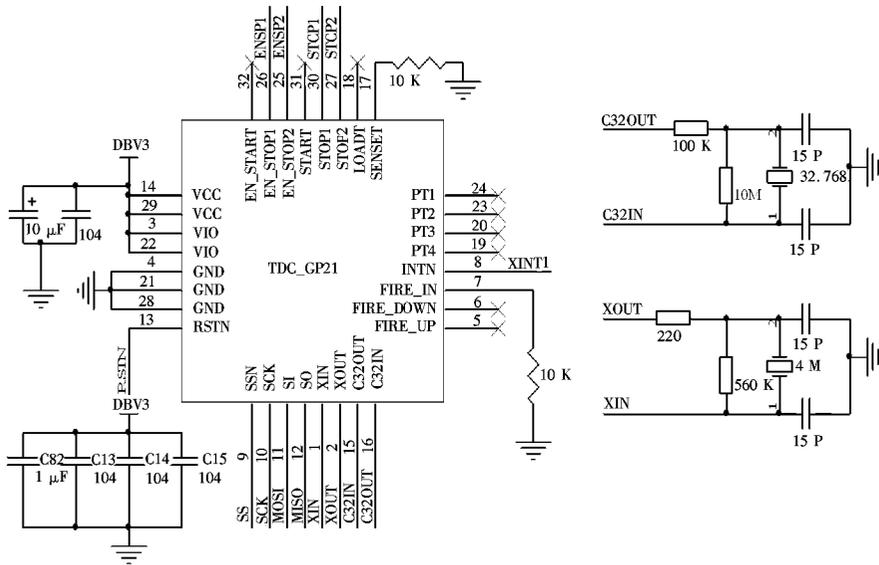


图 2 计时模块硬件电路图

Fig. 2 hardware circuit diagram of timing module

3 测距系统软件设计

系统的软件设计主要包括 TDC_GP21 芯片寄存器的配置及初始化工作,激光脉冲发射程序设计、中断服务子程序,结果寄存器的读取及液晶显示程序设计等。图 3 为测距系统软件流程图,系统上电后先将 TDC_GP21 的 EN_STOP1 管脚和 EN_STOP2 管脚拉低,即关闭 STOP1 通道和 STOP2 通道,防止测量误触发;然后拉低复位脚硬

件复位 TDC_GP21,再通过 SPI 接口分别配置 7 个寄存器,例如设置测量范围 1 和选择参考时钟,开启噪声单元及运行自动校准功能等等;再发送 0x70 指令初始化 TDC_GP21,拉高 EN_STOP1 和 EN_STOP2 引脚,打开 STOP1、STOP2 通道,这时 TDC_GP21 进入测量状态,等待开始计时脉冲和停止计时脉冲;最后主控制器控制激光驱动电路产生发射脉冲,延时等待一段时间后,TDC_GP21 产生中断信号,主控制器响应中断,进入中断服务

子程序中读取结果寄存器中的时间数据并计算出距离后,通过串口发送给上位机或者直接液晶显示。为保证测量的准确性每次测量之前都需要对 TDC_GP21 重新进行初始化^[5]。

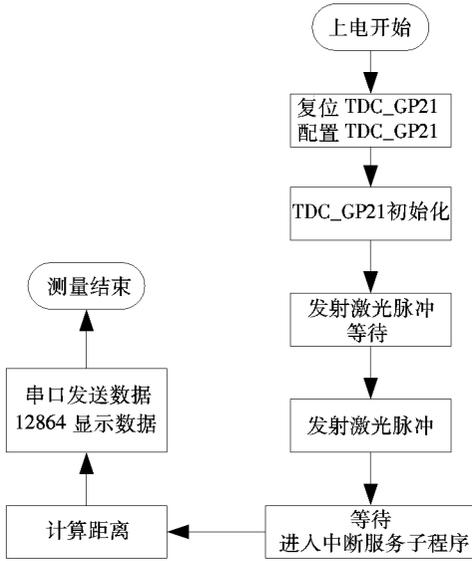


图 3 测距系统软件流程图

Fig. 3 Ranging system software flow chart

4 测距系统标定方法

由于系统硬件电路存在延迟时间,会影响测距的精度,因此实际应用前还必须对信号的传输延迟时间进行研究。信号主要是在滤波电路和比较电路中发生了延迟,根据公式 $\tau = r \cdot c$,以及设计的高通滤波器下限截止频率为 1 MHz,可求得 $\tau \approx 159.3 \text{ ns}$,查阅高速比较器资料知,比较器的输出延迟时间为 4 ns,所以总延迟时间大约为 163.3 ns。时间延迟误差可以通过软件的方法消除,即用每次测量的时间值减去上面计算得到的总延迟时间,可以去除粗大误差。由于测量结果不稳定,存在着随机误差,接下来将对系统进行标定。本文采用直线拟合算法通过测量 10 组不同距离的数据,找出实际测量值与真实距离值之间的关系^[6],研究并消除随机误差,提高测距精度。图 4 为在 MATLAB 软件中绘制的数据散点图,直线方程为:

$$y = 1.1231x - 0.0457 \quad (3)$$

式中, x 为实际测量值, y 为真实距离值,单位为 m。

在实际测量中,将实际测得的距离值带入式(3),可以求出修正后的距离值。

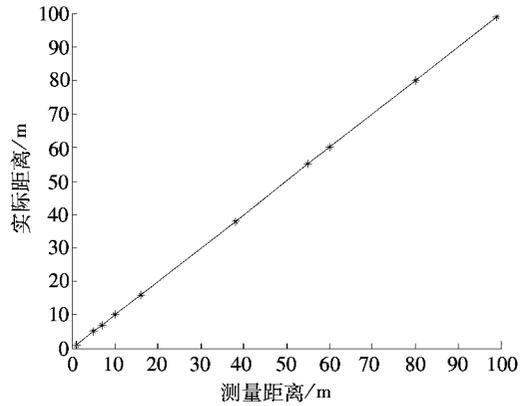


图 4 数据散点图

Fig. 4 Scatter plot of data

5 测距结果与分析

表 1 为标定后的系统测距结果。由表中数据可知,通过多次测量取平均值后,测量误差在 $\pm 1 \text{ cm}$ 左右,故通过多次测量取算术平均值,可有效降低测量误差,提高测距系统的测距精度。

表 1 测距结果

实际距离	Table 1 Measurement results						
	测量距离		平均值		平均误差		m
1	1.012	1.008	0.993	0.989	1.011	1.003	0.003
5	5.011	5.012	4.987	4.995	5.009	5.003	0.003
10	10.013	10.012	10.013	9.985	10.014	10.007	0.007
15	14.986	14.992	14.987	15.011	15.016	14.998	-0.002
20	20.012	20.014	19.988	19.989	20.015	20.004	0.004

6 结论

本文详细介绍了激光测距系统的设计,并将时间转换数字技术应用到时间间隔测量中,采用直线拟合算法和多次测量取平均的方法提高了系统的测距精度。实验证明该测距系统结构简单、成本较低、精度较高,能够满足对电厂燃料堆测量的要求。