

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.018

基于高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 的脉冲激光引信定距系统

宋娜^{1,2}, 邓甲昊^{1,2}, 崔静²

(1. 北京理工大学机电动态控制重点实验室, 北京 100081; 2. 北京理工大学机电学院, 北京 100081)

摘要: 针对传统定距方法目前不能满足脉冲激光引信中近距离高精度定距要求的问题, 设计一种基于高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 的激光引信定距系统。首先介绍 TDC-GP2 的工作原理, 并阐述其在脉冲激光测距中的应用方法, 最后给出系统的硬件设计和软件方案, 并进行实验分析。实验结果表明, 该测量方法测量精度可达到 65 ps, 能满足脉冲激光测距系统中的精度要求。

关键词: 脉冲激光引信定距系统; TDC-GP2 应用; 高精度定距

中图分类号: TJ430.6⁺3 **文献标志码:** A

Distance System of Pulse Laser Fuse Based on High Precision Interval Measurement Chip TDC-GP2

Song Na^{1,2}, Deng Jiahao^{1,2}, Cui Jing²

(1. Key Laboratory of Electromechanical Dynamic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. School of electromechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Because the traditional distance methods can not meet the requirements of high precision in the condition of short distance, a distance system based on high precision interval measurement chip TDC-GP2 is designed in the paper. At first, the working principle of TDC-GP2 is introduced, and then application methods in the distance system of pulse laser fuse are discussed. At last, the hardware and software design of the system are introduced, and the experimental analysis are carried out. Experimental results proved that the highest measurement accuracy was about 65ps. The method can satisfy the accuracy requirement.

Key words: distance system of pulse laser fuze; application of TDC-GP2; high precision measurement

0 引言

因为具有峰值功率高、探测距离远、测距精度高、对光源相干性要求低等优点, 脉冲激光测距在激光引信中得到了广泛应用。在脉冲激光引信的测距系统中, 需要对激光在大气中的传播时间进行测量, 从而计算出激光运行的往返路程^[1]。由于光在大气中的传播速度约为 3×10^8 m/s, 当测量范围为几米, 测距精度要求达到厘米量级时, 激光脉冲往返的时间间隔必须精确到 100 ps 以内。如果依靠传统的测量方法——直接计数法^[2], 计算时间间隔内时钟周期的个数, 当精度要求为 1 ns 时, 系统的时钟频率至少为 1 GHz, 这大大增加了电路设计的难度。

ACAM 公司生产的一款高精度时间间隔测量芯片 TDC-GP2 利用延迟线插入法测量时间间隔, 其精度可达到 65 ps。TDC-GP2 具有更高的精度和更小的封装, 尤其适合低成本的工业领域^[3]。本脉冲激光引信测距系统采用 TDC-GP2 芯片测量发射和接收脉冲之间的时间间隔; 因此, 笔者采用

c8051f120 单片机进行控制。

1 TDC-GP2 的工作原理

TDC-GP2 主要由 TDC 测量模块, 16 位算术逻辑模块 (arithmetic logic unit, ALU), 温度测量模块以及 4 线 SPI 串行数据接口组成, 具有最高 1 MHz 的连续数据输出; 并且可通过配置内部寄存器, 设置 TDC-GP2 的测量范围、信号触发方式等, 使用户能够对该芯片进行灵活应用。TDC-GP2 芯片利用的是时间数字转换法的测量原理^[4], 即将携带时间信息的模拟信号转化为数字信号。TDC 是以信号通过内部门电路的传输延时来进行高精度时间间隔测量的。它计算了在一定的时间间隔内 Start 测量信号在延时单元中通过反相器的个数, 利用信号通过逻辑门的绝对时间延迟来精确量化时间间隔。图 1 显示的是这种测量绝对时间 TDC 的主要架构。

当系统初始化结束后, Start 信号有效时, TDC 启动精细计数器单元和粗值计数器单元, 开始计数。当接收到 Stop 信号时, Stop 通道里面的寄存器就会记录下 Stop 信号进入 TDC 时 Start 信号经过反相器

收稿日期: 2012-05-16; 修回日期: 2012-06-07

作者简介: 宋娜(1987—), 女, 山东人, 在读硕士研究生, 从事传感与机电控制研究。

的个数。锁存器里保存的数据将作为精细计数部分的结果。Start 信号和 Stop 信号之间的参考时钟有效沿的个数将作为粗值计数器的结果, 表示 Start 信号在环形延时线中所走过的圈数。由 2 个计数结果和单个非门的延迟时间可计算出一次测量的时间间隔。芯片的最大测量精度基本上由芯片内部门电路的最大传播延迟时间决定。

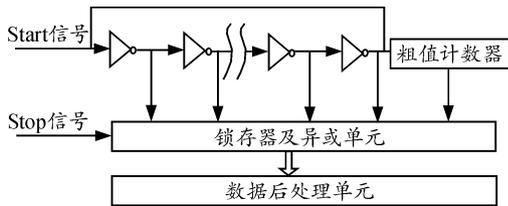


图 1 TDC 测量原理示意图

2 TDC-GP2 激光测距原理分析

运用 TDC-GP2 芯片的激光测距基本原理如图 2 所示: 由单片机控制激光发射电路发射光脉冲, 该激光脉冲有一小部分能量透过分光镜直接送到接收系统, 输入到 TDC-GP2 的 Start 端口, 触发 TDC-GP2 开始计时。大部分光脉冲能量射向待测目标, 经过目标漫反射回来的信号被接收电路接收, 输入到 Stop 端口, 时差测量完成。通过 SPI 通信, 单片机对 TDC-GP2 进行寄存器配置以及时间测量

控制, 时间测量结果传回给单片机进行距离的精确计算, 用于后续处理^[5]。

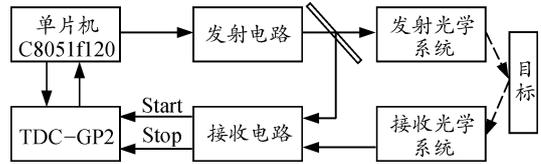


图 2 TDC-GP2 激光测距原理框图

本脉冲激光引信测距系统测距范围为几米, 往返时间在几十纳秒左右。对于 TDC-GP2 而言, 芯片具有 2 个测量范围, 测量范围 1 和测量范围 2。范围 1 的测量范围为 0~1.8 μs, 范围 2 的测量范围为 500 ns~4 ms。根据本系统的需要, 下面对测量范围 1 做重点介绍。

在测量范围 1 中, Stop1、Stop2 共用一个 Start 通道, 每个通道的典型分辨率可达到 65 ps; 对间隔脉冲具有最小 15 ns 的分辨率; 每通道可进行 4 次采样, 并且可通过寄存器配置选择计算任意 2 个采样之间的时间间隔; 输入信号可选择上升沿、下降沿单独触发, 或者上升沿和下降沿同时触发; 测量范围可达 20 位, 测量结果可选择校准(32 位)和非校准(16 位), 时间测量原始数据储存在 TDC 内部。

3 时间测量系统硬件电路设计

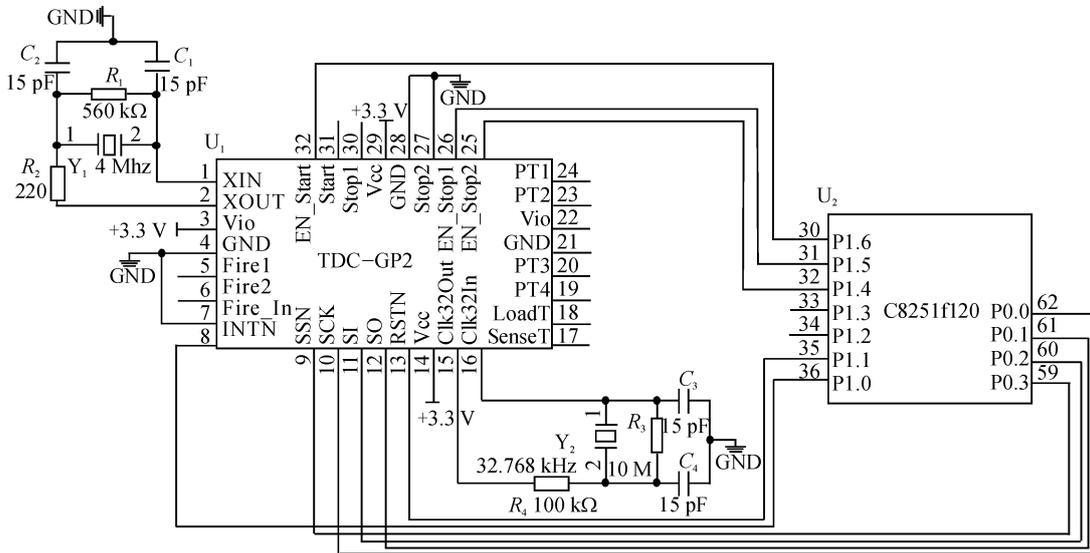


图 3 单片机与 TDC-GP2 连接的电路原理图

基于 TDC-GP2 的脉冲激光引信时间测量系统的硬件连接如图 3 所示。图 3 中, TDC-GP2 的应用需要 2 个外围晶振, 分别为 4 MHz 和 32.768 kHz, 32.768 kHz 作为基准时钟用来控制高速时钟和进行时钟校准用, 2 个晶振按图示接入电路中。管脚 Vio 和 Vcc 接 3.3 V 电源。Fire_In、GND、Stop2 管脚接

地。本系统使用新华龙公司的 c8051f120 芯片对 TDC-GP2 进行寄存器配置和时间测量控制^[6]。TDC-GP2 的 SPI 口(SSN、SCK、SI、SO)与单片机的 SPI 口(c8051f120 单片机的 P0.0、P0.1、P0.2、P0.3 被设置为 SPI 口)对应相连, 进行数据通信。管脚 RSTN 和 INTN 连接至单片机的 I/O 口, 分别作为

复位信号输入和中断信号输入。EN_Start、EN_Stop1、EN_Stop2 与单片机的 I/O 口相连，控制 Start、Stop1、Stop2 的使能。发射电路控制激光发射器发射脉宽 20 ns 的脉冲，Start 和 Stop1 由接收电路提供，Start 启动测量，Stop1 停止测量。其他管脚悬空。

4 系统软件设计

系统软件设计包括单片机和 TDC-GP2 的初始化和测量过程的控制。程序采用 C 语言编程，使用 keil 软件进行调试。系统软件流程图如图 4 所示。

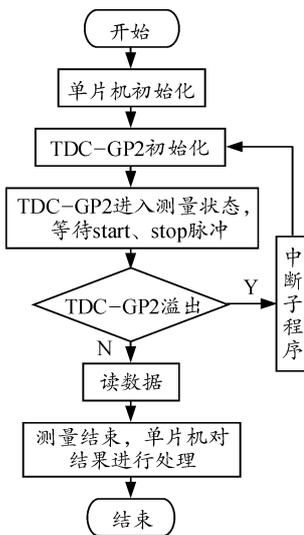


图 4 系统软件流程图

单片机的初始化包括系统时钟的设置，端口的设置和 SPI 通信的设置。系统时钟由 PLL 锁相环提供，通过倍增外部时钟源使系统时钟达到 100 MHz。端口和 SPI 的配置要满足单片机与 TDC-GP2 通信的要求。TDC-GP2 的初始化是通过 SPI 通信完成的，在它的寄存器配置结束之后，即可由单片机向 TDC-GP2 芯片发送开始信号，启动测量。当 Stop 信号到达时，由 TDC-GP2 中 ALU 单元处理数据，计算出 2 个信号的时间差。

TDC-GP2 寄存器配置和测量程序如下所示。

```

//TDC-GP2寄存器配置程序
void tdc_init()
{
write_spi8(0x50);
//TDC-GP2上电复位
write_spi32(0x80000420);
//使用测量范围1, 自动校准

```

```

write_spi32(0x81014100);
//设置通道脉冲个数为1, 定义计算方法
write_spi32(0x82E00000);
//开启所有中断
write_spi32(0x83000000);
write_spi32(0x84200000);
write_spi32(0x85080000);
}
//TDC-GP2测量程序
void measurement()
{
write_spi8(0x70);
//发送初始化代码, GP2进入测量准备状态
while(!INTN);
write_spi32(0xb4);
//发送命令读状态寄存器
read_spi32(STAT);
if (STAT&0x0600==0)
{
write_spi32(0xb0);
//发送命令读结果寄存器0的值
read_spi32(reg0);
}
}

```

单片机通过 SPI 通信读取数据后，可以对数据进行处理，计算出距离，并判断是否在起爆范围之内。

5 实验结果及分析

测试电路按照如图 3 所示的硬件电路图连接，TDC-GP2 芯片的 Start 和 Stop 信号由单片机 I/O 口提供。本测试电路中单片机使用新华龙公司的 c8051f120 芯片，其最大时钟频率为 100 MHz，通过配置单片机的定时器，单片机可提供时间间隔确定的 Start 信号和 Stop 信号。TDC-GP2 芯片选用测量范围 1，使能测量 Start 和 Stop1 通道的脉冲时间间隔，每个通道进行一次采样，上升沿触发。TDC-GP2 芯片测得的数据可与标准值比较，计算它的测量误差。

测量中设置定时器的时间间隔为 20~310 ns 共 30 组数据，每组各测量 2 000 次，得到的部分测量数据如表 1 所示。由表 1 可知，经校准之后的单次测量值与实际值之间的相对误差甚小。