

# 基于 MSP430 的便携式光纤断点寻测仪的设计

陈德智

(华东师范大学 电子科学技术系, 上海 200241)

**摘要:** 介绍一种便携式光纤断点寻测仪, 采用单片机 MSP430 作为处理器。介绍了测试仪的工作原理及测试仪中采用的关键技术, 并给出了最终设计结果。该寻测仪测量精度优于 3m, 最大测量距离 50km, 仪器体积小、重量轻、成本低。

**关键词:** 光纤; 菲涅尔反射; MSP430; 测量; 数字信号处理

**中图分类号:** TM930

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-2394(2009)03-0001-03

## The Design of Optical Fiber Fault Locator Based on MSP430

CHEN De-zhi

(East China Normal University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** A kind of Optical Fiber Fault Locator based on MSP430F1611 is introduced. The key techniques in the Locator are described. The experiment results show that the precision of the Locator is better than 3m and the farthest distance is 50km. The Locator is small, light and cheap.

**Key words:** optical fiber; Fresnel reflection; MSP430; measure; DSP

### 1 测量原理

光在光纤中传输时, 由于光纤材料中折射率的不均匀, 会产生各向同性的瑞利(Rayleigh)散射, 此散射光必有一部分沿光纤返回到光的注入端, 同时, 在光纤的末端或故障点, 由于折射率突变, 会有较强的菲涅尔(Fresnel)反射光, 此反射光也会沿光纤传到光的注入端。光纤断点寻测仪就是利用光纤故障点的菲涅尔反射光返回的时间来推算出故障点的位置。

原理框图如图 1 所示。半导体激光器发出脉冲光, 入射到光定向耦合器后, 经光纤接头(FC)进入被测光纤, 由光纤末端反射回来的光再经光定向耦合器耦合到光探测器, 在探测器中, 光转变成电信号, 此信号放大后送入比较器, 由比较器送出的已是数字信号(只有高电平或低电平)。此数字信号再送入数字信号处理器中进行数据处理, 检测出光脉冲在光纤中传输用的时间  $t$ , 根据时间  $t$  可以算出光纤的长度  $L$ 。

$$L = (1/2) Ct/n \quad (1)$$

式中:  $C$  为真空中光速;  $n$  为光纤群折射率;  $t$  为初始发射脉冲与返回光信号的时间间隔。

因为光传输经过往返两次, 故计算光纤长度时乘以系数(1/2)。

### 2 测试仪中的关键技术

#### 2.1 基于 MSP430F1611 的 MCU 技术

出于便携式设备的低功耗要求考虑, 采用 TI 公司 16 位低功耗单片机 MSP430F1611 芯片作为主控 MCU, 控制整个系统各部分模块的正常运行。

TI 公司的 MSP430 系列单片机是一种超低功耗的混合信号控制器, 其中包括一系列器件, 它们针对不同的应用而由各种不同的模块组成。具有 16 位 RISC 结构, CPU 中的 16 个寄存器和常数发生器使 MSP430 微控制器能达到最高的代码效率; 灵活的时钟源可以使器件达到最低的功率消耗; 数字控制的振荡器(DCO)可使器件从低功耗模式迅速唤醒, 在少于  $6\mu s$  的时间内激活到活跃的工作方式。

#### 2.2 大功率 LD 脉冲激光器应用技术

光纤寻障仪是靠光纤末端的反射光来判断光纤故障点的, 在实际应用中, 光纤的断面有时候比较平, 这时候反射的光信号就比较强, 有时候光纤断面不平, 而

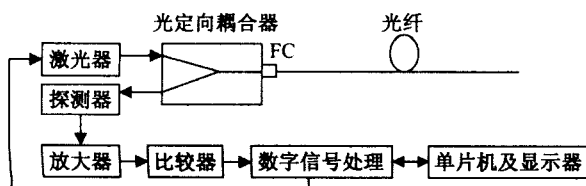


图 1 光纤寻障仪原理框图

收稿日期: 2008-10

作者简介: 陈德智(1964—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电子测量仪器的研发工作。

且断面上还可能有灰尘,这时候反射回来的光就比较弱,如果光纤比较长,反射回来的光就会非常微弱,这时候检测就非常困难,所以,光纤寻障仪所用的激光器,应具有较大的输出功率。根据激光器的特性,输出功率与驱动电流呈比例,故大功率激光器驱动电流较大,驱动电路必须具有较大的驱动能力,一般为了测量50km以上的光纤,采用的激光器脉冲输出功率应达到50mW以上,相应的脉冲驱动电流要达到700mA以上。

### 2.3 APD 驱动及其反向偏压的温度补偿技术

在图1中,由光纤末端反射回来的光,要经过光探测器变成电信号,以便进行后续处理,光探测器有两种,其一是PIN光电管,其二是APD。由于APD具有电流倍增的作用,在输入光相同的情况下,APD的输出电流是PIN管的几十倍,甚至上百倍,所以仪器中采用APD。APD在应用时应注意如下几个问题:

(1) 反向击穿电压,APD在工作时必须加反向偏压,反向偏压有一个极限值,称为反向击穿电压,超过此值,APD将烧毁。

(2) APD的倍增因子与反向偏压有关,反向偏压越大,则倍增因子越大,为了获得最大的倍增,应使反向偏压尽量接近反向击穿电压。

(3) APD的反向击穿电压受环境温度影响很大,所以必须采用温度补偿技术,来调整APD的反向偏压,以便在不同的环境温度下都能获得最佳倍增因子。

本仪器中采用的补偿电路如图2所示。变压器T1的初级和电容C2及三极管Q1构成振荡回路,此信号经变压器T1后成为高压,在经D2整流和C1滤波后成为直流的反向偏压 $V_B$ ,另一方面, $V_B$ 经电阻R4和R5分压反馈到比较器Q2的一个输入端,比较器的另一个输入端是参考电压,图2中的D1是稳压二极管, $R_t$ 是热敏电阻,适当选取R1、R2、R3、 $R_t$ 可以获得恰当的APD反向偏压并实现对APD反向偏压的温度控制。

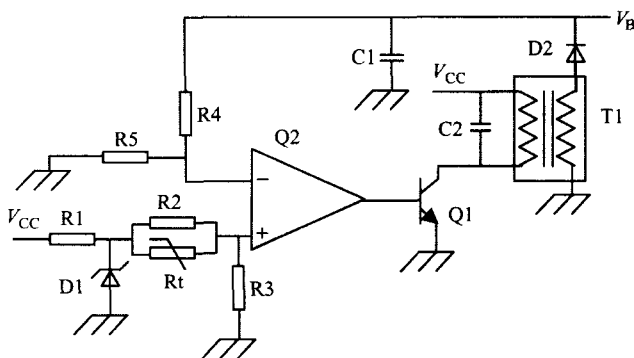


图2 APD 反向偏压温控电路

### 2.4 宽带低噪声前置放大技术

由于光纤末端反射回来的光是非常微弱的,通常在-70dBm以下,转换成电流后,电流值在0.01 $\mu$ A以下,考虑到APD的倍增因子,倍增后电流也在1 $\mu$ A以下,所以本项目中采用跨阻抗放大器,并选取低噪声器件及精心进行PCB设计,将此微弱的电流转换成电压。

### 2.5 信号数字化技术

图1中由放大器输出的信号是一个脉冲信号,此信号送入比较器,与一个固定的参考电平进行比较,只要脉冲幅值高于参考电平,比较器就送出高电平,否则送出低电平,这样一来,可以使得信号数字化,便于后面用FPGA进行处理。

### 2.6 从噪声中提取信号技术

图1由比较器送入数字信号处理器(FPGA)中的信号已是数字信号,本来,在理想情况下,只要用计数器统计出接收脉冲与发送脉冲之时间差,即可得出光纤故障点的位置,但是,由于噪声的存在,实际上在信号进入比较器时,就已经存在许多噪声,因此经过比较器进入数字信号处理器的信号,除了接收到的有用信号外,还有大量的噪声脉冲,必须从噪声中辨别出真正的信号。

辨别噪声的基本思想是利用信号的周期性和噪声的随机性。如图3,假设我们发送一个光脉冲信号到光纤,那么,光纤末端就会有一个光脉冲反射回来。由于噪声的存在,数字信号处理器收到的电信号如图3(b)所示,图中除了有光纤末端反射的“收脉冲”外还有若干噪声脉冲。如果再发一次光脉冲,那么,收到的电信号就如图3(c)所示,“收脉冲”与发送的光脉冲之时间差与图3(b)相同,但噪声出现的时刻并不相同。

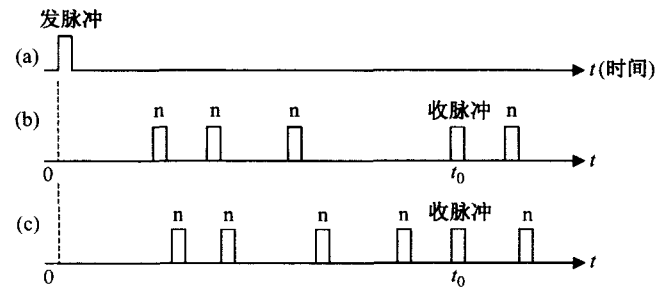


图3 接收脉冲与噪声(n:噪声)

在处理器中,设置一个采样器对接收到的信号进行采样,采样从发送端发送脉冲开始,于是得到各个时刻的信号值,当然,采样值只可能是数字化的1或者0,如果有脉冲,则采到的就是1,反之采到0,之后,将采到的各个点的值存储起来。然后,再发送一次光脉

冲,再重复上面的采样和存储过程。不断进行上面的采样和存储过程,共重复 254 次,得到 254 组值,然后再将这 254 组值对应点相加,那么,在“收脉冲”对应的点上,由于每次都有信号,累加的结果应为 254,而在其他点上,由于噪声的随机性,累加的结果远小于 254,于是可以根据这一特点,将信号点辨别出来。当然,在实际设计时,如果光纤太长,而光纤端面反射又很少,则接收光脉冲很弱,“收脉冲”有可能被噪声淹没,所以在“收脉冲”对应点上,累加的结果可能不到 254,但只要信噪比足够大,此点的累加数总是大于其他点的数值。

### 2.7 循环累加及 FPGA 中的流水线技术

在上一项技术中,要进行数据处理,数据量是很大的,如果是 50km 的光纤,每 2m 采样一次,则采样点数是 5 万点,每点采样 254 次,总数据是 1270 万个,这么多数据全部存储起来再进行计算,硬件上是无法做到的,要采用循环累加及流水线技术,其原理如图 4 所示。

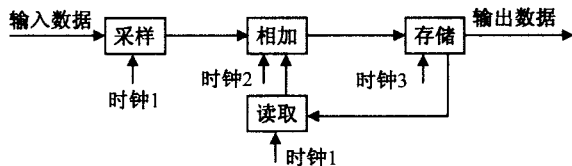


图4 循环累加及流水线技术

如图 4,在时钟的第 1 个周期,对输入的数据进行采样,并读取存储器中的数据,在时钟的第 2 个周期对两个数据相加,在第三个周期将加的结果送入存储器的同一单元,用来代替原数据,这样就完成一次循环累加。另一方面,在时钟的第 2 个周期,采样器则可对下一个数据进行采样,在时钟的第 3 个周期,采样器和累加器也在分别处理前 1 和前 2 个周期的数据,这样使得在每个时钟周期,所有部分都在工作,而不会处于等待状态,这就是流水线技术。

### 2.8 测试分辨率

在光纤断点寻测仪中,对光纤断点的定位是靠检测断点返回的脉冲上升沿,检测分辨率则取决于数据采样时钟的频率,时钟频率越高则分辨率越高,但响应的采样点越多,数据处理的工作量越大,总的测量时间就越长。根据式(1),分辨率可以如下计算:

$$\Delta L = (1/2)CT/n \quad (2)$$

式中  $T$  是采样时钟周期,若  $T = 10\text{ns}$ ,即采样时钟为 100MHz,则可以算得分辨率约 2m。

### 2.9 测试盲区

如图 1 所示,测试仪输出端有一个 FC/PC 接头,被测光纤就是通过此接头连接到仪器上,测试仪输出

激光通过此接头注入被测光纤,由于连接器内不可避免会有间隙,此间隙将造成很强的反射,该反射光也会被光电探测器检测到,并且也会被放大器放大,而且由于信号很强,放大器会饱和,直到反射信号结束后一段时间,放大器才能恢复正常工作,所以,从连接器(FC)开始,在相当一段距离内,光线的故障点是测量不出的,此段距离称为盲区。盲区大小,取决于连接器内间隙的大小、测试时激光器送脉冲的强度和宽度,以及放大器的增益和响应时间等因素。为了减小盲区,可以采取如下几个措施:

(1) 测试时被测光纤接头用 FC/PC 型的,以便与测试仪内的接头相配。

(2) 在测试仪中,将被测光纤看做是两段,对前端部分测量时,发射脉冲很窄,而且功率较小,后段可以用大功率宽脉冲。

(3) 放大器增益可以换档,对光纤的前段测量时,增益小,以便减小放大器的恢复时间。

### 2.10 电源控制技术

作为简便的测试仪器,其要点一是要有适合需要的功能指标,另外还要尽量降低成本,减小功耗。为此,我们在测试仪器中采用低功耗低成本的单片机 MSP430,另外还对测试电路中的各个部分采用电源控制技术,在仪器处于待机状态时,大部分电路都处于关电状态,仅当仪器测量键被按下时,才开启,测试结束后立刻自动关闭。

## 3 实验结果

采用上面所述的技术,作者研制出 KL630 型手持式光纤断点寻测仪,其主要技术指标如下:(1)光源波长 1550nm;(2)测量光纤类型 适用于 G652 单模光纤;(3)测量精度 优于  $\pm(3\text{m} + \text{光纤长度} \times 0.1\%)$ ;(4)最大测量距离 50km;(5)显示分辨率 1m;(6)测量盲区 100m。

### 参考文献:

- [1] 阎继送. 高性能微型光时域反射计技术研究[D]. 合肥工业大学,2006.
- [2] 李立功. 大动态范围光时域反射计技术[J]. 电子设计技术,1998,(5).
- [3] 梁爽,王怀江. OTDR 事件分析和故障判断的研究与实现[J]. 光通信技术,2007,(1).
- [4] 刘增基,周洋溢,等. 光纤通信[M]. 西安电子科技大学出版社,2001.
- [5] 谢兴红,林凡强,吴雄英. MSP430 单片机基础与实践[M]. 北京航空航天大学出版社,2008.

(许雪军编发)