

· 电路与控制 ·

瑞利后向散射信号硬件解调电路设计

刘静¹, 乔学光^{1,2}, 尉婷¹, 高宏¹, 冯宏飞¹

(1. 西安石油大学 光电油气测井与检测教育部重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 西北大学, 陕西 西安 710069)

摘要:光时域反射仪(OTDR)在光纤系统的测试中具有十分重要的作用,如何提高其分辨率和动态范围已经成为研究的一个难点^[1-3].为了使设计的解调系统达到对测量精度和动态范围的要求,采用 Xilinx xc3s400 和 USB 单片机为主要的核心器件,分别完成对 A/D 的采样、通信等功能,A/D 采用 12 位 150 Mbps 高速采样芯片完成对被测量的量化;通信方面以 USB 通信方式,以实现采集数据与 PC 机之间的数据传输.数据传输率达到 30 M 以上.在 PC 机开发可视化图形界面完成数据的处理和结果的显示.

关键词:光纤;解调;瑞利散射信号;xc3s400

中图分类号:TN763

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)05-0058-03

Design of Demodulating Circuit for Rayleigh Backscatter Signal

LIU Jing¹, QIAO Xue-guang^{1,2}, WEI Ting¹, GAO Hong¹, FENG Hong-fei¹

(1. Key Laboratory of Photoelectricity Gas-oil Logging and Detecting, Ministry of Education Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 2. Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract:Optical time domain reflectometer plays a very important role in the test of optical fiber system, how to improve its resolution and dynamic range has become a difficulty. In order to make the designed demodulation system to achieve the requirements for measuring accuracy and dynamic range, the Xilinx xc3s400 and USB singlechip were adopted as the main core device, the functions such as A/D sampling and communications were completed respectively, A/D takes 12 150 Mbps fast-sampling chips to accomplish the quantization of the measurement. Communications are realized in USB communication mode, in order to realize data collection and data transfer between PC. A data transfer rate reached over 30M. In developing visual graphic interface PC complete data processing and results.

Key words: fiber; demodulator; rayleigh backscatter signal; xc3s400

光时域反射仪是表征光纤传输特性的测量仪器,它向光纤中探测光,探测光在光纤中传输时,光纤折射率的微小起伏可引起瑞利散射,光纤端面或故障点折射率突变会引起菲涅耳反射,OTDR 通过观察瑞利后向散射光强度变化和菲涅耳反射,即可从光纤的一端非破坏性地迅速探测光纤的特性,显示光纤沿线损耗分布特性曲线,并测试光纤的长度、断点位置、接头位置、衰耗系数,链路损耗,接头损

耗,弯曲损耗,反射损耗等.文中根据 OTDR 工作所依据的后向散射理论,提出了以 Xilinx xc3s400 和 USB 单片机为主要的核心器件,采用高速的 12 位 $\Sigma - \Delta$ A/D 转换芯片确保信号采集的精度,提高动态范围.通过实验数据验证了该系统的高动态范围和高测量精度.

收稿日期:2010-10-08

基金项目:国家自然科学基金(60727004);国家 863 计划资助项目(2007AA03Z413);陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2009ZDKG-42);教育部科技创新工程重大项目(708087)

作者简介:刘静(1985-),陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为动态信息获取与综合应用技术.

1 瑞利后向散射理论

光在光纤中传输产生 2 种反射:一种是在光纤芯纵向上局部折射率跃变变化产生的菲涅耳反射光;另一种是由于材料不均匀产生的瑞利散射光.光纤本身的缺陷和掺杂组分的非均匀性,使得在光纤中传播的光脉冲发生瑞利散射.散射在整个空间中都有功率分布.当然也存在沿着光纤轴向向前或向后的散射,通常称沿轴向向后的瑞利散射为瑞利后向散射,它提供了与光纤长度有关的衰减细节^[4-5].

在光纤的测试端注入光脉冲,光脉冲传输过程中产生后向散射现象,后向散射光在光纤的导引下回到光脉冲的注入端,用光电探测器进行光电转换,经过一定的信号处理,就可获得后向散射光所携带的光纤链路的传输特性信息.通过对这些信息的处理就可以得到想要的测试数据.在此基础上提出了

FPGA 的信号采集及处理方法,其解调系统对 OT-DR 测量装置如图 1 所示.

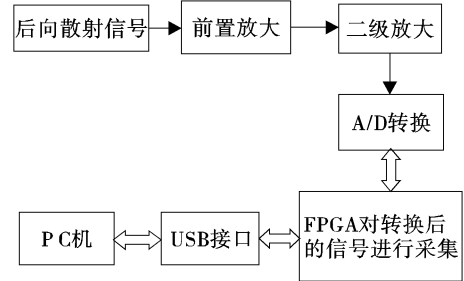


图 1 后向散射信号解调

2 解调系统电路设计

2.1 前置放大电路设计

前置放大电路的等效电路如图 2 所示.下面从两个方面来讨论运放的选型^[6-8].

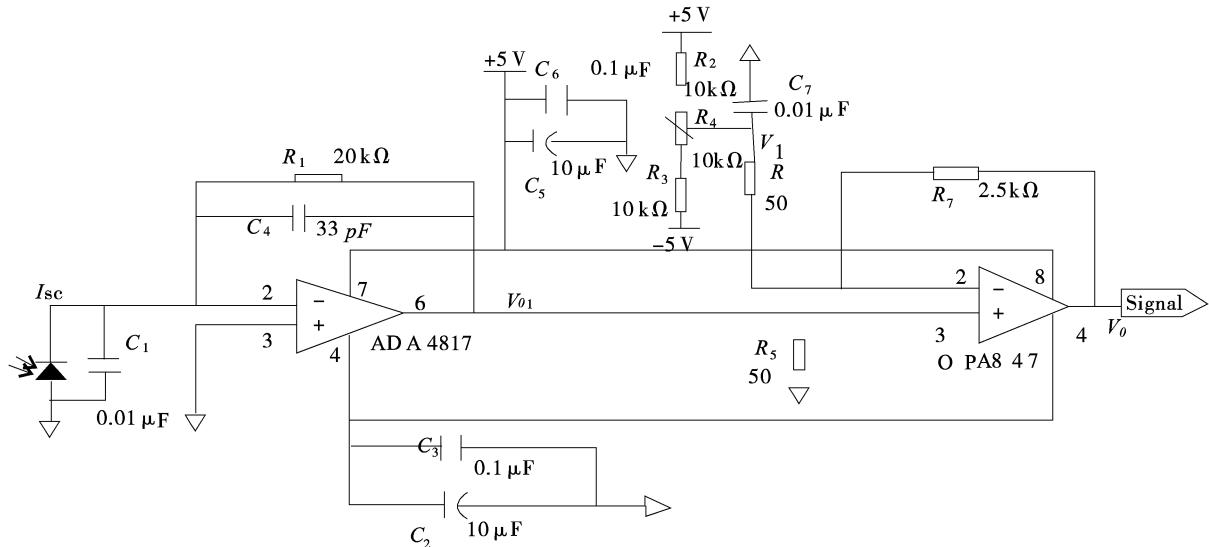


图 2 前置放大电路

影响电路性能的 2 个主要因素是:(1)运放 IB 的大小.(2)电路噪声的大小.

由于光电流信号比较小,因此要选择小 IB 的运放.比如 IB 在几个 pA 的数量级,例如是 2 pA,反馈电阻为 50 kΩ,则 IB 的噪声大小为 $V_{IB} = 2 \times 10^{-12} \times 50 \times 10^3 = 0.1 \mu V$.在后面的噪声计算中可以看出这个噪声可以忽略^[9-10].

2.2 OTDR 技术指标的计算

(1)近端瑞利散射信号的计算

通过计算在脉宽 $W = 20 \text{ ns}$ 时,被测光纤近端的后向散射信号功率比注入光功率低 66.27 dB.当输入功率为 1 W 时,近端散射功率为 $2.3597 \times 10^{-7} \text{ W}$,即 $0.23647 \mu W$.(计划做输入为 1 W 的).100 km 处的后向散射功率为 33.486 nW.近端散射功率转化到 V 级别的电压:一级和二级放大倍数均为 1 000 倍.一级放大: $0.23647(\mu W) \times 8.5 \times 1000 = 2.01(\text{mV})$;二级放大: $2.01(\text{mV}) \times 1000 = 2.01(\text{V})$.远端散射功率转化为电压: $33.4866(\text{nA}) \times 8.5 \times 1000.000 = 0.2846361(\text{V})$.最小探测电压: $0.1(\text{nA}) \times 8.5 \times 1$

000,000 = 0.000 85(V) (就是所要求的 ΔV) 采用 12 位的 AD, AD 的输入电压为 0~2 V: 最小的分辨电压: 0.000 488 281(V) 则可以分辨出最小的事件.

(2) 数据量计算

光纤长度为 10 km. 光在光纤中的传播速度为 2×10^8 m/s. 一个光脉冲从打进光纤到返回入射端所需要的时间: $t = \frac{2 \times 100(\text{km})}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1(\text{ms})$. AD 的采样率为 100 MHz. 即 10 ns 采一个点, 则一个光脉冲从发射到返回所需采样点数为 $\frac{1(\text{ms})}{10(\text{ns})} = 1\,000,000$ (个). 如果以 1 000,000 个点计算, 分辨率为 $10(\text{ns}) \times 2 \times 10^8 = 2(\text{m})$. 用 12 位的 AD 采集数据, 需要的数据存储空间为 2 000 k.

系统的误差是因为放大器 LMH6611 的放大稳定建立时间是 100 ns, 比较电路的芯片延时是 3.5 ns, 所以总的延时为 103.5 ns. (这些时间参数是芯片资料上查到的). 刚开始无法测量的长度为: $103.5(\text{ns}) \times 2 \times 10^8 \text{ m/s} = 20.7(\text{m})$.

3 实验结果及分析

(1) 动态范围

动态范围通常定义为: 始端的后向散射功率与噪声的峰值功率间的 dB 差.

$$R = \frac{1}{2} \times 10 \lg \left(\frac{p_s(0)}{p_n} \right) = 5 \lg \left(\frac{p_0 \tau \eta}{p_n} \right) \quad (1)$$

式中, p_n 为接收灵敏度, η 为后向散射因子.

$$p_n = 28 \text{ pW} \quad p_0 = 1 \text{ W} \quad \tau = 20 \text{ ns} \quad \eta = 10$$

$$R = 5 \lg \left(\frac{p_0 \tau \eta}{p_n} \right) = 5 \lg \left(\frac{1 \times 20 \times 10^{-9} \times 10}{28 \times 10^{-12}} \right) \approx$$

20 dB

(2) 分辨率

通常所说的分辨率就是空间分辨率, 它和测量脉冲宽度、折射率参数有关.

$$l = \frac{1}{2} v_g \tau \quad (v_g \text{ 为群速度, } \tau \text{ 为脉宽}) \quad (2)$$

$$l = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^8 \times 20 \times 10^{-9} = 2(\text{m})$$

4 结 论

从光纤发展的速度和需求程度来看, OTDR 将会大幅度地得到发展, 其功能会越来越强大, 最终会成为一种大众化的基本测试仪器. 由于对瑞利后向散射信号的研究, 文中采用前置放大电路以采用 AD624 作为二级放大, 高密度和高存储性能的 Xilinx xc3s400 以及 12 位高精度的 AD9627 作为信号采集芯片对微弱的光信号进行处理, 从而提高系统的解调速度.

参考文献

- [1] 殷晓亮. OTDR 的原理及使用技巧[J]. 有线电视技术, 2010, 244(4): 111 - 113.
- [2] 强冰, 王春勇. 高速光时域反射仪的研制[D]. 2010, 31 - 35.
- [3] 闫继送, 胡鹏浩, 胡为良, 等. 高性能微型光时域反射计技术研究[D]. 合肥工业大学, 2006: 13 - 14.
- [4] 范登华, 刘永智. 一种具有迈克尔逊结构的新型光时域反射仪[J]. 红外, 2009, 30(6): 35 - 38
- [5] 冯杰, 周晓军. 窄泵浦脉冲对布里渊光时域反射仪测量精度的影响[J], 2009, 30(4): 29 - 31.
- [6] 贾振安, 张磊, 乔学光, 等. 光纤栅传感信号解调关键硬件电路的实验研究[J]. 光电子·激光, 2008, 19(3): 15 - 317.
- [7] 冀大雄, 陈孝楨, 刘健, 等. 一种低功耗微弱信号放大电路的优化设计与研究[J]. 电子器件, 2008, 31(4): 1302 - 1306.
- [8] 冯宏飞, 乔学光, 贾振安, 等. 基于嵌入式 ARM-Linux 的 OTDR 信号采集与处理系统[D]. 西安石油大学, 2010: 16 - 18.
- [9] 张赞, 何伟明. 微弱光信号的低噪声布里渊放大的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2009: 12 - 17.
- [10] 吴晨平, 永智. 基于 DSP 的 OTDR 信号处理[D]. 西安电子科技大学, 2007: 36 - 38.

声 明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊, 并加入中国光学期刊网, 建立了《光电技术应用》期刊网站, 所刊载的文章在国内外数据库检索机构(包括纸板、光盘版、网络版)及光学期刊网与本刊网站报道时, 不再征求作者意见. 稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给, 并赠送当期样刊两份. 如作者不同意文章被收录, 请在来稿时向本刊声明, 本刊将做适当处理.