

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2020.04.013

基于光纤多源扫描定位的液漏传感器控制系统设计*

姚嘉迪¹, 侯钰龙¹, 潘雨聪¹, 苏一鸣², 杨水旺²

(1. 中北大学电子测试技术国家重点实验室,太原 030051;2. 北京振兴计量测试研究所,北京 100074)

摘 要:介绍了一种准分布式的液漏传感装置。利用POF光纤和LED灯带实现光纤多源扫描定位检测。利用SM16703P设计LED灯带供电及控制电路,以实现低成本、高实时性的漏水检测和漏点定位。

关键词: 光纤通信技术;液漏传感;耦合;串行通信

中图分类号: TN256;TH741;TP216.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2020)04-0308-06

Design of Liquid Leakage Sensor Control System Based on Multi-source Scanning and Positioning of Optical Fiber

YAO Jiadi¹, HOU Yulong¹, PAN Yucong¹, SU Yiming², YANG Shuiwang²

(1. *Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, North University of China, Taiyuan 030051, CHN*;2. *Beijing Zhenxing Metrology Testing Institute, Beijing 100074, CHN*)

Abstract: A quasi-distributed liquid leakage sensing device were introduced, which used POF optical fiber and LED light belt to realize the detection of multi-source optical fiber scanning positioning. The use of SM16703P was mainly introduced to design LED light belt power supply and control circuit, in order to achieve low cost, high real-time leakage detection and leakage location.

Key words: optical fiber communication technology; liquid leakage sensing; coupling; serial communication

引 言

液漏检测常用于管道运输^[1]、石油化工、电力设备、生产设施凝露及液体泄漏的检测,其对于生产运输安全,环境污染预防,电子设备防护等,具有极为重要的意义。

随着光纤技术的发展,由于光波在光纤中传输时,表征光波的特征参量会因外界因素的作用直接或间接发生改变,因此可用光纤作敏感元件来探测各种物理量。分布式光纤传感技术是根据沿线光波分布参量,获取在传感光纤区域内随时间和空间变化的被测量分布信息,以实现长距离、大范围分

收稿日期:2020-05-12

* 基金项目:面向物联网的区域漏水智能检测技术研究(201803D1211299041715580801542710)

作者简介:姚嘉迪(1999—),女,研究方向为电子科学与技术;(E-mail:409733126@qq.com)

侯钰龙(1984—),男,博士,高级实验师,从事光纤传感等方面的研究;(E-mail:hoyulong@nuc.edu.cn)

潘雨聪(1997—),女,研究方向为电子科学与技术。

布场中测量信息的提取。尽管分布式传感技术在测量范围、测量精度和空间分辨率上有很大优势,但随着探测范围和信息量的增大,探测精度和范围的局限性也相应增大^[2]。

2004年,R.M. López等通过在光纤上制作光纤布拉格光栅实现了一种准分布式的测漏传感器,泄露发生时,各光栅间光线上覆盖的一层对石油类物质敏感的聚合物遇油膨胀,光纤微弯引起部分导模转化为辐射模损耗掉,输出光强降低,空间分辨率为0.5 m^[3]。2008年 Daniele Inaudi等人提出一种基于拉曼与布里渊散射的分布式光纤管道测漏传感系统,在30 km长的检测距离内空间分辨率可达1 m^[4]。以分布式液漏测量为例,最有代表性的应用之一是海底输油管道的泄漏检测。当前成功得到应用的案例主要采用了背向散射分布式光纤传感技术。该技术主要利用瑞利散射、拉曼散射或布里渊散射^[5],需要将液漏转变为应力或温度场的变化,主要通过时域或频域分析的方式实现漏点定位,是目前最成功的光纤分布式测量技术^[6]。该类传感器实现液漏传感时,需要将液漏转化为形变、应力、温度等特定物理量的改变,受到橡胶、水结土、发泡硅胶等吸油(水)性增敏介质的溶胀速度和被测环境的温度传递速度,背向散射采样分析时间等限制,往往响应速度慢,导致该类传感器在测量液漏时的实时性不高。此外,大多数产品可以达到的空间分辨率为米量级,若要达到更高分辨率(厘米级),所需要的信号测量和数据处理过程更为复杂,因此需要很高的成本。

在液漏领域,基于光纤的液漏检测技术既能够获取液漏信息,又能实现分布式或准分布式漏点定位,具有广泛前景。但在实现高分辨率、低成本以及水下工作的环境方面有着很大限制。如储存液体化工原材料的储罐发生泄漏时,不仅会渗入土壤,还会挥发有害气体;既造成经济损失,也会威胁环境和人身安全。计算机机房等一旦发生漏水,可能会导致电路短路烧毁起火,还会造成数据丢失。在水下设备中也需要良好的水密性以防止海水入侵。

因此文中介绍了一种基于光纤多源扫描定位的准分布式的液漏传感器,利用POF光纤(聚合物光纤,Polymer Optical Fiber)和LED灯带构成光纤漏水敏感点,将液漏事件转化为折射率改变引起的输出光强的变化,再结合多源扫描定位法可以实现5 cm以下的高空间分辨率^[7],同时极大降低了成本。

文中主要介绍实现该液漏传感器的控制电路的硬件及软件设计。

1 光纤耦合结构漏水检测基本原理

基于光纤多源扫描定位的漏水检测装置如图1所示,展示了传感探头的配置。LED的发光部分是PN结二极管,每个LED由三个有着透明有机硅封装的二极管组成。该有机硅作为透镜可以调节发光强度的角度分布^[8]。 n_1 是有机硅的RI(折射率,Refractive Index),通过选择合适的RI可以改善LED的发光效率。将三个PN结二极管布置成倒置的等边三角形形状,矩形缺陷与其上面的两个二极管对齐,来自LED的灯光通过菲涅尔反射,部分耦合到POF光纤缺陷结构。当漏液事件出现,LED和侧耦合结构之间的环境介质折射率会增大,耦合光强随之增大,如图1,③为耦合区域是空气时的光线,④为耦合区域是漏液时的光线。这样就将漏液事件转化为输出光强的改变,从而实现实时监测,同时也能实现5 cm以下的高空间分辨率,大大降低了成本。图2为该液漏传感器示意图,相邻耦合结构间隔为5 cm。为实现该传感器功能,进行LED的控制电路设计。本实验所用的光纤是三菱SK40光纤和CK80光纤,SK40外径1 mm,CK80外径2 mm。

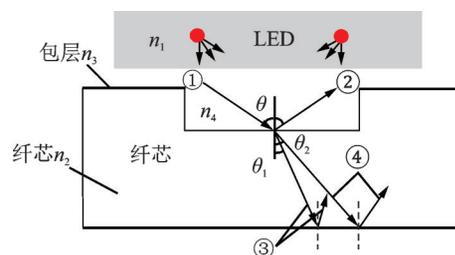


图1 具有单结构缺陷的传感探头示意图

Fig.1 Schematic of sensor probe with single structure defect

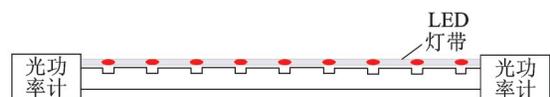


图2 液漏传感器示意图

Fig.2 Schematic of liquid leakage sensor

2 垂直耦合结构加工工艺研究

2.1 紫外激光加工工艺

采用德龙355 nm固态紫外激光器进行实验,出

射光斑经过聚焦约为 $80\ \mu\text{m}$, 频率、占空比均可手动调整。本实验选用光源类型为 LED, 输出波长为 $660\ \text{nm}$, 输出功率可调, 范围大致为 $0\sim 2\ \text{mW}$ 。通过调节激光脉冲频率和占空比来控制光耦合结构的耦合效率以及单结构插入损耗。

图 3 和图 4 展示了不同占空比下, 不同脉冲频率的激光对侧耦合率与插损的影响。

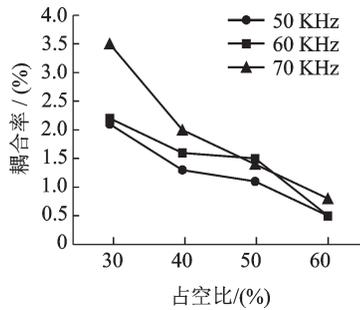


图 3 占空比与频率对侧耦合率的影响

Fig.3 The effect of duty cycle and frequency on side coupling rate

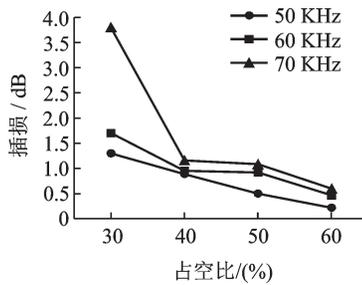


图 4 占空比与频率对插损的影响

Fig.4 The influence of duty ratio and frequency on insertion loss

通过实验数据可知, 占空比不变时, 频率与光栅的外部耦合率成正比; 频率不变时, 占空比与耦合率成反比; 且插损的变化和耦合率成正相关。因此判断光栅耦合效率是看耦合率与插损的比值, 耦合率和插损的比值越大, 光栅耦合效率越好。实验中出现几处不规律的结果, 是由于该参数刻出的光栅本身形态的问题, 比如不是完整条纹、光栅上有星星点点断裂等。

2.2 微型钻机加工工艺

实验采用微型钻机刻制凹槽, 经过实验发现, 光耦合率与凹槽深度有很大关系。

灵敏度定义为(1), 其中 P_s 和 P_s' 分别为液漏探头无泄漏与有泄漏时的输出功率, 由表 1 可以看出, 随着钻孔深度的增加, 灵敏度逐渐下降, 实验效果在 $1\ \text{mm}$ 光纤钻孔深度为 $0.2\ \text{mm}$ 时达到最佳灵敏度。



图 5 光纤光栅在 15 倍激光显微镜下形态

Fig.5 FBG morphs under a 15-fold laser microscope

$$S = \frac{P_s' - P_s}{P_s} \times 100\% \quad (1)$$

表 1 1 mm 光纤的钻孔结果 (光源功率 $260\ \mu\text{W}$)

Tab.1 Drilling results of 1 mm fiber (source power $260\ \mu\text{W}$)

深度/ mm	光纤端入射/ μW	滴水前/ μW	滴水后/ μW	灵敏度/ (%)
0.2	224	0.41	0.50	21.95
0.3	195	0.62	0.72	16.12
0.4	178	0.74	0.81	9.46
0.5	155	0.76	0.81	6.58

3 LED 控制系统设计

本设计的主要工作思路是基于 SM16703P 来控制灯带, 利用 VB 语言设计上位机程序, 主要利用的是 MSComm 控件来实现数据的传送, 可以将上位机的控制指令通过 USB 转串口, 以 RS232 信息流的方式传送到单片机, 从而灵活地控制灯带的工作, 达到跑马灯式的循环亮灯或者某个指定位置亮灯的技术指标。

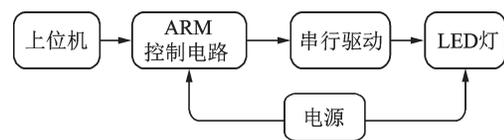


图 6 LED 控制系统总体设计

Fig.6 Overall design of LED control system

3.1 LED 驱动方式

为确保 LED 照明技术的不断发展, 需要选择合适的驱动方式。LED 驱动电源和使用寿命长短有直接联系, 若 LED 输出电压过大, LED 发光效率会下降, 缩短了其使用寿命, 还可能会击穿 PN 结。因此要提高对照明驱动的设计能力^[9]。LED 驱动方式主要有恒压驱动、恒流驱动、脉冲驱动等方式。

恒压驱动方式是为了保持 LED 两端的电压基

本恒定,LED的驱动电源为恒定电压驱动模式时,对驱动电源的恒压稳定性要求较高;恒流驱动方式意味着流过LED的电流基本恒定,恒流驱动方式克服了恒压驱动由于电阻值导致的亮度不均匀的缺点,它能保证LED的光通量和色温在一致的状态中,还能提高产品稳定性能;脉冲驱动在调光性能方面具有显著优势。

3.2 硬件设计

硬件设计部分包括电压转换部分、通信串口部分以及控制灯带部分。

3.2.1 电压转换部分

SM16703P芯片要求12V电压供电,采用12V的数字电源对其供电。通信串口外接电压是5V,因此需要12V转5V降压电路,通过查阅资料选择LM7805芯片。LM78XX系列是三端正电源稳压器,具有固定输出电压和1.5V的最大输出电流,热过载保护,短路保护和输出晶体管安全工作区保护。具体降压电路设计如图7所示。

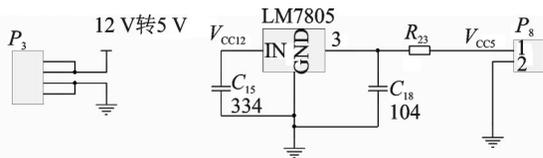


图7 12V转5V降压电路

Fig.7 12V to 5V buck circuit

通信串口USB输出电压为5V,STM32系列需要3.3V电源,因此它们之间需要5V转3.3V电压转换电路。选择AMS1117稳压芯片,内部具有集成的过热保护和限流电路,其固定输出电压值之一为3.3V,且具有1%的精度,精度高且耐受性良好。具体降压电路设计如图8所示。

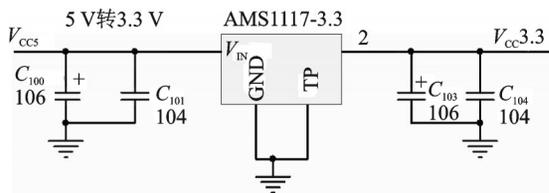


图8 通信串口USB与主芯片之间5V转3.3V电压转换

Fig.8 5V to 3.3V voltage conversion between communication serial port USB and the main chip

3.2.2 通信串口芯片

本次设计的通信协议采用了RS232协议^[10],对电气特性、逻辑电平和各种信号线等功能都作了规

定。通信协议选定之后,相应的选择通信串口PL2303芯片,这是一种高度集成的RS232-USB接口转换器,可提供一个RS232全双工异步串行通信装置与USB功能接口便利连接的解决方案。该器件作为USB/RS232双向转换器,一方面从主机接收USB数据并将其转换为RS232信息流格式发送给外设;另一方面从RS232外设接收数据转换为USB数据格式传回主机。

3.2.3 主控芯片

主控芯片使用了STM32最小系统。一般采用2.0V~3.6V范围内的电压给STM32系列芯片进行供电,且兼容5V的I/O管脚;芯片本身具有性能良好的安全时钟模式、带唤醒功能的低功耗模式、内部RC振荡器以及内嵌复位电路,应用比较方便。STM32具有高性能、低成本、低功耗的优良特点,嵌入式应用设计的ARM主要应用的都是STM32芯片^[11]。如图9所示。

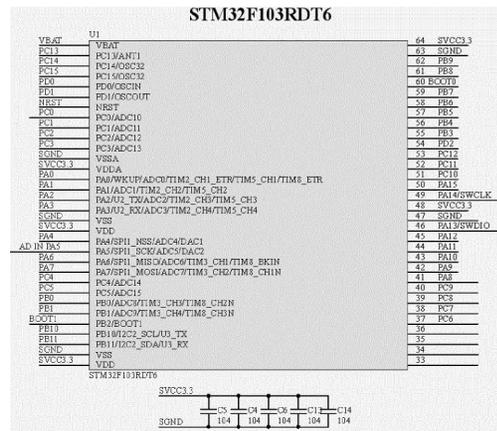


图9 主控芯片设计

Fig.9 Master chip design

3.3 软件设计

3.3.1 上位机设计

利用VB6.0软件设计上位机程序,图10为上位机通讯流程图。设计时,在VB界面上添加两个Command按钮,分别为控制灯带模式和亮度,通过串口实现控制灯带显示基本色彩单色模式,实现LED亮度的增强和减弱。

根据SM16703P芯片手册,控制灯亮暗及模式的0码和1码的时间均为1.2μs,一组控制数为24位,1m灯带有20个LED,且控制数据是串行输入。通过计算,完成一个周期的数据传送需要576μs。因此在控制灯带模式时,时间变换以576μs的整数倍递增。

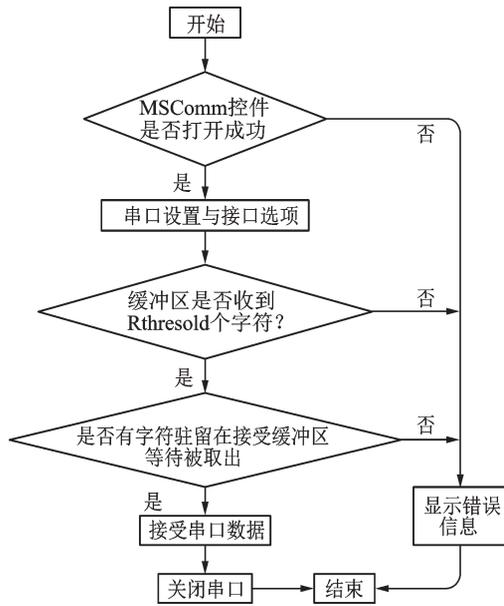


图 10 上位机通讯流程图

Fig.10 Communication flow of upper computer

单片机利用 VHDL 语言编写单片机控制程序。用 16 位二进制数来实现对 LED 灯带亮度、速度以及工作模式的控制。其中,第 0~3 位用于表示亮度,第 4~7 位用于表示速度,第 8~11 位用于选择灯带的工作模式,用“0000₂”表示固定模式,即按照普通跑马灯的模式进行亮灯;用“0001₂”表示指定模式,即下位机接收到“0001₂”时,就去读取第 12~15 位的数据,确定第几盏灯亮。

串口编程在实际应用中分为以下三种:用汇编或标准通信函数,往指定端口直接读写数据;利用 Visual Basic 6.0 提供的 MSComm 控件;使用 Windows 提供的 API 函数。本次设计选择 VB 提供的 MSComm 控件^[12]。VB 提供专用于串行通信的串行通信控制——MSComm,易于编程,具有完善的传输和接收功能。可以通过 MSComm 控件建立主计算机和 PLC 之间的连接。MSComm 控件是专门用于串行通信的控件,它为标准通信命令提供了一组接口,通过它可以建立串行连接,数据传输,命令传输,监视和响应通信期间的事件和错误。

利用 VB 的 MSComm 控件实现 PLC 与计算机的通信过程如下:程序开始—初始化 VB 界面打开通讯端口—启动接收函数—判断是否接收到函数—运行数据校验处理,把处理后的数据进行保存、显示,并把相应的数据发送给 PLC。

运行程序无误后,通过虚拟串口进行检验。

3.3.2 LED 程序设计

主函数根据串口接收的数据实现对 LED 灯带

工作的控制。在控制循环模式的程序中,主要是控制灯的亮度与速度。灯的亮度根据读取到的数据中所含“1”的多少来控制,“1”的个数越多灯越亮。在控制指定模式的程序中,读取到指定位置的数据后,小于指定位置的灯暗,指定位亮,大于指定位置的灯暗,从而达到实现控制指定位亮的功能。

3.4 综合调试

在 Keil 软件中,调试好程序,设置好正确的下载方式与对应的芯片,将控制程序下载到开发板上。调试结果如下图所示。



图 11 指定模式下第 3 组灯亮

Fig.11 The third light is on in the specified mode



图 12 循环模式下依次亮灯

Fig.12 The lights are switched on in turn in cycle mode

在上位机中发送数据,例如“7、7、1、3”,表明是指定工作模式,第三组灯亮,如图 11 所示。例如“7、7、0、3”,表明 LED 在跑马灯循环模式,如图 12 所示。

4 信号采集与处理

图 13 显示基于光纤多源扫描定位的液漏传感器特定位点遇水后的功率变化。实验用 1 m 长光纤上 6 个测点进行 3 组循环扫描。将扫描间隔设置为 10 s,光脉冲宽度为 3.8 s,光功率采样间隔为 1 s。从图中可以看出,测点 6 在第二、三测量周期功率明显突变,说明水流到了第六个位点,导致耦合处介质折射率发生改变,从而使输出光强改变。

在功率计检测过程中,凹槽距功率计越远,测得输出功率越小。但由于刻蚀出光栅凹槽的形态

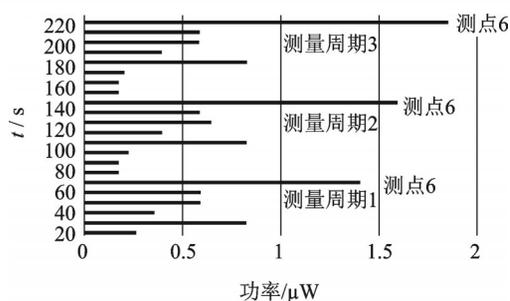


图13 液漏引起功率计输出突变

Fig.13 Sudden changes in the output of the power meter caused by fluid leakage

不一,导致测点1到测点6的输出功率没有呈现逐次衰弱或者逐次增强,但它并不会影响漏水传感器的功能,当液漏事件发生,功率同样会突变。在制作凹槽时,可以多次操作以减少诸如此类问题的发生。

实验中扫描间隔时间以及光脉冲宽度均可以通过LED控制芯片SM16703P进行控制,以实现单点毫秒级的实时性测量。由于实验中灯带灯珠间隔为5 cm,因此可以实现 ± 5 cm的定位精度。

5 结 论

文中通过对光纤多源扫描定位的液漏传感器的硬件和软件设计,实现LED的特定位置或循环式亮灯。液漏事件发生时,耦合缺陷处介质折射率的改变引起耦合光强变化,从而转化为电信号,以输出光功率的变化呈现出来,通过LED灯带循环扫

描,从而精确得出液漏发生的位置,实现高空间分辨率、低成本的漏水检测,具备实际应用价值。

参 考 文 献

- [1] 纪万青. 分布式光纤传感监测技术[J]. 石化技术, 2018, 25(10):41.
- [2] 张旭萃,武剑灵,单媛媛,等. 基于分布式光纤传感技术的智能电网输电线路在线监测[J]. 光电子技术, 2017, 37(04): 221-229.
- [3] López R M, Spirin V V, Shlyagin M G, et al. Coherent optical frequency domain reflectometry for interrogation of bend-based fiber optic hydrocarbon sensors[J]. Optical Fiber Technology, 2004, 10(1):79-90.
- [4] Inaudi D, Belli R, Walder R. Detection and localization of micro-leakages using distributed fiber optic sensing[C]. International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, 2008, 10(1):599-605.
- [5] 彭海斌. 分布式光纤传感技术的发展与应用研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(13):14-16.
- [6] 胡君辉. 基于瑞利和布里渊散射效应的光纤传感系统的研究[D]. 南京:南京大学, 2013.
- [7] 高小龙,王刚,翟成瑞,等. 基于侧向耦合结构的准分布式光纤液漏传感器[J]. 光学技术, 2019, 45(04):453-457.
- [8] 梅青冉. LED封装用有机硅材料的制备与性能[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(09):150-151.
- [9] 乐能友,石智伟,史新刚. 一种折反式LED准直透镜设计[J]. 光电子技术, 2018, 38(04):258-261+281.
- [10] 席小卫,陈荻茜,苏喆,等. PC与单片机多机RS232串口通信设计分析[J]. 数字通信世界, 2020(02):114-115.
- [11] 魏诚,姚梦兰. 基于STM32单片机的通用控制器设计[J]. 山西能源学院学报, 2018, 31(05):137-138+142.
- [12] 康微微,鞠振河. 基于VB实现PLC与上位机之间的通信[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2014, 10(04):348-352.