

多段电容式锅炉液位测量系统设计

蔡成涛¹, 郑佳¹, 韩光照²

(1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 哈尔滨 150001;

2. 中国船舶重工集团公司第 703 研究所, 哈尔滨 150078)

摘要: 由于传统的锅炉汽包水位测量多采用差压式水位计、云母水位计等方法, 测量过程中存在汽水分界面不明显, 需要温度、压力补偿及投入麻烦等缺陷, 为解决上述问题, 提出了一种基于电容数字转换技术专用芯片 Pcap01 的智能多段式液位测量系统, 并且应用 HART 通讯单元访问传感器的测量过程参数、设备组态、校准等信息; 对多段电容式液位测量系统的总体方案、传感器设计、电容测量电路、HART 通讯电路的设计进行了详细论述, 同时设计了 HART 通讯软件和液位测量采集软件; 对所设计的多段电容式锅炉液位测量系统经过试验表明, 该液位计精度高、操作简单方便, 解决了传统液位测量的缺陷, 可以满足实际现场要求。

关键词: 汽包水位; 多段电容; 液位测量; 电容式传感器

Multiple—Segment Capacitance Liquid Level Meter

Cai Chengtao¹, Zheng Jia¹, Han Guangzhao²

(1. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. No. 703 Research Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Harbin 150078, China)

Abstract: Due to the traditional boiler drum water level measurement using differential pressure type water level gauge, gauge mica method, the measurement process exists soda interface is not obvious, need temperature and pressure compensation. In order to solve the above problems, put forward a based on capacitance to digital conversion technology special Pcap01 intelligent multi segment type liquid level measuring system, and the application of HART communication unit access to sensor measuring process parameters, equipment configuration, calibration and other information. The overall scheme, sensor design, capacitance measurement circuit and HART communication circuit are described in detail, and the HART communication software and liquid level measurement and acquisition software are designed. Through the test of the design of the multiple - segment condenser boiler liquid level measuring system, the liquid level meter has high precision and convenient operation, which can solve the defects of traditional liquid level measurement, and can meet the actual requirements of the field.

Keywords: drum water level; multi section capacitor; liquid level measurement; capacitive sensor

0 引言

锅炉汽包水位是现代火电厂锅炉安全运行的一个非常重要的监控参数, 维持汽包水位是保持汽机和锅炉安全运行的必要条件。水位过高或过低都会引起水汽品质的恶化甚至造成事故。水位过高, 会影响汽包水位分离装置的正常工作, 造成出口蒸汽水分过多而使过热器管壁结垢, 引起过热器损坏。同时还会使过热汽温急剧变化, 影响机组运行的安全性和经济性。水位过低, 可能导致水循环破坏, 引起水冷壁烧坏^[1]。锅炉汽包的正常水位, 一般在汽包中心线下 100~200 mm。汽包内结构复杂, 汽包内液位各处不在同一水平面上, 因此, 准确测量汽包水位具有重要的应用价值, 目前能全程使用的汽包水位计还很少。当前汽包水位的监测多采用多种仪表多点监测的方法。

差压式汽包水位计在火电生产过程中是应用最为普遍的一种水位计, 它是静压式液位测量仪表, 广泛应用于汽包水位的实时监测和自动调节系统^[2]。但受汽包内压力变化, 饱和水蒸汽密度的变化影响及平衡容器内温度及密度影响, 需要温度压力补偿, 并且存在欠补偿及过补偿问题。本文提出基于电容数字转换技术的电容液位传感器, 能够实现温度压力的自动补

偿, 解决了差压式水位计的缺陷。

提出的五段式智能电容汽包水位计利用充放电来测量微电容, 传感器的被测电容和参考电容被连接到同一个放电电阻, 组成一个低通滤波。放电时间被高精度时间数字转换器记录下来。由于应用同样的电阻, 避免温度的改变对测量电容值得影响, 采用被测电容与参考电容的比值作为结果, 测量的周期时间在 us 级别, 在测量时间段内的电容值几乎不变, 保证了测量的准确性^[3]。它能够解决常规差压式液位传感器的缺陷, 由于整个电路不存在震荡电路及放电回路, 而且能够实现多路电容同时测量, 避免了多路开关的切换。使得电路简单化, 实现了传感器的微型化。电容数字转换芯片的电容检测结果通过 SPI 接口传入 ARM 芯片进行数据处理及运算, 最后使用两线制输出 4~20 mA 信号, 液位传感器的调整及校验通过 HART 协议进行, 从而实现了传感器的智能化。

1 系统总体设计

五段式智能液位测量系统由五段电容传感器, 电容测量系统, SPI 通讯单元, 4~20 mA 环流 AD 单元, HART 通讯单元等构成。传感器通过 PC0~PC5 测量待测传感器各分段电容的电容值, 并存入结果寄存器中, 通过 SPI 通讯单元将电容测量结果传到 STM32F103C8T6 单片机进行运算处理, STM32 单片机的 PC13~PC15 引脚分别与 AD421 的 DATA、CLOCK、LATCH 引脚连接, 可以将处理后的数据传给

收稿日期: 2015-12-14; 修回日期: 2016-02-24。

作者简介: 蔡成涛(1980-), 男, 河南开封人, 副教授, 博士生导师, 主要从事智能系统方向的研究。

AD421 能通过 4~20mA 电流回路来解调, 用 DS8500 进行相应的处理进行调制数据给 AD421 或者 STM32F103C8T6 单片机能对 DS8500 进行控制其状态是解调还是调制。能够方便实现对汽包液位的全程液位检测, 并且对温度及液相、气相介电常数变化进行补偿。五段式液位测量系统的组成框图如图 1 所示。

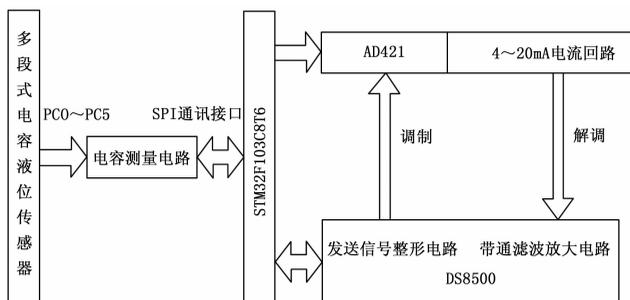


图 1 分段式液位测量系统的整体框图

2 系统硬件设计

2.1 多段式电容液位传感器设计

多段式电容传感器, 由两个半径不同的筒状极板构成, 外极筒作为一个整体。多段筒形电容结构原理图及等效电路如图 2 所示。在外极筒靠近底端和顶端的部分, 留有两个进液孔; 内极筒由多段相同的铜箔依次紧贴在绝缘管上构成。每一段相互并联, 相互绝缘并独立引线。为了与外极板绝缘, 整个内极板封装在耐腐蚀、耐高温、抗粘附的氟塑料管中。每组内极板电极各自引出一条引线, 外极板引出一条地线。相当于从上至下形成了 N 个 $1/N$ 量程的电容传感器, 每一段独立检测电容, 从而得到整体的测量结果。

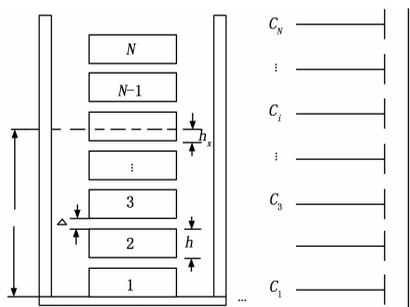


图 2 多段筒形电容结构原理图及等效电路

第 i 段电容值 c_i :

$$c_i = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\ln(r_2/r_1)} + \frac{2\pi(\epsilon - \epsilon_0)h_x}{\ln(r_2/r_1)} \quad (1)$$

式中, h 为每段极筒的高度; r_1, r_2 为内极筒外径, 外极筒内径; h_x 为被测液位高度; ϵ_0 为空气介电常数; ϵ 为被测液体介电常数。可以看出液位跟电容值成线性关系, 通过电容测量就可以得到液位值。当确定出液位所处的段后, 即可求得总液位 H_X :

$$H_X = (i - 1)(h + \Delta) + h_x \quad (2)$$

式中, Δ 为各段间距, 本设计中各段间距足够小。

2.2 电容测量电路的实现

通过对电容式传感器的研究, 提出了采用电容数字转换单元芯片 PCap01 来测量电路电容值。德国 acam 公司专利的 PIC-OCAP 测量原理给电容测量提供了革命性的突破^[4]。它的内部

带有 DSP 单片机处理单元, 这颗芯片提供了对于高精度测量, 低功耗测量以及快速测量应用的完美结合, 利用充放电时间原理, 转换时间的精度范围最少可达到 $2 \mu s$ 。传感器数据可以在芯片内部进行现行校准, 外部单片机对芯片进行控制或编程时, 芯片提供了 SPI 和 IIC 两种串行通讯方式, 但是每次通信仅能应用其中一种传输方式, 而且芯片两种通信方式都只能作为“从机”。通讯方式通过控制引脚“IIC-EN”的高低电平来选择, 本文选用 SPI 通讯方式对芯片进行控制和编程, 将 IIC-EN 引脚连接到 GND, 4 线 SPI 通信口开启, 引脚 SSN-PG0、SCK-SCL、MISO-PG1、MOSI-SDA 引脚分别与 STM32F103C8T6 单片机引脚 PA4~PA7 连接。

电容测量不可避免的会产生噪声和温度漂移, PCap01 芯片提供了两种补偿方式: 漂移模式, 内部和外部的寄生电容同时补偿; 接地模式, 内部补偿。通过补偿后的电容值, 10 pf 的基础电容在 5 Hz 频率下误差只有 6 af , 达到了很高的精度。而且 PCap01 具有很高的测量频率和超低功耗的优点。

PCap01 芯片与传感器有四种连接方式: 单一传感器接地模式、单一传感器漂移模式、差分传感器接地模式、差分传感器漂移模式^[5]。芯片供传感器连接的引脚为 PC0~PC8, 所以在接地模式中最多可以测量 8 路电容, 漂移模式中最多可以测量 4 路电容。本次实验选用单一传感器接地模式, PC1~PC7 引脚分别与传感器的各段极板引出的引线连接。电容测量电路设计如图 3 所示。

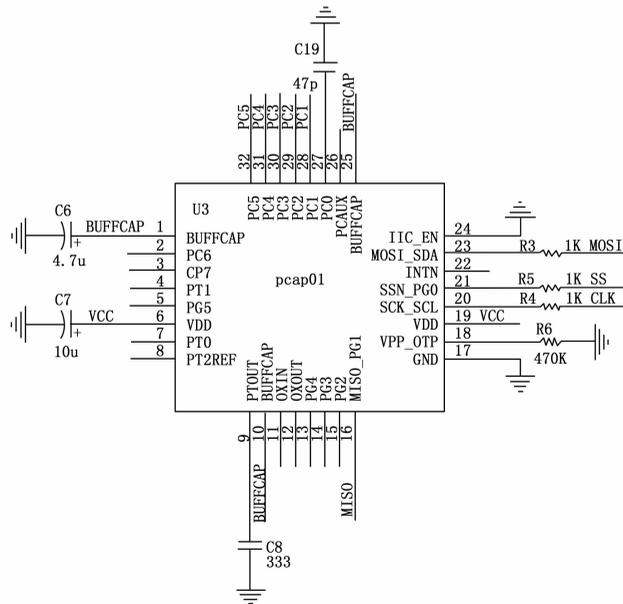


图 3 PCap01 芯片电路图

2.3 HART 通信单元设计

HART 协议是美国 ROSEMOUNT 公司于 1985 年推出的一种用于现场智能仪表和控制室设备之间的通信协议^[7]。HART 技术在国外已经十分成熟, 并已成为全球智能仪表的工业标准, 国产的仪表 HART 协议应用刚刚起步, 使用 HART 协议可方便的实现相应的参数修改。虽然 HART 协议只是一种由模拟系统向数字系统转变过程中的过渡协议, 但是由于 HART 协议是唯一向后兼容的智能仪表解决方案, 即它可以在提供现场总线的优越性的同时, 保留着 $4\sim 20 \text{ mA}$ 系统

行纵向奇校验, 如果正确, 则按照 HART 协议的通信帧格式解析命令帧, 根据命令帧相应的命令形成应答帧, 然后将 PA12 引脚设置为低电平, 使 DS8500 芯片处于发送 HART 信号状态, STM32 单片机通过 USART1 将应答帧传送给 DS8500 芯片, 经 DS8500 芯片调制成 FSK 信号之后加载到 4~20 mA 环路中^[10]。当发送完成之后, 再次进入接收状态, 等待下一条命令。HART 通信程序流程图如图 7 所示。

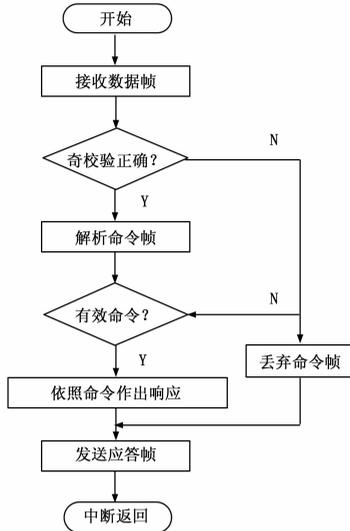


图 7 HART 通信程序流程图

3.2 液位测量程序设计

液位测量程序如图 8 所示, 首先对 STM32 单片机进行初始化, 包括初始化 IO 接口, 设置 SPI1 通讯参数和初始化 USART1 等。若初始化未完成会返回重新进行初始化, 若初始化完成, 单片机会通过 SPI 通讯方式向 PCap01 发送复位信号, 初始化 PCap01 芯片, 操作配置寄存器, 使 PC1~PC5 脚处于测量模式, 充放电周期为 280 μs, 选择 250 Ω 充放电电阻, 操作完成之后, 开始电容测量, 待测量完成之后, 将测量结果传送给 STM32 单片机, 单片机将电容比值经过处理和拟合之后转化为实时液位值, 然后将液位值变为 16 位的数字量传给 AD421 输出 4~20 mA 电流信号, 然后继续返回电容测量。

4 试验及结果

由于采用的是五段式电容传感器, 所以只需用到 Pcap01 芯片测量引脚中的 PC0 到 PC5。选取每段传感器长度为 60 mm, 将传感器置入到盛有沸水的圆筒容器中, 为了避免传感器对液位值的影响, 容器应选择的足够大, 使用精度为 0.2 mm 的防水贴尺紧贴在传感器表面。由于每段传感器的结构是完全相同的, 以第一段为例, 每隔 5 mm 采集一次被测电容值和 4~20 mA 模拟电流输出值。将测得 4~20 mA 电流值换算成液位值与贴尺所示液位值进行比对。绘制电容—液位曲线如图 9 所示, 液位值与被测电容值成线性关系。HART 通信测试表明通过 HART 单元可以实现远程输出电流值的校准。

5 结论

通过对电容式液位传感器的研究, 所提出的智能液位计, 采用多段式电容传感器, 该电容传感器响应速度快, 能较为准确的显示出液位的变化值且不需要进行温度压力补偿, 弥补了

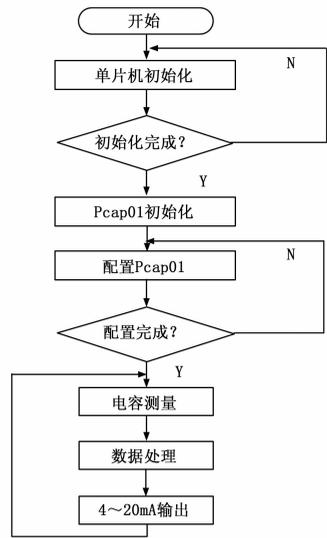


图 8 液位测量流程图

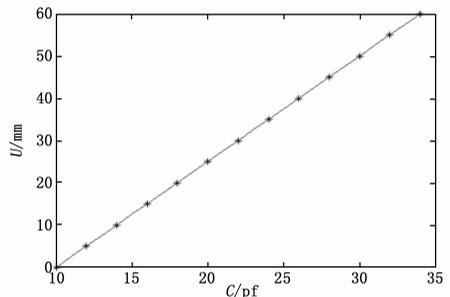


图 9 电容—液位关系图

传统锅炉液位测量的缺陷, 可以满足工业现场的需求。

参考文献:

- [1] 孙圣和. 现代传感器发展方向 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 1 (23): 1-10.
- [2] 孙 虎. 液位检测技术的现状及传感器的选择 [J]. 内蒙古石油化工, 2009, 1 (14): 323-329.
- [3] 侯海岭, 解衍江. 基于 CAV424 的电容式液位检测系统 [J]. 仪表技术, 2010, 1 (4): 1-3.
- [4] 曹圆圆. 基于 STM32 的温度测量系统 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2010, 1: 16-18.
- [5] 招惠玲, 周美娟, 胡远忠. 电容式液位测量系统的设计 [J]. 传感器技术, 2004, 23 (3): 40-41.
- [6] Yu. K. Rozhkov. Digital liquid level meter. Measurement Techniques, 1991, 3 (4): 34-36.
- [7] 陈秋明. 如何选择合适的液位传感器 [J]. 自动博览, 2014, 1 (10): 210-211.
- [8] 丁方臣, 韦春霞. 基于 HART 协议的智能变送器的应用 [J]. 仪器与测控, 2002, 5: 31-36.
- [9] 吕园荪, 吕梓翔. HART 协议及其应用 [J]. CPE 北京分公司技术专辑, 2005, 1 (11): 119-200.
- [10] Ho-Young Park, Sang-Hyeok Yang, Suki Kim, et al. A Touch Sensor Readout Circuit Using A Switched-Capacitor Charge Pump [J]. IEICE Electronics Express, 2012, 2 (13): 190-195.