

文章编号:1001-9944(2007)01-0021-03

# 基于 MSP430 的超低功耗电容式涡街流量计

汤 剑,李昌禧,李跃忠

(华中科技大学 控制科学与工程系,武汉 430074)

**摘要:**介绍了超低功耗智能电容式涡街流量计的硬件组成、软件设计和实验测试结果。系统以 16 位超低功耗单片机 MSP430 为核心,采用新型环路供电 DAC 芯片 AD421 与 HART 专用调制解调芯片 HT20C15,实现了现场测量实时显示以及与 HART 设备通信等功能。试验结果表明,该系统测量精度高,抗干扰能力强,功耗低,方便易用,降低了使用成本。

**关键词:**涡街流量计;超低功耗;环路供电;HART 协议

**中图分类号:**TP274.5 **文献标志码:**B

## ULP Smart Capacitance Vortex Flowmeter Based on MSP430

TANG Jian, LI Chang-xi, LI Yue-zhong

(Department of Control Sciences and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In this paper, the hardware composition, software design and test conclusion of ultra-low power (ULP) capacitance vortex flow-meter based on MSP430 are introduced. The system is cored on 16 bit ULP SCM MSP430, and achieves the functions of real-time display and communication with HART equipment by new type DAC AD421 with the function of loop-powered and special HART modulator-demodulator HT20C15. Test conclusion shows the flow-meter have characteristics of high measurement precision, high anti-interference power, low consumed power and convenience application, meanwhile the cost is greatly reduced.

**Key words:** vortex flow-meter; ultra-low power (ULP); loop-powered; HART protocol

涡街流量计具有量程比较宽、线性度较好、压力损失小、性能可靠、使用寿命长、适用的流体种类较广泛等特点,所以有着广泛的应用前景。而电容式涡街流量计与其它涡街流量计相比,具有灵敏度高、耐热性强、抗震性强等优点,因而在工业企业中得到了广泛的应用。

然而由于功耗问题,传统的电容式涡街流量计必须在现场提供电源(外接电源或者自带电池),这

给使用带来了一定的麻烦。超低功耗智能电容式涡街流量计直接由标准二线制 4~20mA 电流环取电,不仅保证了精度与通信,而且降低了使用成本,符合超低功耗这一新的仪表发展方向。

### 1 原理简介

电容式涡街流量计由传感器和转换器两部分组成。传感器包括旋涡发生体(阻流体)、检测元件、仪

收稿日期:2006-06-16;修订日期:2007-01-10

**作者简介:**汤剑(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置;李昌禧(1947-),男,华中科技大学控制科学与工程系测控技术与系统研究所所长,博士生导师,主要研究方向为检测技术和智能仪表、测控管一体化技术、机电一体化技术。

表表体等；转换器包括电荷检测电路、滤波整形电路、微处理器、D/A 转换电路、输出接口电路、显示通信电路、端子、支架和防护罩等。

涡街的检测元件是一根刚性空心圆杆，当涡街作用在圆杆底部时，刚性圆杆会绕着固定点偏转。圆杆上部作为电容的一个极板，与另外两个电极组成差动电容，差动电容值会随圆杆摆动而改变，其规律为和涡街同频率的周期性变化。转换器检测电容的变化，并转换为脉冲信号，该脉冲频率就是涡街的发生频率，与流量大小成正比。转换器最终输出反映流量大小的 4~20mA 模拟信号或通过 HART 现场总线输出数字信号。电容传感器示意图如图 1 所示。

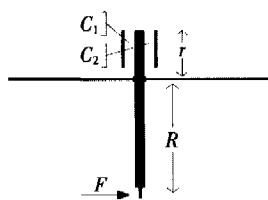


图 1 电容传感器示意图

Fig.1 Abridged general view of capacitance sensing device

## 2 系统整体构成和硬件设计

超低功耗智能电容式涡街流量计的系统结构如图 2 所示。系统采用电容充放电法检测电容的变化，模拟开关的控制信号由 MSP430 晶振分频提供，同时 MSP430 也提供 HT2015 需要的 460.8KHz 信号。

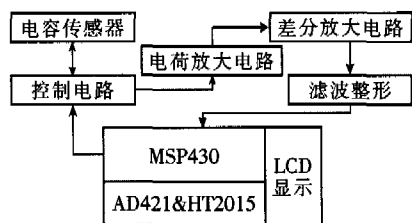


图 2 系统原理框图

Fig.2 Principle block graph of the system

### 2.1 MSP430 微处理器

TI 公司推出的 MSP430 系列超低功耗 16 位混合信号处理器，集多种领先技术于一体，以 16 位 RISC 处理器、超低功耗、高性能模拟技术及丰富的片内资源在单片机家族中独树一帜。其处理器功耗 (1.8V~3.6V, 0.1~400 $\mu$ A, 250 $\mu$ A/MIPS) 和口线输入漏电流 (最大 50nA) 在业界都是最低的，远低于其它

系列产品。其 16 位 RISC 结构，使 MSP430 单片机在 8MHz 晶振工作时，指令速度可达 8MIPS。另外 MSP430 系列单片机均为工业级产品，性能稳定，可靠性高。

MSP430 单片机具有 6 种不同的工组模式：1 种活动模式和 5 种低功耗模式。系统在运行时，根据实际情况，选择不同的工作模式，以降低系统的功耗。

在本系统中，选用的单片机 MSP430F149 含有 2KB 的 RAM, 60KB 的 FLASH, 12 位 ADC，硬件乘法器以及 11 个定时器。同时选用了 3.6864MHz 的晶振和 32.768KHz 晶振，利用 MSP430F149 时钟系统分别产生 MSP430 单片机运行时钟，模拟开关控制时钟以及 HART 调制解调需要的 460.8KHz 信号。

### 2.2 AD421 与 HART MODEN HT20C15

AD421 是美国 ADI 公司推出的一种单片高性能 SIGMA-DELTA DAC，它由电流环路供电，16 位数字信号以串行方式输入，4~20mA 电流输出，可实现低成本的远程智能工业控制。AD421 内部含有电压调整器可提供 +5V, +3.3V 或 +3V 输出电压，还含有 +1.25V, +2.5V 基准电源，均可为其自身或其它电路选用。另外，AD421 与标准 HART 电路完全兼容。而且该款芯片耗电电流最大不超过 750 $\mu$ A，只有  $\pm 0.01\%$  的积分非线性误差。

HT20C15 为 HART 专用调制解调器，在半双工状态对数字逻辑信号和数字方波频率信号进行调制解调。由 CPU 来的数字通信信号将被 HT20C15 调制成相应的 1200Hz 和 2200Hz 的 FSK 频移键控信号，叠加在环路上发出。相应的，HT20C15 也能将叠加在 4~20mA 环路上的 FSK 频移键控信号相应地解调成“1”和“0”，交由 CPU 处理。

AD421 与 HT20C15 在智能变送器中的应用如图 3 所示。

### 2.3 电容检测电路

采用电容充放电法测量微小电容具有抗寄生电容干扰能力强、灵敏度高、容易实现、成本低等优点。其原理如图 4 所示。

其中，K1, K2, K3, K4 为 CMOS 模拟开关，受时钟脉冲控制。K1 与 K3 同相，K2 与 K4 同相且与 K1, K3 反相。其工作原理为：充电过程，当 K1 与 K3 导通，K2 与 K4 断开时为充电状态，在充电期间，被测电容被充电至 +V<sub>ref</sub>，它所具有的电量为  $Q=V_{ref}C_x$ ；放电过程，当 K1 与 K3 断开，K2 与 K4 导通时为放

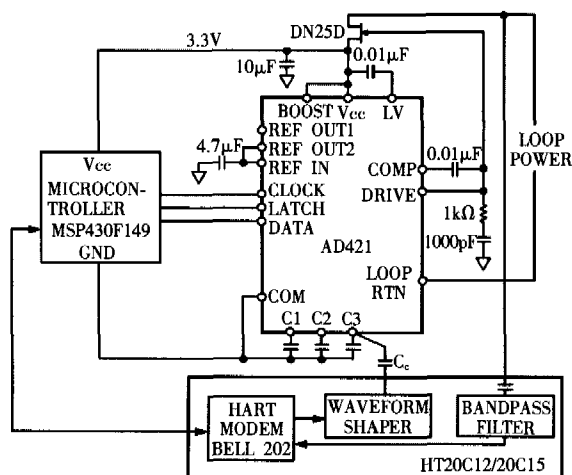


图3 AD421与HT20C15在智能变送器中的应用  
Fig.3 Application of the intelligent transducer using AD421 and HT20C15

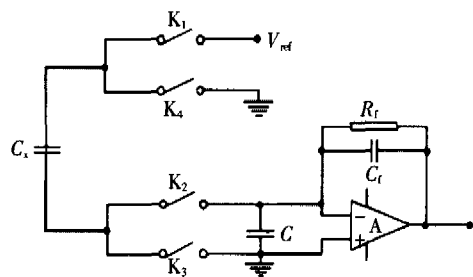


图4 充放电法原理图  
Fig.4 Principle diagram of the charge and discharge method

电状态,在放电期间,流经电荷检测器的平均电流为  $I_m=Q/T=V_{ref}C_x f$ 。经运放进一步转换和平滑后,得到直流电压为  $V=I_m R_f=R_f V_{ref} C_x f$ 。由上式可知,要想提高灵敏度,只要将  $R_f, V_{ref}, f$  中的任意参数提高即可。该电路结构简单,易于实现。由于被测电容是悬浮接地的接法,可抗寄生电容的干扰,并不受并联漏电阻影响。

在实际运用中,模拟开关的选择比较重要,开关响应时间短才能实时反映电容容值的变化,并且功耗要低。4单刀双掷模拟开关 ADG333 具有很短的开关响应时间 ( $T_{on}<175ns, T_{off}<145ns$ ),而工作电流仅

为  $250\mu A$ 。

### 3 微处理器软件设计

由于系统功耗限制,微处理器平时都处于低功耗模式,以中断来处理事件。需要微处理器处理的事件有:测量电容变化的频率,计算、校正流量,驱动 LCD 显示,输出 4~20mA 两线制信号,与 HART 设备通信。测量电容变化的频率通过 I/O 口的下降沿中断,用定时器捕获,所有数据进入队列里。当计算、校正流量时,数据出队,通过累加器和硬件乘法器,微处理器很快得到结果。计算、校正流量与 LCD 显示可以同步,计算校正出来就显示, LCD 一秒刷新一次,同时输出 4~20mA 两线制信号。微处理器平时都处于 HART 通信接收状态,用手抄器在现场可以通过 HART 通信模块调整变送器的参数。

### 4 结语

经过实际测试,该系统自身工作消耗电流仅为 3.5mA,达到了低功耗要求,并且整机测量精度在  $\pm 1\%$  以内。目前关于电容式涡街流量计的产品和报道比较多,但是能够不需外部供电,集测量、补偿、显示、通信等功能于一体的产品尚未见报道。该系统采用超低功耗单片机 MSP430,新型环路供电 DAC 芯片 AD421 以及 HART 通信专用芯片 HT20C15,集成度高,功能齐全,方便易用。

### 参考文献:

- [1] 沈建华,等.MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 张祥.智能型差动电容式涡街流量计的设计[J].自动化与仪器仪表,2000,(6):17-20.
- [3] 王鸿昌,等.HART技术的特点及进展[J].自动化与仪器仪表,2002,(4):1-3,11.
- [4] 高琦.用MSP430开发基于HART协议的智能仪表[J].自动化仪表,2003,24(9):36-38.
- [5] HART field communication protocol:An introduction for users and manufactures.[Z].HART communication foundation on(HFC) 1998.

欢迎订阅《自动化与仪表》杂志 (双月刊)

邮发代号:6-20 定价:8.00元