

中国计量学院

本科毕业设计（论文）

基于低功耗 msp430 无磁水表单片系
统开发

**Design of Non-magnetic Water Meter
MCU system Base on Low Power
Consumption MSP430**

学生姓名 李 超 学号 1100107231

学生专业 机械电子工程 班级 11 机电 2

二级学院 机电工程学院 指导教师 吴善强 副教授

中国计量学院

2015 年 5 月

郑 重 声 明

本人呈交的毕业设计论文，是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，所有数据、图片资料真实可靠。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确的方式标明。本学位论文的知识产权归属于培养单位。

学生签名： 李超

日期： 2015 年 5 月

分类号: TP2
UDC: 621

密 级: 公开
学校代码: 10356

中国计量学院

本科毕业设计（论文）

基于低功耗 msp430 无磁水表单片系
统开发

**Design of Non-magnetic Water Meter
MCU system Base on Low Power
Consumption MSP430**

作 者 李超

学号 1100107231

申请学位 工学学士

指导教师 吴善强 副教授

学科专业 机械电子工程

培养单位 中国计量学院

答辩委员会主席 许昌

评 阅 人 吴善强

2015 年 5 月

致 谢

时光流逝，大学四年已在指间流逝殆尽，作为最后一个学期的课程，从年底着手准备，这次的毕业设计是以我所在实习公司的一个项目为题展开的。在此我要感谢吴善强老师细致、耐心的讲解和教导，感谢我的同事对我的帮助，还有同学的鼓励，正是有了你们的帮助，才能使我顺利地完成毕业设计，在此，我再次向你们表示由衷的感谢。

本论文是在我的导师吴善强老师的悉心指导下完成的，感谢吴善强老师能在百忙之中给予我悉心的指导。当我在毕业设计遇到困难时，吴老师总是主动帮助我，帮我解决一些问题，尤其是在写论文的时候，告诉了我许多该注意的地方。最后，我还要感谢我的父母对我生活上的无私关爱，感谢我的同学以及其他分院的朋友对我的学习和生活的帮助与支持，我将一如既往，继续努力，保持高昂的斗志，在未来的天空里展翅翱翔。

李 超

2015 年 5 月

基于低功耗 msp430 无磁水表单片系统开发

摘要：设计了以 MSP430 为核心的低功耗无磁水表系统。以 MSP430FW427 为主控器，通过内部集成的 SCAN IF 模块对水流量进行计数，使用带捕获比较功能的定时器软件模拟串口收发数据。详细分析了无磁水表使用 LC 振荡电路来测量流量的原理，分析了 SCAN IF 模块中 PSM 状态机的工作原理及状态表的编写，分析了 SCAN IF 模块参考电压自校准的工作流程，重点介绍了使用 MSP430FW427 单片机相关部分的软硬件设计及系统的低功耗设计，硬件部分包括主控芯片的选型，LC 振荡电路的设计，液晶显示硬件的设计，电机驱动电路的设计，电流比较电路的设计，E2PROM 电路的设计。软件部分包括主程序的设计，初始化程序的设计，SCAN IF 模块，软件模拟串口，上位机通讯，液晶显示，电机控制，E2PROM 存储。对实验成果及本次设计的不足进行了分析。

关键词：无磁水表；MSP430；低功耗；

中图分类号：TP273

Design of Non-magnetic Water Meter MCU system Base on Low Power Consumption MSP430

Abstract: Designed with low power MSP430 core of non-magnetic water meter system. In MSP430FW427 main controller, through the internal integration of SCAN IF module for water flow were counted using a timer with capture-compare function analog serial data transceiver. A detailed analysis of the principles of non-magnetic sensors to measure flow LC oscillator circuit, a detailed analysis of the preparation principle SCAN IF module PSM state machine and the state table, analyzed the SCAN IF module reference voltage self-calibration process, focusing on the use of MSP430FW427 low-power single-chip design, hardware and system software and hardware design, including the relevant part of the master chip selection, LC oscillator circuit design, LCD design hardware design, design motor drive circuit, a current comparison circuits, E2PROM circuit design. Software includes the main program design, design initialization procedure, SCAN IF module, software simulation serial PC communication, LCD, motor control, E2PROM memory. The experimental results and design deficiencies were analyzed.

Keywords: Non-magnetic Water Meter; msp430; Low Power Consumption

Classification: TP273

目次

目次	3
1 前言	5
1.1 选题背景与意义	5
1.2 研究的主要内容	6
1.3 本章小结	7
2 传感器原理及无磁水表总体设计	8
2.1 LC 传感器工作原理	8
2.2 流量检测传感器的选型	10
2.3 SCAN IF 模块工作过程	11
2.4 PSM 状态机设置	12
2.4.1 PSM 状态表原理	13
2.4.2 PSM 状态表编写	14
2.5 参考电压自校准流程	15
2.6 总体设计思路	16
2.7 结构框图	17
2.8 本章小结	17
3 硬件设计	18
3.1 主控芯片的选型	18
3.2 LC 振荡电路设计	19
3.3 液晶显示硬件连接	19
3.4 电机驱动电路	19
3.5 电流比较电路设计	20
3.6 E2PROM 电路设计	21
3.7 低功耗设计	22
3.8 本章小结	24
4 软件设计	25
4.1 主程序设计	25
4.2 初始化程序设计	25
4.3 SCAN IF 模块	26
4.4 串口	28
4.4.1 串口的通讯原理	28

4.4.2	软件模拟串口工作原理	29
4.5	上位机通讯	31
4.6	液晶显示	32
4.7	电机控制	33
4.8	E2PROM 存储	34
4.9	本章小结	34
5	实验分析结果	35
5.1	SCAN IF 测试	35
5.2	电容电感测试	36
5.3	液晶测试	37
5.4	本章小结	38
6	本文总结	39
	参考文献	40
	附录 A	42
	附录 B	46
	学位论文数据集	47

1 前言

1.1 选题背景与意义

从第一个平衡罐式水表算起，水表已经有了近两百年的历史。我国的水表行业从1930年开始起步，但是发展缓慢。直到九十年代，随着科技的进步，水表行业也有了较快的发展。进入新世纪以来，智能水表成为了急速发展的水表种类，品种越来越多，性能越来越好。

水表产品按结构特征分类主要有：机械水表，带电子的机械水表，电子水表。

机械水表：是指依靠机械原理来计数的水表。优点：售价便宜，不需要供电，缺点：计量不准确，磨损较严重，寿命不长，无法远程集抄等。

带电子的机械水表：是指在机械式的水表上安装机电转换模块，将水表中叶轮或其他设备的旋转量转化为可以识别的电信号，或将机械示数装置的字轮读数位置量转换成绝对编码形式的数字电信号。水表上通常安装有信号处理器件和电控阀门等器件。

电子水表：是指流量检测不使用机械原理进行计数的水表。比如超声水表，电磁水表等。尽管电子水表有很多优点，但电子水表也有它的局限性，例如：易受管振、电磁环境干扰，容易造成计量误差。还有量程较小，使用范围也跟着变小了。再者就是大口径流量计的现场测试和周期检定，这方面始终没有有效的办法来解决。不仅如此，此类水表的标准化和计量管理也需要提高。长远看来，电子水表和机械式水表将会共存，机械水表暂时不会被电子水表取代。

在用水的管理上，过去“先用水后付费”这种模式容易造成欠缴水费等现象的发生。在我国一般使用人工入户的方式完成能耗表的抄写，数据由相关部门统计管理。抄表工作的随着劳动力成本的增加，导致人工抄表的成本也大大增加，直接导致自来水公司利润减少，且存在安全隐患等，也加重了消费者和自来水公司的矛盾。

随着智能水表的出现，以往用水的管理模式也得到了改变。智能水表结合了多种现代科学来对用水量进行计量，并管理用水的新型水表。智能水表可以完成远程开关阀、预付费用水、远程抄表等功能。智能水表的类型多种多样。从控制方式可以分为预付费式水表和远传水表等。从传感器类型可以分为干簧管传感器、霍尔元件、韦根传感器、LC传感器等。从供电方式分类有：电池供电，市电供电等。

有磁传感器容易受到强磁场的影响，造成漏计，甚至不计的情况，容易被人为利用。而且有磁水表中的永磁体会吸附水中杂质，日积月累，造成计量误差。无磁水表以其计量精度高，无磁性，不会吸附水中杂质，不易被人为干扰等优点，长期使用仍

能保持高精度，越来越被广大表厂重视。有些单片机厂商也把目光集中在这块，推出专用于流量检测仪表的单片机。美国德州仪器（TI，TEXAS INSTRUMENT）公司的MSP430FW42x 系列单片机，片上集成了一个 SCAN 接口，96 段 LCD 驱动器，48 个 I/O 口，一个比较器，2 个 16 位定时器，32K ROM，1K RAM。可以说是为无磁水表量身定做的，不仅大大的方便了开发人员，而且延长了电池的使用寿命，提高了仪表的精度。在仪表计量方面得到了各方认可。

随着城市化发展的进程，智能化设备也越来越被重视，越来越多的新建筑选择智能水表，而且“一户一表”的需求量巨大，这也迎来了智能水表发展的春天。

并且大多数旋转式表记的工作原理都是相同的，所以对无磁水表的研究及使用不仅仅局限在水表上，更是可以推广到热表，气表等其他表记上，使用一套系统，完成不同表记的使用，具有很大的推广价值。

1.2 研究的主要内容

MSP430FW427 作为主控中心，既要接收外部信号，又要对接收到的信号进行处理，还得对被控设备进行控制。测量的准确性，远程传输的准确性，电机的控制，低功耗的设计成为了我们的主要研究内容，拟解决的主要问题：

模拟前端信号的采集：使用 LC 传感器，通过振荡波形确定电感是处在金属区还是非金属区，再根据两个电感所在区域以及前后状态进行方向的判断和计数。难点在于如何正确产生 LC 振荡波形，并能够准确采集到电感所在区域。

SCAN IF 内部比较器参考电压的设置：在确定电感处在金属区还是非金属区时，主要是检测经延时后，衰减波形的包络线是在参考电压上，还是参考电压下。参考电压是一个范围值，通常找到它的上下限，再求它的平均值作为实际使用的参考电压，正确的参考电压是准确计数的前提条件。

LCD 显示：定制液晶显示的内容，使显示内容直观明了，让消费者能够直观的得到所需信息。

远程抄表及控制：如何进行上位机和下位机的通讯，在预防错误帧产生的前提下进行正确的接收和解码，并根据命令进行操作。

电机开关阀控制：使用 H 桥式电路来控制电机。通过检测电机电流是否大于设定值判断电机是否堵转。所以电机到达极限位置时停止转动也是电机开关阀控制的难点。

数据存储：使用 E2PROM 进行数据存储，在电源停止供电前把数据存储到 E2PROM 中，当电池恢复供电时把数据读取出来，这样不会因为更换电池造成数据的丢失。

低功耗设计：需要最大限度的做到低功耗，可以做到一节锂电池使用 6 年。

1.3 本章小结

本章主要介绍了选题的背景和意义，介绍了水表现有的分类及用水的管理模式，介绍了研究内容及拟解决的主要问题。

2 传感器原理及无磁水表总体设计

2.1 LC 传感器工作原理

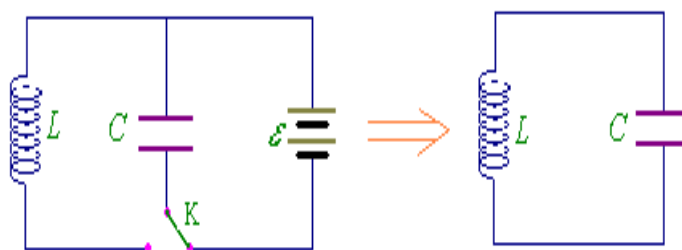


图 2.1 LC 振荡电路

上图是 LC 振荡电路，首先电池组给电容充电，当电容充满电后拨动开关，电池组断开，电容和电感构成一个 LC 振荡电路，如果忽略功率的损耗，此时在电容两端可以得到一个正弦波，因为存在功率的损耗，实际波形是一个衰减的正弦波。衰减的快慢与许多因素有关。

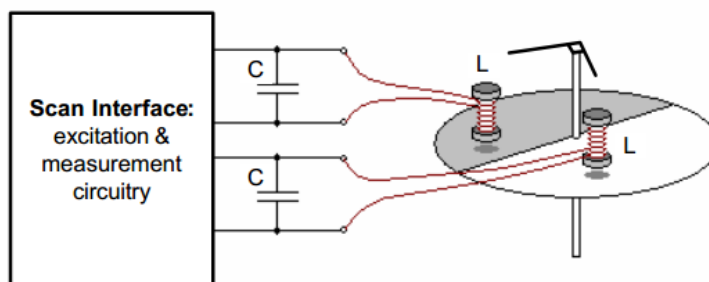


图 2.2 SCAN IF 模块原理图

上图是 SCAN IF 模块的原理图，SCAN IF 模块可以给电容充电，并检测电容两端的波形，左边的电容和右边的电感构成 LC 振荡电路，右边的圆盘代表水表的转子，颜色深的一半为金属区，另一半为非金属区，LC 振荡产生时会产生电磁波，在金属区形成涡流，造成能量的损耗，导致正弦波衰减的更快，而非金属区则衰减更慢。

两个电感分别处于金属区，非金属区时，可以产生以下几种情况：

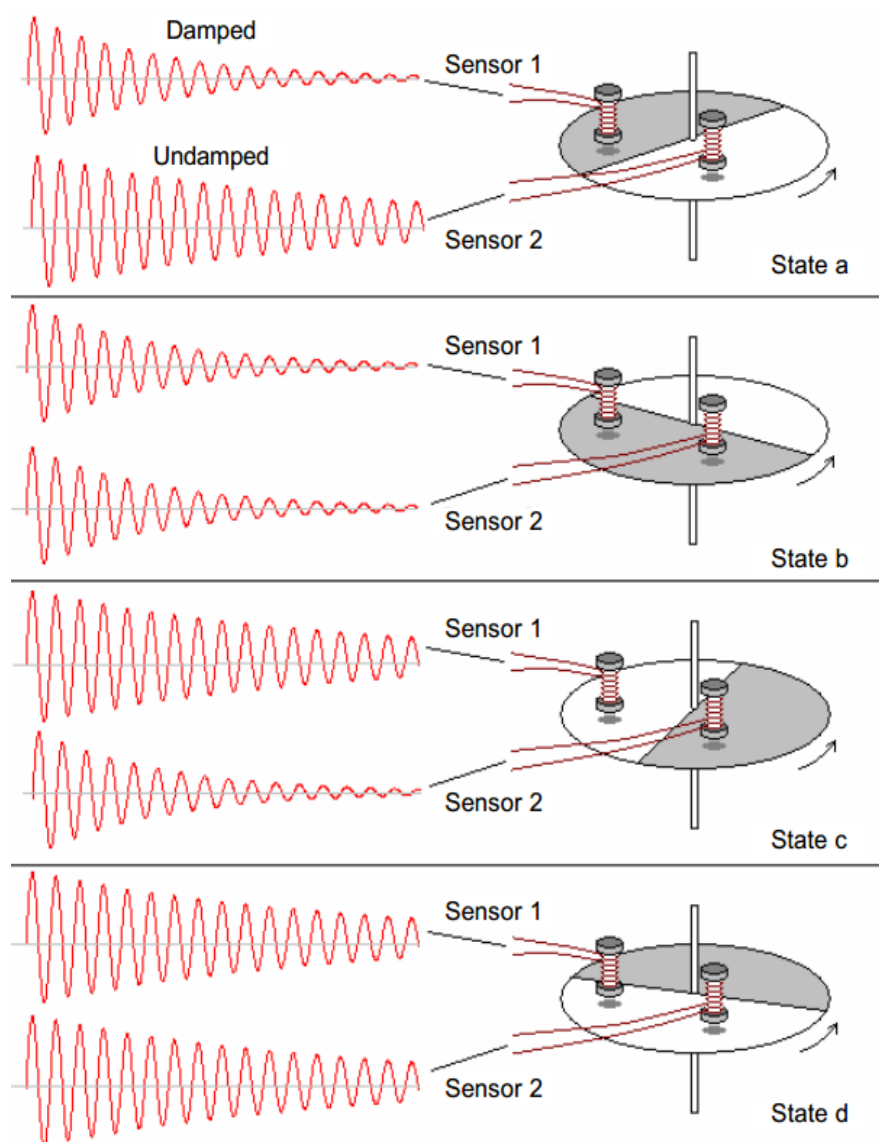


图 2.3 位置波形图

我们把衰减更快的情况记作 0，衰减更慢的情况记作 1。当我们只使用一个 LC 传感器时，转子转动，我们不断得到 0，1 的信号，根据信号变化快慢，可以测出转子转动的速度。当我们使用两个 LC 传感器，并使他们成 90° ，我们可以得到 4 种情况：00，01，10，11。根据四种情况的交替变化，我们不仅可以得到转子的转速，也可以得到转子运动的方向。

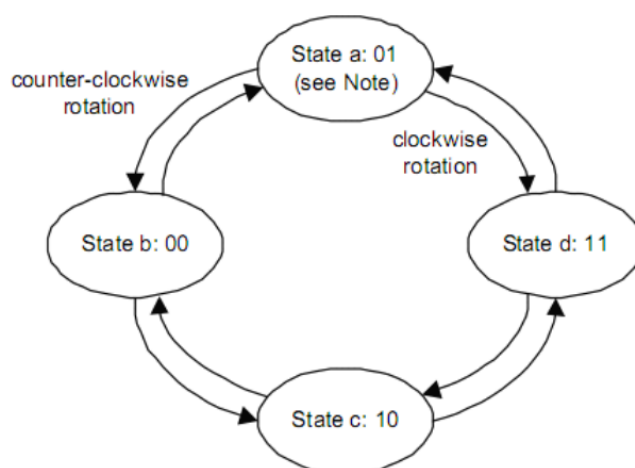


图 2.4 位置转换图

上图是抽象的位置转换图，00 代表两个传感器都处于金属区，01 和 10 代表一个传感器处于非金属区，另一个传感器处于金属区，11 代表两个传感器都处于非金属区。对应这个位置转换图能知道转子转动的方向，从变换快慢可以知道转子转动的快慢，此处我们需要的是转子转动的圈数，从圈数我们可以得到用水量。

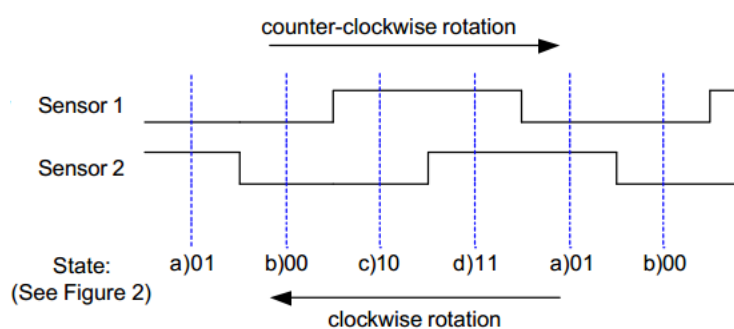


图 2.5 传感器位置相序图

以上就是使用 LC 振荡电路原理进行流量检测的基本逻辑。

2.2 流量检测传感器的选型

LC 振荡的公式：

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

其中：

f_r ：振荡频率；

L: 电感;

C: 电容;

下图中列出了不同电感和电容互相组合后的频率。

表 2.1 电感电容组合表

		Capacitance C			
		100 pF	270 pF	470 pF	1 nF
Inductance L	47 μ H	2.08 MHz	1.37 MHz	1.06 MHz	725 kHz
	100 μ H	1.45 MHz	933 kHz	725 kHz	500 kHz
	220 μ H	980 kHz	641 kHz	490 kHz	338 kHz
	470 μ H	658 kHz	435 kHz	333 kHz	233 kHz

2.3 SCAN IF 模块工作过程

SCAN IF 模块是一个接口，外部只需连接一个合适的电容和电感即可完成检测。

从时序上对 SCAN IF 模块进行分析：

- 1.激励：激励过程很短，SCAN IF 模块给电容充电，然后马上断开。
- 2.延时：这时 LC 振荡电路开始振荡，产生衰减的正弦波。正弦波需要振荡一段时间才会有明显的衰减。
- 3.检测：此时检测波形，根据波形可以得出传感器是出于金属区还是非金属区。
- 4.计数：由当前传感器的位置和上一次检测时传感器的位置，可以知道转子转动的方向和圈数。

经过以上几个时序完成一次检测。

内部 DAC 设定一条参考电压，在检测时间内，即图中 t_{gate} ，如果正弦波的包络线在参考电压之下则为 0，如果在参考电压之上则为 1。由于电压的迟滞，通常使用两个成对的 DAC 寄存器完成对传感器信号的判断。这部分在手册中有详细说明。

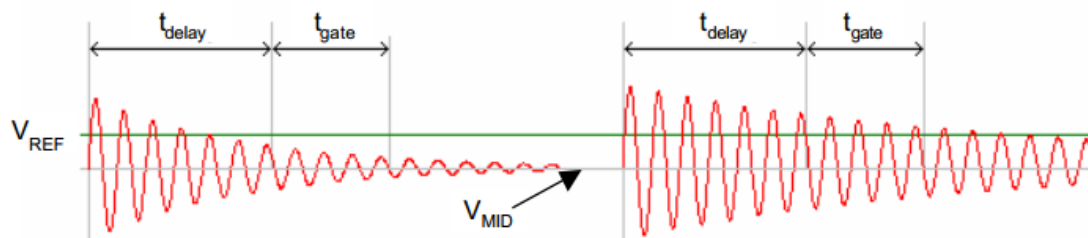


图 2.6 波形检测原理图

MSP430 单片机中的 SCAN IF 模块能够在低功耗下自动检测振荡信号的振幅或者包络线，它由模拟前端(AFE)、信号处理状态机(PSM)、定时状态机(TSM)3 部分

组成。^[2]

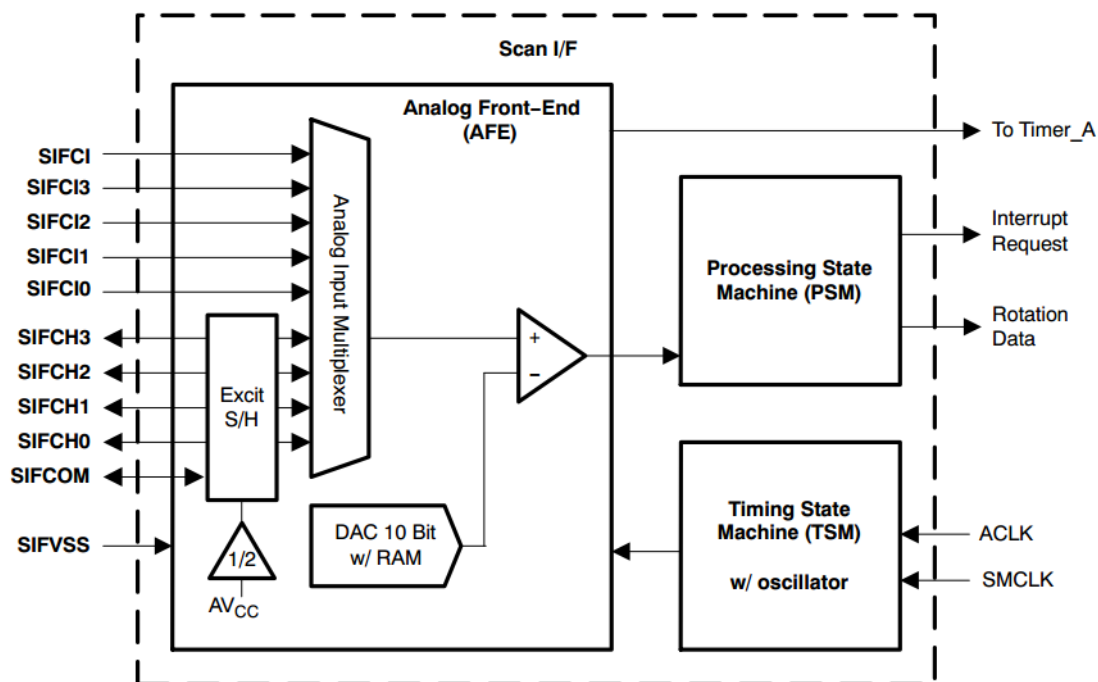


图 2.7 SCAN IF 模块框图

模拟前端(AFE)完成对输入信号的采集，并通过和内部 DAC 比较得到检测信号，并转化为可识别的数字信号传递到信号处理状态机(PSM)，信号处理状态机(PSM)根据用户软件编写的向量表完成计数操作，定时状态机(TSM)按顺序执行，定时执行操作。

2.4 PSM 状态机设置

PSM 状态机工作流程：PSM 根据上一次采样到的 S1S2 和这次采样到的 S1S2 决定取表中哪的数据。然后根据表中的 Q1 和 Q2 的值，和 SIFCTL 的设置来修改 SIFCNT 的值。为此，这张表的编写至关重要。

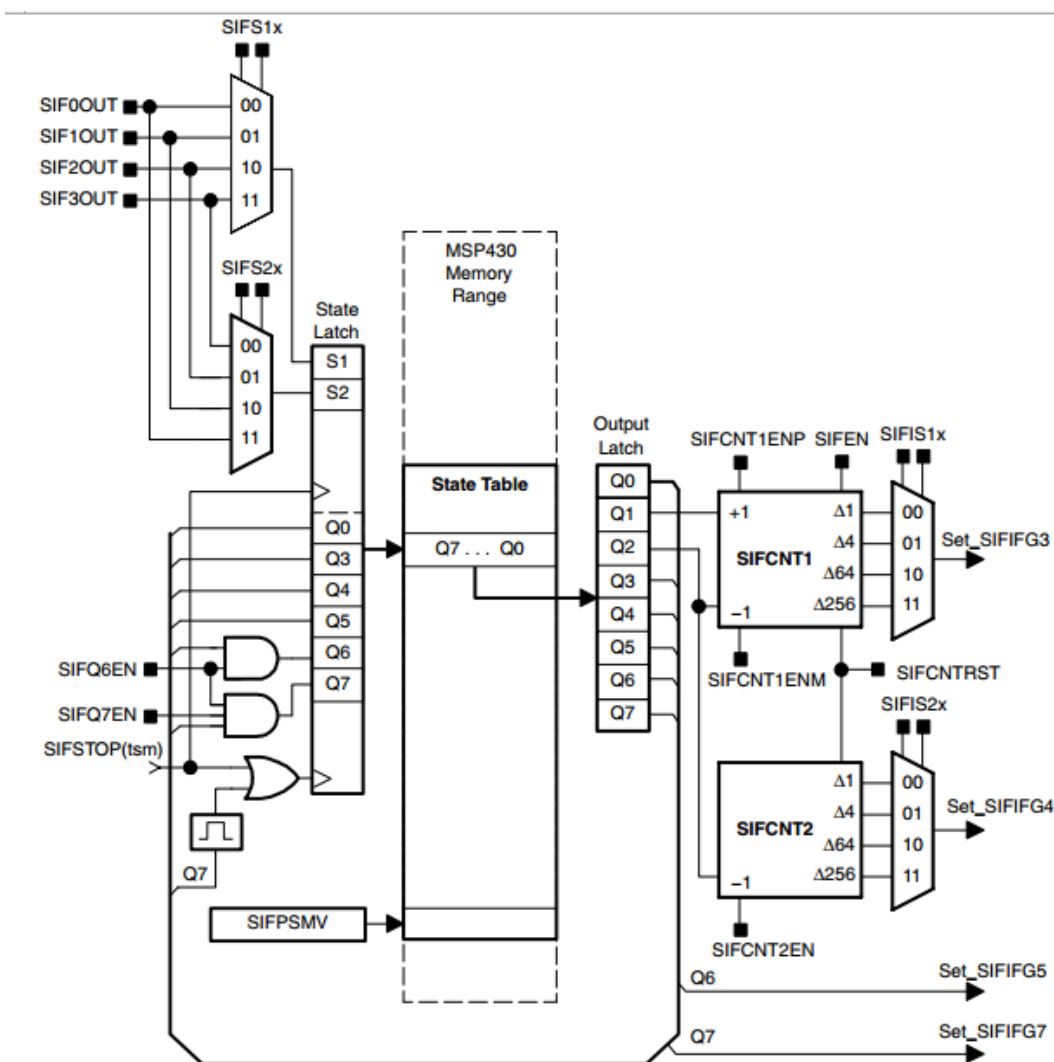


图 2.8 PSM 状态机工作框图

2.4.1 PSM 状态表原理

在下表中：No Rotation 表示 S1、S2 没有变化，Turns right 表示向右运动了 90 度，Turns left 表示向左运动了 90 度。Error: 表示发生了错误的运动。

以初始状态 00 为例，下一次是 01，则表示取 PSM 状态表的第二行，第二行的数据是 0x03, 则 Q1 位是 1，所以 SIFCNT 计数器加一。以此类推。

表 2.2 PSM 状态机状态表

Previous Quadrature Pair	Current Quadrature Pair	Movement	State Table Entry					
			Q6	Q2	Q1	Q3	Q0	Byte Code
			Error	−1	+1	Current Quadrature Pair		
00	00	No Rotation	0	0	0	0	0	000h
00	01	Turns right, +1	0	0	1	0	1	003h
00	10	Turns left, −1	0	1	0	1	0	00Ch
00	11	Error	1	0	0	1	1	049h
01	00	Turns left	0	0	0	0	0	000h
01	01	No rotation	0	0	0	0	1	001h
01	10	Error	1	0	0	1	0	048h
01	11	Turns right	0	0	0	1	1	009h
10	00	Turns right	0	0	0	0	0	000h
10	01	Error	1	0	0	0	1	041h
10	10	No rotation	0	0	0	1	0	008h
10	11	Turns left	0	0	0	1	1	009h
11	00	Error	1	0	0	0	0	040h
11	01	Turns left	0	0	0	0	1	001h
11	10	Turns right	0	0	0	1	0	008h
11	11	No rotation	0	0	0	1	1	009h

2.4.2 PSM 状态表编写

PSM 状态表是由用户编写的，因此它有很高的灵活性。正确的状态表是无磁水表正确计数的前提条件。使用两个 LC 传感器最少需要编一张 16 个成员的表。每一个成员是一个 8 位数据，从最低到最高位是 Q1-Q7，在简化的表中，Q4-Q7 是没有使用到的。Q3 和 Q0 表示当前 S1 和 S2 的值。Q1 和 Q2 表示当该值为 1 时对计数器进行加一或者减一的操作。即运行到该行时，如果 Q1 的值是 1，则计数器加一，Q2 的值是 1 则计数器减一。

SIFPSMV 指针通过地址来指向下一个成员。初始化时，我们把状态表的首地址赋值给了 SIFPSMV，下一个值的地址是：

Q7 Q6 Q5 Q4 Q3 Q0 S2 S1

下一次运行的状态表中的成员就是首地址偏移该值后的成员。

以 S1S2 为 00 为例，由于未使用 Q7-Q4，所以 Q7-Q4 等于 0，又 Q3、Q0 等于

0, S1S2 等于 0 时, 计数器不操作, 即 Q1、Q2 等于 0, 所以状态表第一个数是 0x00, S1S2 是 01 时, 取的是状态表的第二个成员, 我们认为从 00 到 01 是向右转, 此时我们需要计数器加一, 所以 Q1 等于 1, 所以第二个成员的值是 0x03. 以此可以得到一张状态表。

2.5 参考电压自校准流程

参考电压自校准也就是通过程序自动寻找到合适的参考电压, 是 SCAN IF 编程中最重要的一部分。自校准完成后, SCAN IF 的参考电压就确定了。

自校准的过程如下:

1. 初始给一个最大值 0x3ff, 此时检测 SIFCTL3 的 SIF0OUT 位, 该位为只读的, 当 SIFDAC 的值在波形之上时, SIFOUT 等于 0; 当 SIFDAC 的值在波形之下时, SIFOUT 等于 1。当给出的是最大值时, 波形必然在参考电压之下, SIFOUT 必然等于 0。
2. 延时一段时间后, 减小 SIFDAC 的值, 再次检测, 直到 SIFOUT 等于 1, 否则执行步骤 2。
3. 记录下 SIFOUT 等于 1 时的 SIFDAC 的值, 多次循环后保留最大值。
4. 然后从最小值开始, 减小 SIFDAC 的值, 再次检测, 直到 SIFOUT 等于 0, 仿照前几步, 寻找到最小值。
5. 检测 UpperDAC1-LowerDAC1 大于设定范围时, 跳出循环, 否则再从步骤 1 开始。
6. 这时, 我们得到的 UpperDAC1 和 LowerDAC1, 这两个值就是可用 SIFDAC 的上下限。得到 UpperDAC1 和 LowerDAC1 后, $\text{UpperDAC1} + \text{LowerDAC1}$ 除以 2 就是中间值。
7. 使用中间值加减 5 给 SIFDAC 赋值。传感器 1 和传感器 2 是一样的, 只需更改指定的寄存器即可。

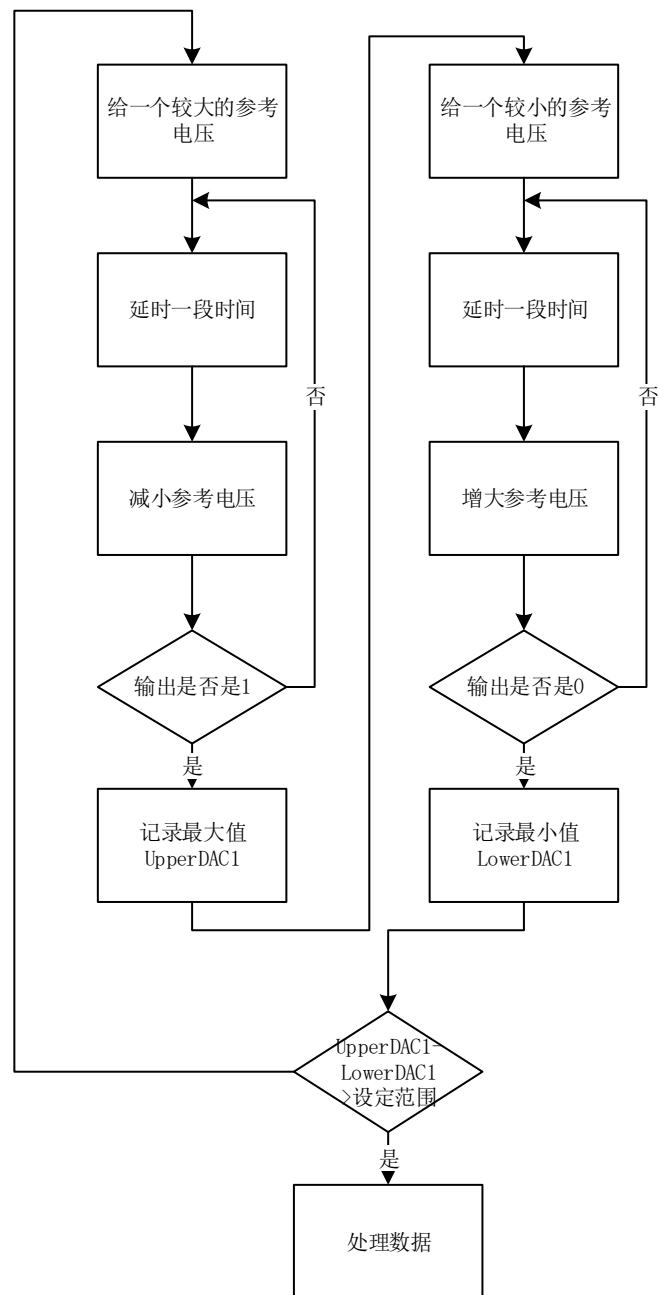


图 2.9 自校准程序流程图

2.6 总体设计思路

以 MSP430FW427 作为主控设备。初始化各个模块后，立即进入到低功耗模式，外设脱离 CPU 工作于低功耗模式。SCAN IF 工作时，自动计数，适时唤醒 CPU，处理计数器中的值。Timer_3 等待中断产生，当产生中断时，作为串口接收数据，处理数据。根据接收到的数据做出相应的动作，如：抄表，开关阀等。

2.7 结构框图

下图是本课题的结构框图。本次课题以 msp430fw427 做主控器，配合其他外设，完成无磁水表的系统设计。

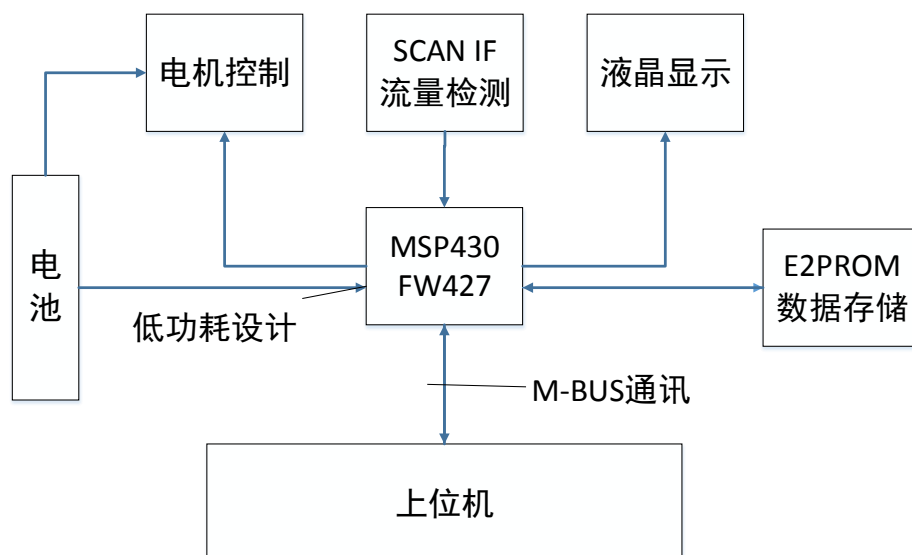


图 2.10 系统设计结构框图

2.8 本章小结

本章主要介绍了无磁传感器的工作原理，从 LC 振荡电路到无磁水表的计数逻辑，再深入分析了 SACNIF 模块的工作原理，其中主要分析了 PSM 的状态机设计，分析了 PSM 状态表的原理和编写。介绍了自校准的相关知识及逻辑。以结构框图的形式展示了无磁水表的设计思路。

3 硬件设计

根据总体设计的需求进行元件的选型,并完成原理图,再根据原理图完成 PCB 图,最后制成实物。

3.1 主控芯片的选型

MSP430 系列单片机是 TI 公司 1996 年推出的一种 16 位低功耗单片机,具有精简指令集 (RISC) 的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。

MSP430FW42x 系列单片机是 TI 公司针对电子式流量与旋转运动检测最新开发的专用 MCU 芯片,它将超低功耗 MCU、旋转扫描接口(SCAN IF)和液晶显示 LCD 驱动模块完美地结合在一起。^[6]该器件的超低功耗结构和流量检测模块不仅延长了电池寿命,同时还提高了仪表的精度与性能。^[6]MSP430FW42x 的典型应用包括热量仪表、热水和冷水仪表、气体仪表和工业流量计、风力计以及其他旋转检测应用。^[6]

其中 MSP430FW427 有 32K 的 Flash 存储器和 1KB 的 RAM,芯片大约 2 美元一片,在能完成所需功能的情况下尽量控制成本。

下图为 MSP430FW42x 的内部结构框图。

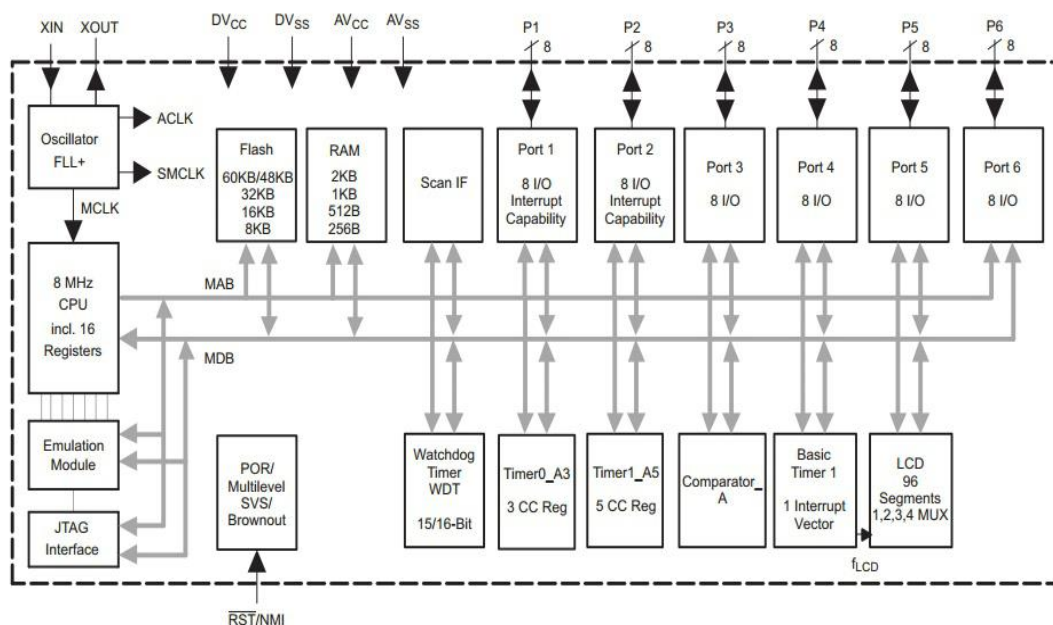


图 3.1 MSP430FW42x 系列单片机内部结构框图

3.2 LC 振荡电路设计

在第二章中已经介绍了 LC 振荡电路的原理。本小节主要介绍 LC 振荡电路外围器件的连接，下图中 J4 连接 LC 传感器 1 的一端，LC 传感器 1 的另一端接到 J5，J6 连接 LC 传感器 2 的一段，LC 传感器 2 的另一端也接到 J5 上。单片机的 SIFCOM,SIFCH0,SIFCH1 对应连接图中 SIFCOM,SIFCH0,SIFCH1。

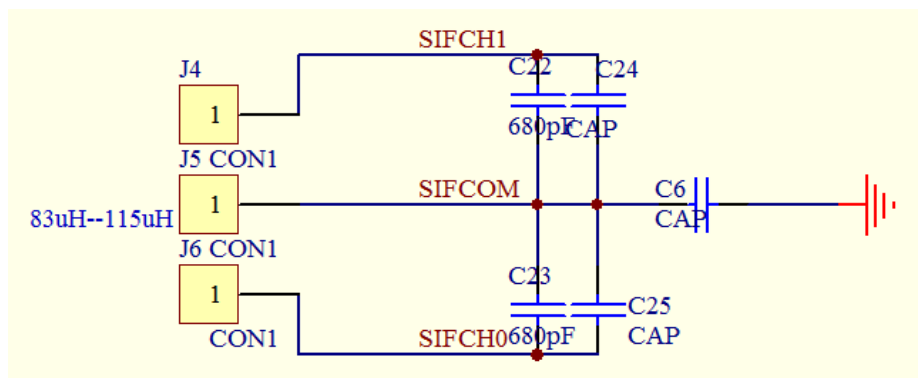


图 3.2 SCAN IF 外围原理图

3.3 液晶显示硬件连接

MSP430FW427 的液晶模块最大驱动为 96 段。其中公共端为 1 到 4 段可以编程选择。本次设计中，我们使用 4 个公共端，20 个 LCD 管脚，总计 24 个 IO 口，图中 S0-S19，分别连接单片机 S0-S19 的 IO 口。

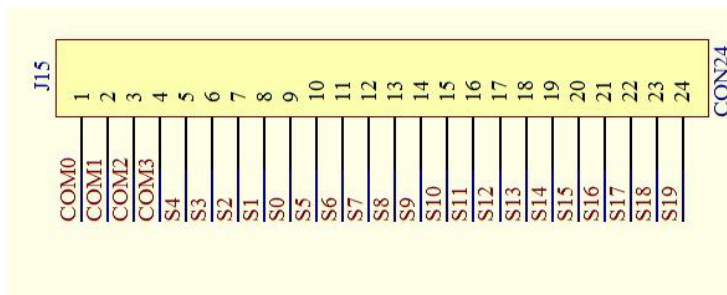


图 3.3 液晶接线原理图

3.4 电机驱动电路

电机驱动电路使用的是 H 桥式电路，使用 IO 口来控制三极管的导通和截止，从而控制电流通过电机的方向。当 K1 等于 1，K2 等于 0 时，Q7 截止，Q8 导通，所以 Q12 和 Q3 导通，电流方向为 J11 到 J12；当 K1 等于 0，K2 等于 1 时，Q7 导通，Q8

截止，所以 Q11 和 Q2 导通，电流方向为 J12 到 J11，当 K1K2 都等于 0 时，则没有电流。

由于水表阀门使用的电机并不需要电机调速，所以我们给出的信号只需是一个稳定的高低电平即可。在遇到需要电机调速的情况时，在 K1 和 K2 端给出一个可调占空比的 PWM 方波。

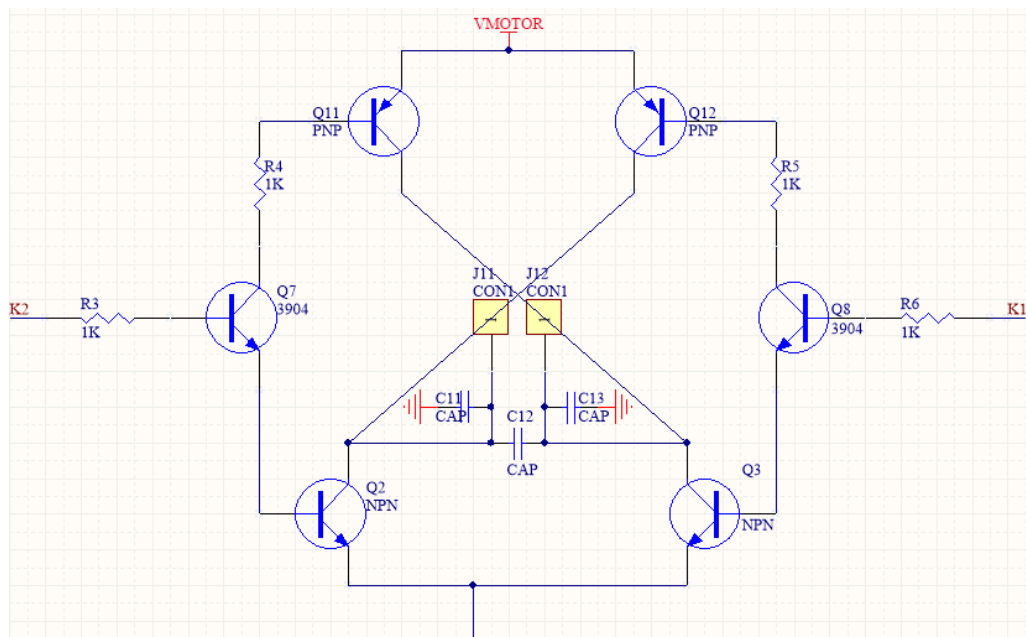


图 3.4 电机 H 桥驱动电路原理图

3.5 电流比较电路设计

当开始执行开关阀门动作时，打开比较器和 VREF，图中 CA0 和 CA1 连接在比较器两端。D5 是一个二极管，由于二极管的钳位，D5 末端的电压为 0.7V。可以算出 CA1 处的电压为 0.19V。当电机正常转动时，H 桥流出的电流大约 20mA，则 CA0 处的电压小于 CA1，约为 0.02V，当电机堵转而产生大电流时，桥式电路下端的电流大约是 300mA，则 CA0 处的电压为 0.30V，CA0 大于 CA1。当 CA0 的电压大于 CA1 的电压时，我们可以判断电机已经到达指定位置，为了防止电流过大烧坏电路，此时让 K1 和 K2 等于 0 关断 H 桥电路，使电机停止转动。

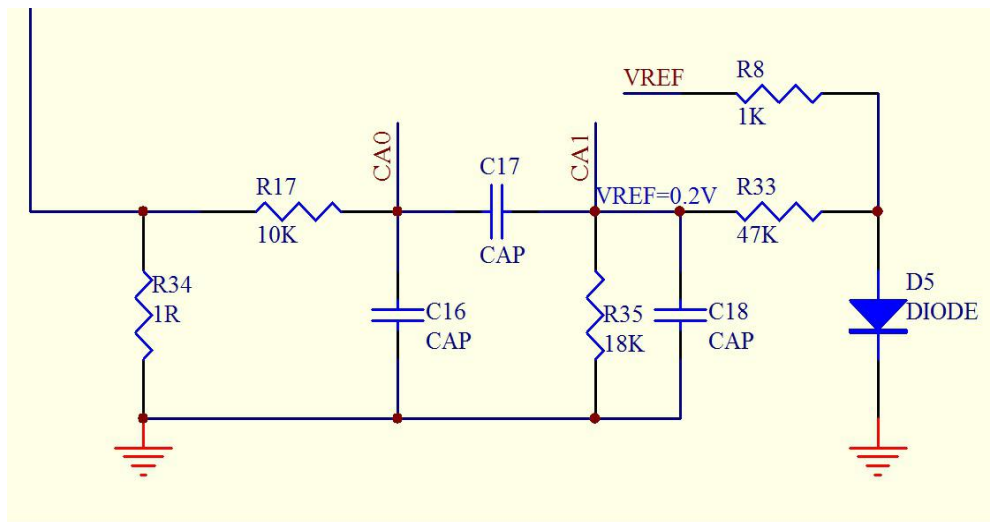


图 3.5 电机电流比较原理图

下图是实测的电机开始转动到电机堵转的电流检测图。检测点是上图 R34 的上端，R34 是一个 1 欧的电阻。电机刚启动时有一个较大的启动电流，随后稳定在较低的值，当电机堵转后，电流又急剧增加，并不再变化。

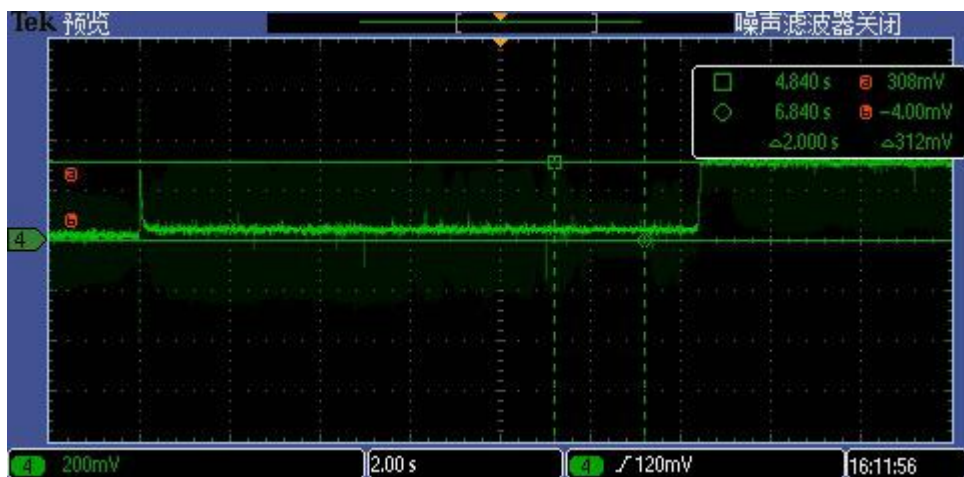


图 3.6 电机电流检测波形图

3.6 E2PROM 电路设计

图中 WP 标号是单片机的一个 IO 口，连接在 E2PROM 的 VCC 引脚上，可以通过控制 IO 口的高低电平来控制 E2PROM 的电源开关，当我们不使用 E2PROM 时，WP 拉低，这时该模块的功耗为 0，可以降低功耗。

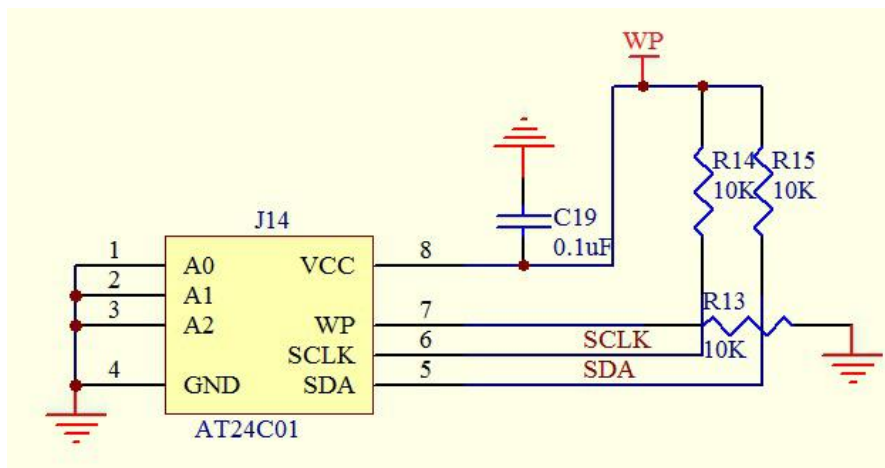


图 3.7 E2PROM 原理图

3.7 低功耗设计

单片机的功耗与单片机控制，软件设计，工作模式这几个方面有关。对单片机的低功耗设计而言，有以下几点需要注意：

1. 单片机的工作频率越低，单片机的功耗越低。手册中通常给出每 MHz 的功耗。例如:100uA/1MHz, 1.8v。通常单片机会有三个参数，分别是运行模式功耗、空闲模式功耗和掉电模式功耗。单片机的功耗和单片机的工作频率正相关。所以在低功耗设计时，在单片机正常运行的前提下，单片机的工作频率越低功耗就越低。
2. 单片机的工作电压越低，单片机的功耗越低。一般来说，单片机的功耗和单片机的工作电压成正比，数据手册通常给出单片机的最低工作电压。但是事实上因为种种原因，单片机的实际工作电压往往高于最低电压。所以参考手册给出的参数，只可以用作对比，提供的参考作用。
3. 单片机的工作的外设越少，单片机的功耗越低。数据手册上给出的最低功耗通常是在单片机处于低功耗模式，其他的外设全部关闭时的功耗。还有就是使用外设时要使用低功耗外设，注意外设的低功耗用法。
4. 根据 GPIO 的外部电路设置 GPIO 的工作状态。对于没有使用的 GPIO 应进行如下处理：把没有使用的 GPIO 设置为输出模式，根据外部电路决定拉低拉高。或者设置为输入，通过使能内部上（下）拉电阻将管脚的电平固定，也可以通过外部电路将 GPIO 连接到 VCC 或者 GND。

对于单片机来说，通常检测到的功耗与数据手册相差较大是因为对单片机未使用的 GPIO 处理不正确造成的。默认情况下，MSP430 的 GPIO 是作为输入的。当 GPIO 管脚配置为输入管脚且外部电平处于浮空状态时，那么内部 MOS 管的导通电流本身就处于一个不稳定的值，会导致整体功耗的升高。另外过高或过低的温度更会加剧

电流的不稳定。且在供电电压变大时，自身 MOS 管的导通电流也会变大。单片机处于低温和高温两种状态时，容易出现功耗攀升的现象。

5. 根据单片机的需要选择合适的低功耗模式。单片机往往有多种低功耗模式。MSP430FW42x 系列的单片机有 5 种低功耗模式，分别是：LPM0,LPM1,LPM2,LPM3,LPM4。其中 LPM4 为 RAM 保存模式，所以应该使 MCU 尽量工作在 LPM3 模式下。工作在 LPM3 模式下时，只有 ACLK 的时钟源处于工作状态，CPU 处于停止状态，外设正常工作，当检测到中断时，退出低功耗模式，进入中断。在执行完中断后，退出中断时立刻进入低功耗模式。

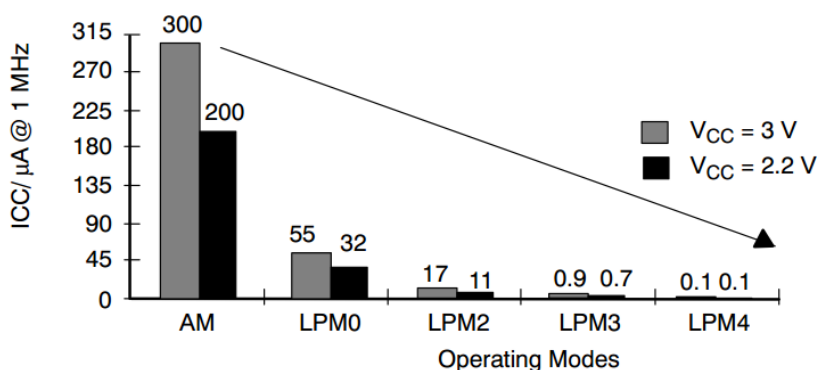


图 3.8 MSP430 功耗图

下图是 MSP430 工作模式的对比图，从下图中我们可以看出在不同的工作模式下有什么区别，从而选择自己需要的工作模式。

SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF	Mode	CPU and Clocks Status
0	0	0	0	Active	CPU is active, all enabled clocks are active
0	0	0	1	LPM0	CPU, MCLK are disabled (41x/42x peripheral MCLK remains on) SMCLK, ACLK are active
0	1	0	1	LPM1	CPU, MCLK, DCO oscillator are disabled (41x/42x peripheral MCLK remains on) DC generator is disabled if the DCO is not used for MCLK or SMCLK in active mode SMCLK, ACLK are active
1	0	0	1	LPM2	CPU, MCLK, SMCLK, DCO oscillator are disabled DC generator remains enabled ACLK is active
1	1	0	1	LPM3	CPU, MCLK, SMCLK, DCO oscillator are disabled DC generator disabled ACLK is active
1	1	1	1	LPM4	CPU and all clocks disabled

图 3.9 MSP430 工作模式对比图

3.8 本章小结

本章以模块的形式介绍了无磁水表硬件部分的设计。主要介绍了主控芯片的选型，LC 振荡电路设计，液晶显示电路，电机驱动电路，电流比较电路，E2PROM 电路设计。还介绍了 MSP430 单片机低功耗的设计思想，低功耗是电池供电设备最重要的部分，也是它的难点，为此，需要我们花费大量的精力来调试功耗问题。

4 软件设计

在一个产品设计中，硬件往往相对固定，而软件要灵活很多。所以在硬件条件相同的情况下，软件的设计是非常重要的，好的软件不仅仅在于满足功能，还可以使功能更稳定，功耗更低。

4.1 主程序设计

主程序设计思路：无磁水表的主要功能是计数和通讯，辅以电机控制，液晶显示，E2PROM 存储等功能。在主程序中，首先应该对单片机进行初始化，并把所需要的模块也进行初始化。然后就进入 LPM3，在低功耗模式下，单片机等待中断信号唤醒，唤醒后执行中断服务程序。在接收到上位机发出的正确指令后，退出低功耗模式，然后处理相应命令，执行完以后立刻进入低功耗模式。

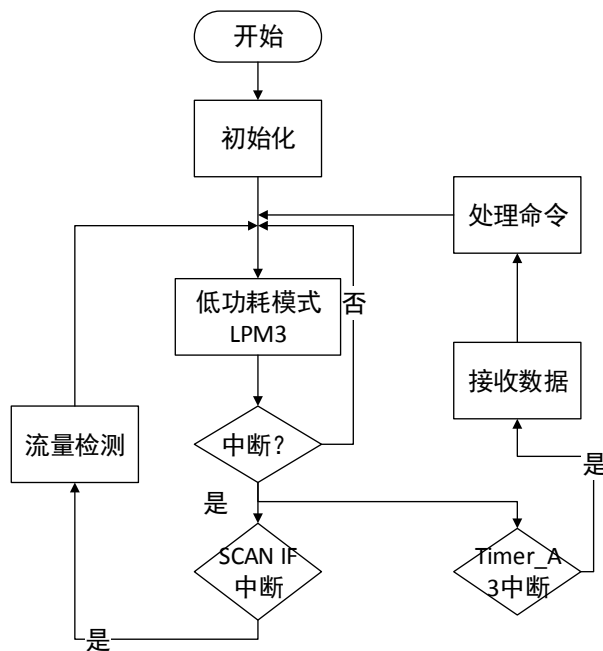


图 4.1 主函数程序流程图

4.2 初始化程序设计

程序设计中，必须对单片机的运行环境进行初始化处理。在本程序中主要是：系统时钟初始化，GPIO 初始化，SCAN IF 模块初始化，液晶初始化，AT24C64 初始化，软件模拟串口初始化，比较器初始化，电机初始化，基本定时器初始化。

程序中充分利用模块化的思想，使用条件编译，在包含该部分头文件时才编译该部分的初始化程序，不包含时就不编译。所以只需要设置是否包含头文件就可以控制是否编译这部分程序。这样可以方便开发人员调试。

```
void MSP430_Init(void)
{
    System_Init();           //系统初始化
    GPIO_Init();             //GPIO 初始化
    #ifdef SCANIF_H_
        ScanIF_Init();       //SCAN IF 模块初始化
    #endif
    ...
    ...
    #ifdef BASICTIMER_H_
        BT_Init();           //基本定时器初始化
    #endif
}
```

4.3 SCAN IF 模块

软件设计部分关于 SCAN IF 模块的设置如下：

1. 对 SCAN IF 模块使用的几个 IO 口设置为第二功能模式（SCAN IF 功能）

```
P6SEL  |=  (BIT0|BIT1);
```

```
P6DIR  &=  ~(BIT0|BIT1);
```

2. 规划时间状态机（SIFTSM_x）：时间状态机是一个从序号 0（SIFTSM0）开始，顺序执行，只到执行到结束命令为止，然后又会开始执行序号 0，一直循环下去。在时间状态机（SIFTSM_x）的控制下，SCAN IF 模块可以执行如激励、延时、打开 DAC、比较器、测量、结束等操作。时间状态机是一个独立于 CPU 的部分，只好给每一个时间状态机赋值好，并打开 SCAN IF 模块，该时间状态机就会自己运行，不需要 CPU 干预。设置代码如下：

```
SIFTSM0 = 0x8800;           //空闲状态，18 x SIFCLK
```

```
SIFTSM1 = 0x002c;          //传感器 1 激励，1 x SIFCLK
```

```
SIFTSM2 = 0x0424;          //延时，1 x ACLK（实际为：11.5 x SIFCLK）
```

```
SIFTSM3 = 0x6934;          //打开 DAC 和比较器，13 x SIFCLK
```

```

SIFTSM4 = 0x1974;           //输出, 5 x SIFCLK,
SIFTSM5 = 0x002d;           //传感器 2 激励, 1 x SIFCLK
SIFTSM6 = 0x0425;           //延时, 1 x ACLK(实际为 10.5 x SIFCLK)
SIFTSM7 = 0x6935;           //打开 DAC 和比较器, 13 x SIFCLK
SIFTSM8 = 0x1975;           //输出, 5 x SIFCLK
SIFTSM9 = 0x0220;           //结束, 1 x SIFCLK

```

3. 控制寄存器 (SIFCTLx): 控制寄存器包含诸多内容, 其中有中断的设置, 计数器的设置, 信号源的选择, 采样频率等。该部分较为特殊的两点在于: 1. SCAN IF 的使能, 需要在设置好其他寄存器之后才使能。2. 在 SIFCOM 端加载 VCC/2 电压时需要延时一段时间, 使电压稳定。程序上一般设置为:

```

SIFCTL2 = 0x0150;
for (i=0;i<=857;i++); //延时一段时间使 SIFCOM 端加载 VCC/2 电压稳定
SIFCTL3 = 0x4500;
SIFCTL4 = 0x53f0 ;
SIFCTL5 = 0x0045;

```

4. 设置信号处理状态机 (SIFPSMV): 配置信号处理状态机, 也就是编写一张信号处理状态表。然后把表的首地址复制给 SIFPSMV 寄存器, SCAN IF 模块使用时间状态机传递过来的测量值, 然后根据信号处理状态机的值对计数器进行加减等操作。

```
SIFPSMV = (unsigned int) &PSM;
```

5. 使能 SCAN IF 模块:

```
SIFCTL1 = SIFEN;           //使能 SCAN IF 模块
```

或: SIFCTL1 = SIFEN | SIFIE3 | SIFIE4; //使能 SCAN IF 模块, 并使能相应中断

6. 自校准: 自校准是指通过程序自动寻找到可用的 SIFDACRx 的值。关于 SIFDACRx 的使用在 2.5 节有详细介绍。

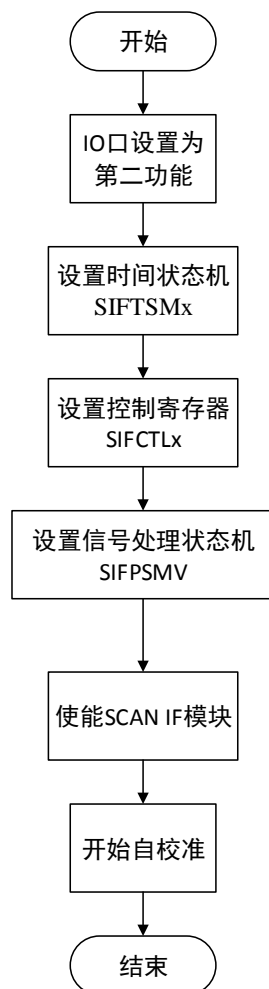


图 4.2 SCAN IF 模块初始化程序流程图

4.4 串口

因为 MSP430FW427 单片机内部没有硬件串口模块，所以需要软件模拟串口进行通讯。本次课题我们使用 MSP430FW427 内部集成的捕获比较模块（Timer_A）。这里 Timer_A 被用来产生精确定时，构造一个精确的波特率发生器，为串行通讯提供一个良好的时间基准。Timer_A 还可以用来捕获指定引脚的沿变化，使用该特性可以用来捕获串口通讯的起始位信号。

4.4.1 串口的通讯原理

下图是串口通讯的时序图。空闲状态线上是高电平，下降沿表示接收到起始信号，紧跟着 8 位数据位，可选的校验位和停止位，然后又进入空闲状态。每一位的持续时间由波特率控制。

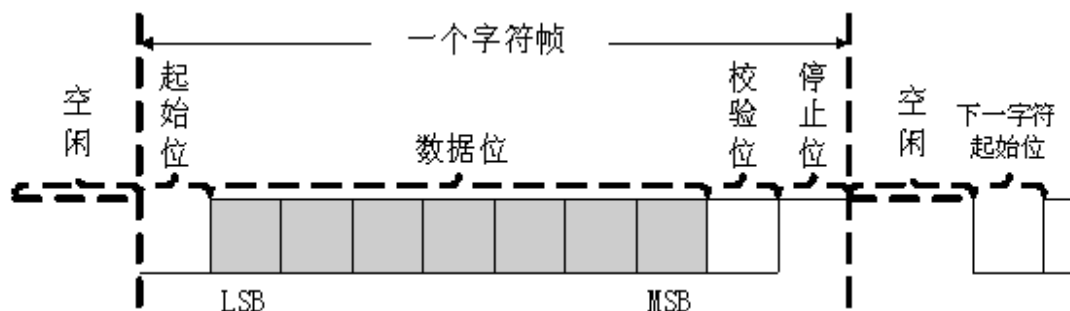


图 4.3 串口通讯时序图

4.4.2 软件模拟串口工作原理

发送模式：我们通过串口发送的是一个 8 位的数据，但是一个字符帧实际上有 10 位二进制码。所以我们要把 8 位的数据修改为一个 10 位的字符帧。

我们先把要发送的数据写入 RXTXData 中，RXTXData 在此处充当的是一个缓存器，RXTXData 的类型是 16 位无符号整形。把 8 位的无符号整形赋值给 16 位无符号整形，就是把 8 位的数据写入 16 位数据的低八位。

然后执行下面两步：

```
RXTXData |= 0x0100;           // RXTXData 的第 8 位写 1
RXTXData = RXTXData<<1;      // RXTXData 左移一位，最低位为 0
```

当我们发送数据时，我们从最低位开始，第一个发送的位是我们后来移位出来的 0，也就是起始位，然后跟着的是 8 个数据位，最后一位写 1，也就是结束位。

每次发送之前我们会通过设置一个 BitCnt 的全局变量来设置需要发送的字符数。在执行一个发送函数时，我们给 BitCnt 赋值为 10，每次发送一位 BitCnt 就减一，当 BitCnt 等于 0 的时候就代表发送结束了。

接收模式：接收模式时，需要接收 8 位有效的二进制数。我们给 BitCnt 赋值为 8，并把模块设置为捕获模式，捕获一个下降沿，因为在空闲状态时是高电平，当捕获到下降沿时就说明可以开始接收数据。每接收到一位数据 BitCnt 就减一，当 BitCnt 等于 0 时就代表接收到了 8 位的数据。这里可以根据个人设计选择之后的操作。

波特率的设计：水表的通讯中我们一般选用 2400 的波特率。波特率指的是数字信号的传输速率。使用单位时间内传输二进制代码的有效位(bit)数来表示。波特率 2400，即一秒钟发送 2400 位二进制代码，发送一位二进制代码的时间为 $1/2400 = 416.7\mu s$ ，所以 Timer_A 要做成一个约等于 $416.7\mu s$ 的中断来做波特率发生器。Timer_A 模块使用的是外部 32.768KHz 的外部晶振，所以一位的时间为 $1/32768 = 30.5\mu s$ 。所以需要 13.7 个机器周期发送一位二进制代码，13.7 四舍五入等于 14 即 0x0e。

Timer_A 内部有一个 TAR (Timer_A Register), TAR 是 Timer_A 的计数器, 它随着晶振一直计数, 当它的值等于 TACCRx 时就会产生中断, 此时, 我们让 TACCRx 计数器的值加 0x0e, 那么 14 个时钟周期后 TAR 又会再次等于 TACCRx 产生中断。重复这个过程, 直到我们接收 8 位数据位, 或者发送完 10 位数据帧, 关闭 Timer_A 的中断。

在接收时有一处需要注意, 我们检测到下降沿时进入中断, 然后我们给 TACCRx 装载一位需要的时间。下一次触发中断时是处在数据的边缘位置, 此时很有可能发生误读, 所以我们应该在一位数据的中间位置采样高低电平, 在起始位完后, 给 TACCRx 加载发送半位需要的时间, 发送一位是 13.7 个机器周期, 半位为 6.35 个机器周期, 6.35 约等于 6。

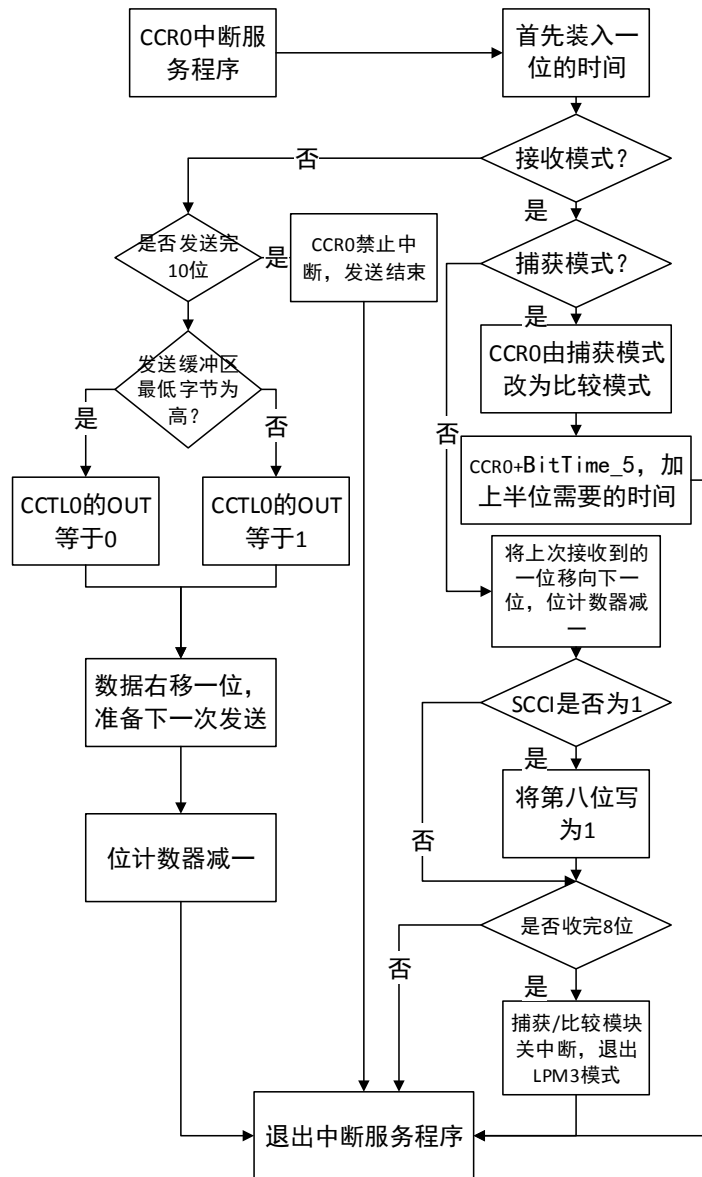


图 4.4 软件模拟串口程序流程图

4.5 上位机通讯

上位机通讯是指通过 PC 程序和单片机通讯，给单片机发送一些指令，然后单片机完成相应操作。

本次设计中制作的上位机软件主要包括阀门控制，液晶控制，读取或设置用水量，E2PROM 读取或存储用水量等功能，如有需要还可以添加其他功能。

上位机的编程使用的是 VS2013，语言是 C#。使用自带的组建完成界面的绘制，只要用到的控件包括：button，RadioButton，ComboBox，label，serialPort 等。绘制出来效果图如下图。



图 4.5 上位机界面图

程序部分主要通过事件来完成，例如按下按键以后执行发送命令，编程全部采用面向对象的设计方法，主要程序如下图所示。共 5 个事件，分别是按键 1 按下，按键 2 按下，按键 3 按下，下拉菜单选择，串口接收到数据。根据这 5 个事件，配合上位机的界面完成了上位机应用程序的制作。

```

using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;

namespace 无磁水表操控器2
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()...
        byte[] sendBuff = new byte[11] { 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff };
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)...

        private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)...

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)           //按键2: 重新搜索串口...
        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)           //按键3: 打开/关闭串口...

        private void serialPort1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)...
        static void Swap<T>(ref T a, ref T b)...
    }
}

```

图 4.6 上位机开发部分代码

4.6 液晶显示

液晶使用的是自己开模的液晶，然后与 MSP430FW427 相应的 IO 口相连，使用 MSP430FW427 自带的液晶实现低功耗显示。LCD 模块配置灵活，使用方便。只需要设置 LCDCTL 寄存器和 BTCTL 寄存器中的 Bit4-3 即可完成配置。然后只需在 LCDM1 中写入数据即可完成每一位的显示。根据原理图我们可以很轻松的完成 LCD 模块的编程。

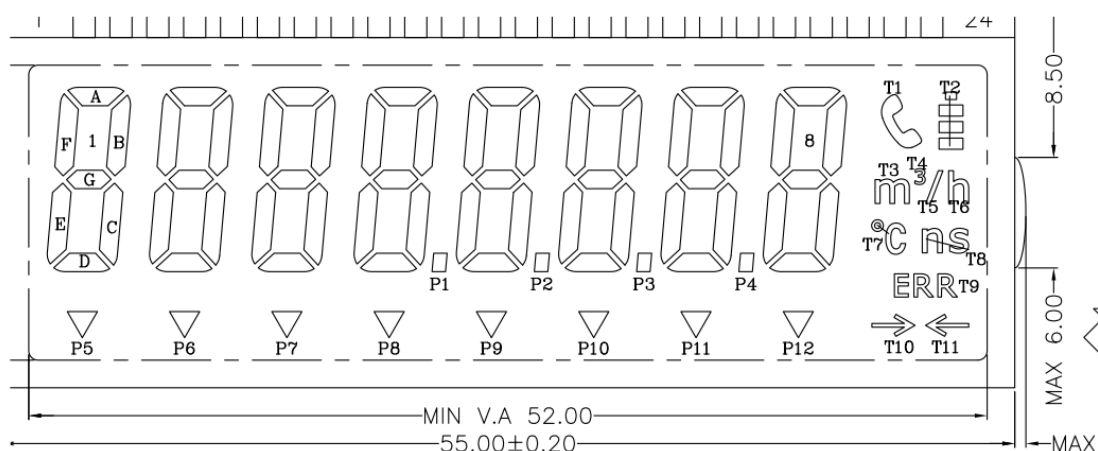


图 4.7 液晶界面图

下表是液晶段码表，结合上图可以完成对显示内容的编程。

表 4.1 液晶段码表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	COM1				1D	P5	2D	P6	3D	P7	4D	P1	5D	P2	6D	P3	7D	P4	8D	T7	T5	T9	T11	P8
2		COM2			1E	1C	2E	2C	3E	3C	4E	4C	5E	5C	6E	6C	7E	7C	8E	8C	T4	T8	T10	P9
3			COM3		1F	1G	2F	2G	3F	3G	4F	4G	5F	5G	6F	6G	7F	7G	8F	8G	T3	T6	P12	P10
4				COM4	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B	7A	7B	8A	8B	T1	T2	P11	

4.7 电机控制

电机的控制是使用 H 桥电路，通过设置图中 K1,K2 的高低电平来控制电机的开关和方向。当电机转动到极限位置堵转时，会产生很大的电流，通过电流比较电路，触发比较器中断，在中断中使电机停止转动，防止烧坏电机。

当我们接收到开阀或者关阀指令时才使能比较器，当电机堵转后，立即停止电机，并关闭比较器，这样可以降低功耗。而且，因为电机的启动电流很大，为了防止电机刚启动就立刻关闭，我们应该在启动电机后延时一段时间后再打开比较器，这样可以避免错误操作的产生。

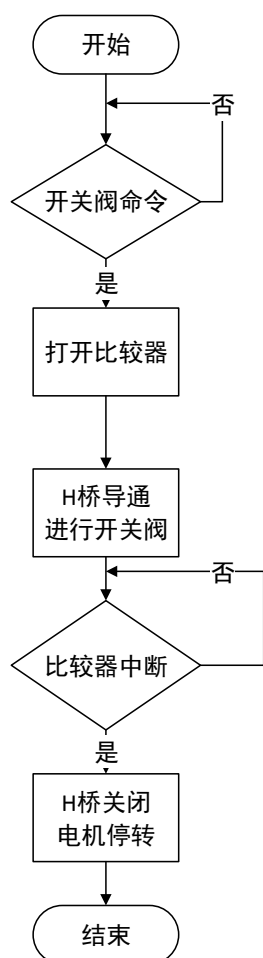


图 4.8 电机控制程序流程图

4.8 E2PROM 存储

我们的无磁水表是使用电磁供电的，所以在换电池时单片机是断电的，但是我们不希望之前的数据丢失，所以我们使用了 E2PROM 在换电池时记录下当前的用水信息，在通电时再把信息从 E2PROM 中读回去。

本次课题中，E2PROM 通过一个 IO 口供电，当不使用 E2PROM 时只需要把 IO 口拉低即可，这样可以降低功耗。由于 MSP430 没有硬件的 I2C，所以这里使用了软件模拟 I2C 协议。

4.9 本章小结

本章详细说明了无磁水表软件设计思路。软件主要是 MSP430 的基础配置，及主程序设计，初始化程序，SCAN IF 模块驱动，软件模拟串口程序，液晶驱动，电机控制程序，E2PROM 驱动，及上位机应用程序开发。

5 实验分析结果

5.1 SCAN IF 测试

使用下图设定 1 的代码，SCAN IF 模块大约 $4\mu\text{A}$ 的功耗。使用设定 2 的代码，SCAN IF 模块大约 $2\mu\text{A}$ 左右。由此可见，使用第二段代码可以节约近一半的功耗。

```
SIFTSM0 = 0x0000;
SIFTSM1 = 0x0420; // ACLK sync
SIFTSM2 = 0x002C; // DAC=off, CA=off, 1xSIFCLK, excitation SIFCH.0
SIFTSM3 = 0x0424; // DAC=off, CA=off, 1xACLK SIFCH.0
SIFTSM4 = 0x6934; // DAC=on, CA=on, 14xSIFCLK SIFCH.0
SIFTSM5 = 0x2174; // DAC=on, CA=on, 5xSIFCLK, SIFRSON SIFCH.0

SIFTSM6 = 0x0421; // ACLK sync
SIFTSM7 = 0x002D; // DAC=off, CA=off, 1xSIFCLK, excitation SIFCH.1
SIFTSM8 = 0x0425; // DAC=off, CA=off, 1xACLK SIFCH.1
SIFTSM9 = 0x6935; // DAC=on, CA=on, 14xSIFCLK SIFCH.1
SIFTSM10 = 0x2175; // DAC=on, CA=on, 5xSIFCLK, SIFRSON SIFCH.1
SIFTSM11 = 0x0200; // stop
```

图 5.1 SCAN IF TSM 状态机设定 1

```
SIFTSM0 = 0x8800; //空闲状态, 18 x SIFCLK
SIFTSM1 = 0x002c; //传感器1激励, 1 x SIFCLK
SIFTSM2 = 0x0424; //延时, 1 x ACLK (实际为: 11.5 x SIFCLK)
SIFTSM3 = 0x6934; //打开DAC和比较器, 13 x SIFCLK
SIFTSM4 = 0x1974; //输出, 5 x SIFCLK,
SIFTSM5 = 0x002d; //传感器2激励, 1 x SIFCLK
SIFTSM6 = 0x0425; //延时, 1 x ACLK(实际为10.5 x SIFCLK)
SIFTSM7 = 0x6935; //打开DAC和比较器, 13 x SIFCLK
SIFTSM8 = 0x1975; //输出, 5 x SIFCLK
SIFTSM9 = 0x0220; //结束, 1 x SIFCLK
```

图 5.2 SCAN IF TSM 状态机设定 2

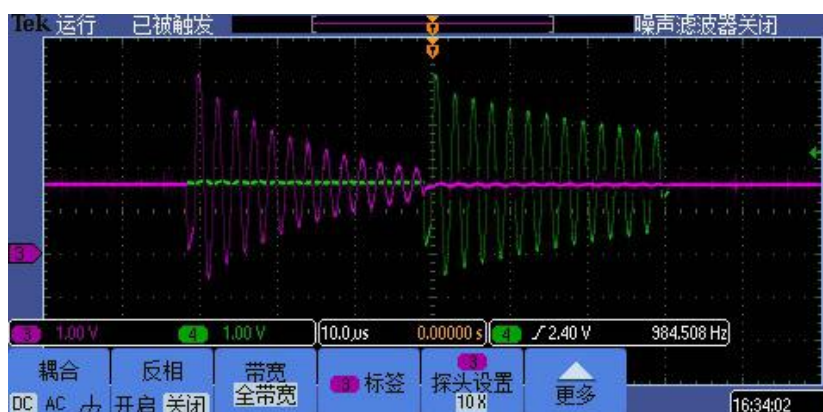


图 5.3 设定 2 波形图

5.2 电容电感测试

以下是使用不同电感进行波形测试的实验波形图。根据对比，最后选择 $140\ \mu\text{H}$ 大体积电感。

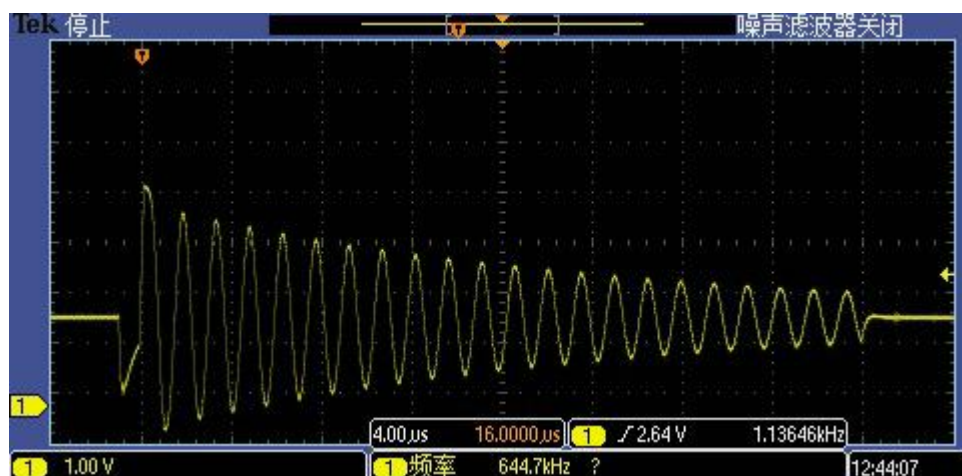


图 5.4 电容电感测试 1：80UH 大体积电感正常波形

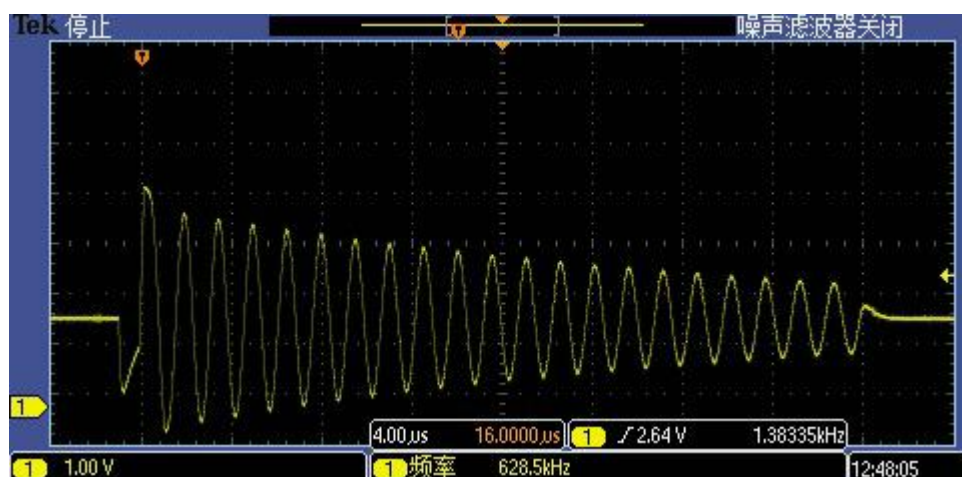


图 5.5 电容电感测试 2：80UH 小体积电感正常波形

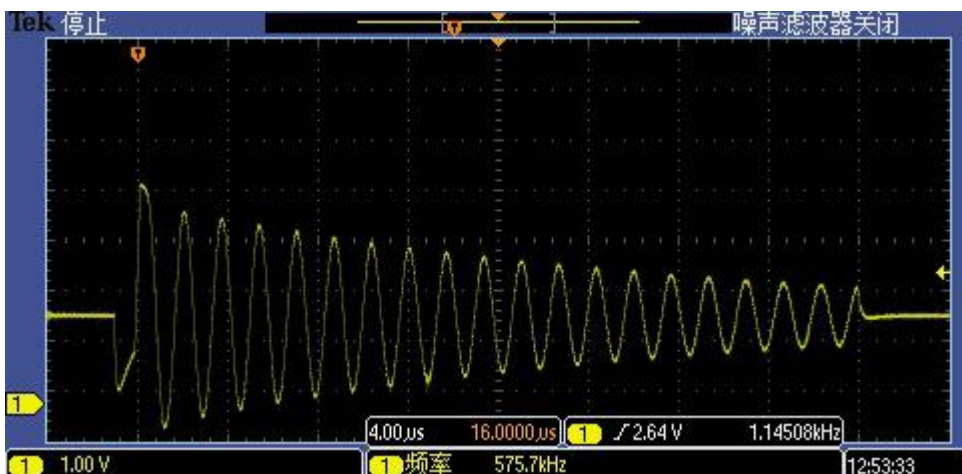


图 5.6 电容电感测试 3：100UH 大体积电感正常波形

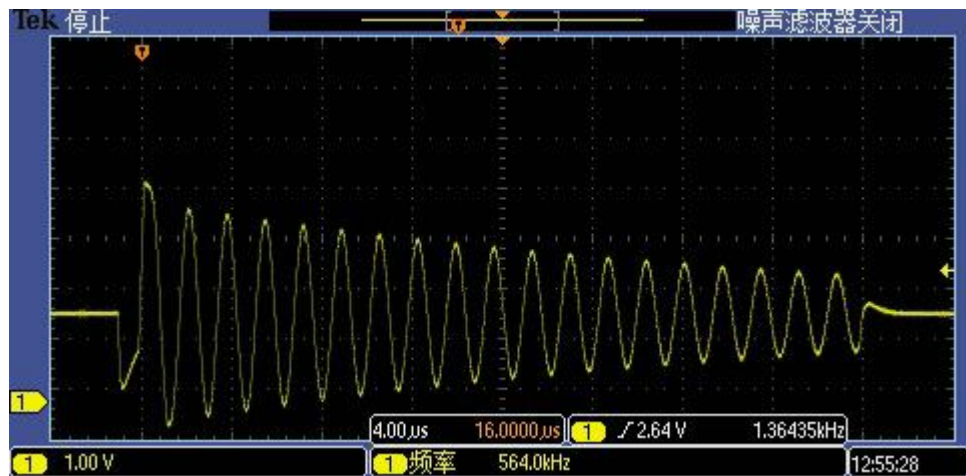


图 5.7 电容电感测试 4: 100UH 小体积电感正常波形

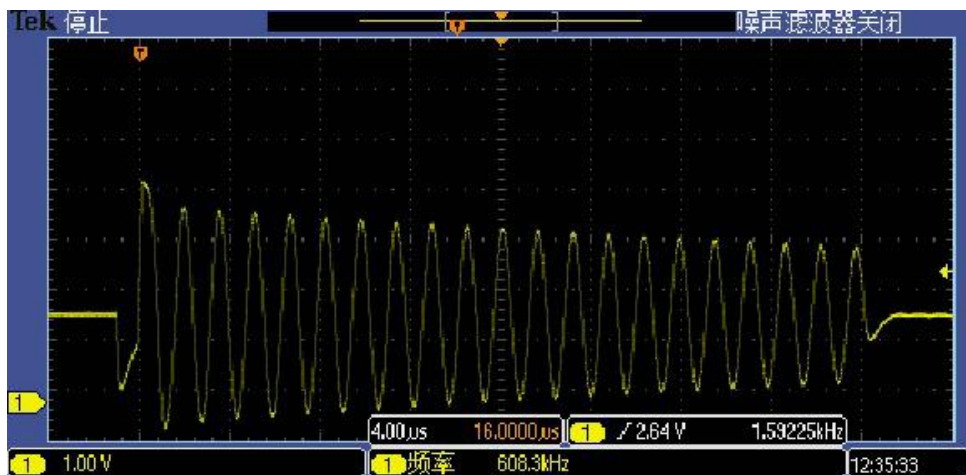


图 5.8 电容电感测试 5: 140UH 大体积电感正常波形

5.3 液晶测试

液晶测试主要在设置液晶的刷新频率，即修改 BTCTL 寄存器的 Bits3-4，00 : $f_{\text{ACLK}}/32$, 01 : $f_{\text{ACLK}}/64$, 10: $f_{\text{ACLK}}/128$, 11 : $f_{\text{ACLK}}/256$ 。经过测试，这两位设置为 10 时，液晶不会闪烁且功耗最低。

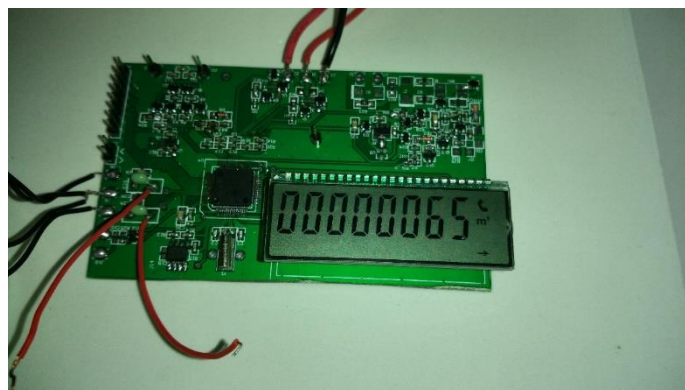


图 5.9 液晶显示图

5.4 本章小结

本章主要给出了 SCAN IF 模块，电容电感，液晶实验过程中的测试数据及实验截图。

6 本文总结

本文广泛的查阅了国内外的相关手册，官方资料，期刊，文献等。经深入研究，选择 TI 公司生产的 MSP430FW427 单片机为主控芯片，制作了无磁水表，这是一种新型的水表，能为客户用水提供准确的计量。

本文详细介绍了基于 MSP430FW427 单片机无磁水表系统设计过程，硬件方面我司自主设计电路，器件选型，绘制原理图和 PCB 板。遵循模块化的设计原则，完成整个系统设计。本次课题需要完成的任务主要有：

1. 了解无磁传感器的工作原理，深入研究 SCAN IF 模块，了解 SCAN IF 模块如何通过无磁传感器完成对流量的检测。和普通的有磁传感器相比，无磁传感器不会吸附水中杂质，长期使用可以保持高精度。内部集成的 SCAN IF 模块，可以在初始化后脱离 CPU 工作，使功耗大大降低。
2. LCD 显示，使用自己开模的液晶，定制显示的内容。该系列单片机的内部集成了 LCD 模块，最高支持 96 段显示。操作简单，功耗低，显示内容定制且直观。
3. 软件模拟串口，使用起来灵活，可以轻松切换到 M-BUS 总线协议上，在水表实际抄表中是使用的 M-BUS 总线协议，只需把串口输出的高低电平取反即可。
4. 上位机开发，使用 C#和 VS2013 开发的 windows 桌面应用程序，使数据通讯变得直观、简单、美观。现实项目中使用的功能更加复杂的大型系统，一般使用网页开发。但现在开发的 windows 桌面应用程序仍可以作为测试之用。
5. 系统的低功耗设计，无磁水表一般工作在电池供电的情况下，使用 3.6V，2000mA/h 的锂电池供电。主控芯片在不打开模块功能的情况下，工作电压 3V 时，功耗低于 1 μ A，使用模块功能时，一般在 1 到 4 个 μ A 不等，整体低于 10 个 μ A。传输数据时，开关电机时，读写 E2PROM 时功耗相对来说大很多，会达到毫安级，但是这类操作相对较少。抄表一般一天或者数天一次，开关电机一般只在没电的时候一次，因此对水表的低功耗影响不大。

本次课题的不足及需要改进的地方：

1. 有些器件选型不好，硬件部分的功耗降不下来。如复位电路使用的那个元器件，需要几个 μ A，而且多处使用了这个期间，这会导致功耗急剧增加。还有电机电源部分的电路也没设计好，功耗会增加到 6 个 mA，因此硬件部分需要修改。液晶的对比度电阻选择也有问题，功耗超过预期，预期在 2 μ A 左右，实际使用中超过 50 μ A，因此功耗问题还有很多地方需要改进。
2. 表记现在是独立的，没有地址管理的概念，下一步就是建立地址的概念，在抄表时至关重要，实际使用中不可能点对点，而应该是对一块区域的所有表进行一次集抄。

参考文献

- [1]王云平,邵定国,李朝东. MSP430 单片机在新型智能水表开发中的应用[J]. 计量技术,2005,10:11-12.
- [2]徐爱华,罗琴.MSP430 单片机中 SCAN IF 模块在流量检测中的应用[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007,04:510-512.
- [3]周金治,范富宏. 以 MSP430FW427 为核心的远程数字水表设计[J]. 西南科技大学学报,2007,03:79-82.
- [4]吴志成,肇启明,马步青,郭红军. 国内智能化水表的应用现状与发展方向[J]. 中国给水排水,2003,09:19-21.
- [5]黎洪生,张英. 基于单片机的无磁传感水表的设计[J]. 传感器与微系统,2006,03:54-56.
- [6]贾灵. 基于 MSP430FW427 的无磁水表设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006,05:84-85.
- [7]杨雪岩. 基于 MSP430 单片机的电子式水表设计[J]. 计算机工程与应用,2006,18:92-94+119.
- [8]王丁磊,吴杰. 智能水表的发展现状[J]. 工业计量,2010,01:21-23.
- [9]陈秋阳,陈春平. 基于 MSP430FW427 无磁热能表的设计[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2010,01:81-85.
- [10]周雪峰. 我国水表现状与发展趋势分析[J]. 中国高新技术企业,2010,25:99-100.
- [11]江文鑫,汪建晓. 基于 MSP430 单片机的旋转机械转速测量[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2009,03:17-20.
- [12]唐美芹,赵辉,刘伟佳. 基于 MSP430 的无磁热量表设计及实现[J]. 自动化与仪表,2009,12:9-12.
- [13]罗琴. 基于 MSP430 单片机的智能热量表的研究[D].南昌大学,2007.
- [14]武斌,忻龙彪. 基于 PIC 单片机的低功耗无磁 IC 卡水表设计[J]. 低压电器,2008,10:11-13+41.
- [15]祝向辉,王让定,姚灵,孙广清. 无磁水表中参考电压自校准方法研究[A]. 中国仪器仪表学会.第七届全国信息获取与处理学术会议论文集[C].中国仪器仪表学会:,2009:5.
- [16]王宗辉,张世豪,姚灵. 智能水表技术及发展趋势[J]. 仪表技术,2014,06:45-48.
- [17] Application Report. Rotation Detection with the MSP430 Scan IF .SLAA222 – November 2004
- [18] User's Guide. MSP430x4xx Family. TEXAS INSTRUMENT,2003: 61. 67

- [19] Application Report.MSP430FW42x Scan IF Demo Box Hardware and Software .TEXAS INSTRUMENT, SLAA578–April 2013
- [20] Datasheet.MSP430FW42x Mixed-Signal Microcontroller. TEXAS INSTRUMENT, SLAS383E OCTOBER 2003 –REVISED DECEMBER 2013
- [21] Zhou Ying Li Hongsheng. Design of New Low Power Loss Nonmagnetic Water Meter. The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments.2007
- [22] Qi Shi- qing Shi Chang-qing Pang Ke- xin Liu Yu. Design of RF Non-magnetic Heat Meter Featuring Low Power Consumption Basing on Flooding Route. 2010 International Conference on Computer Design And Appliations.2010

附录 A

下位机程序：

```
/*文件名： main.c*/
#include "includes.h"
void main(void)
{
    MSP430_Init();
    _EINT();
    WaterVolume = 0;
    while(1)
    {
        LPM3;
        Frame_Work();
    }
}

__interrupt void BT_IRQ(void)
__interrupt void CMP_ISR(void)
__interrupt void ScanIF_ISR(void)
__interrupt void Timer_A(void)

/*文件名： Init.h*/
void MSP430_Init(void);
void System_Init(void);
void GPIO_Init(void);

/*文件名： 24C64.h*/
void I2C_24C64_Init(void);

unsigned char I2C_24C64_Write(unsigned int addr,unsigned char *pdate,unsigned char len);
unsigned char I2C_24C64_Read(unsigned int addr,unsigned char *pdate,unsigned char len);

/*文件名： LCD.h*/
#define    LCD_NUM8(a)    LCDM8 = segTable[a]

/*--P1 到 P12*/
```

```
#define LCD_P1(a) if(a) LCDM4 |= 0x10;else LCDM4 &= (~0x10);
#define LCD_P12(a) if(a) LCDM10 |= 0x04;else LCDM10 &= (~0x04);
/*--T1 到 T11*/
#define LCD_T1(a) if(a) LCDM9 |= 0x08;else LCDM9 &= (~0x08);
#define LCD_T11(a) if(a) LCDM10 |= 0x01;else LCDM10 &= (~0x01);
void LCD_DisplayWaterVolume(void);
/*文件名：Frame.h*/
void Frame_Get(void);
void Frame_Work(void);
void Write_WaterVolume(void);
void Read_WaterVolume(void);
/*文件名：Motor.h*/
#define MOTOR_OPEN K1_RESET;K2_SET
#define MOTOR_CLOSE K1_SET;K2_RESET
#define MOTOR_STOP K1_RESET;K2_RESET
void Motor_Init(void);
void Motor_Open(void);
void Motor_Close(void);
void Motor_Stop(void);
/*文件名 BasicTimer.h*/
void BT_Init(void);
/*文件名 COMPARATOR.h*/
void CMPA_Init(void);
void CMPA_Enable(void);
void CMPA_Disable(void);
unsigned char CMPA_Read_CAOUT(void);
/*文件名 I2C.h*/
void Delay_I2C(unsigned int time);
void I2C_WP_H(void);
...
void I2C_SCL_L(void);
unsigned char I2C_SDA_Read(void);
void I2C_Init(void);
```

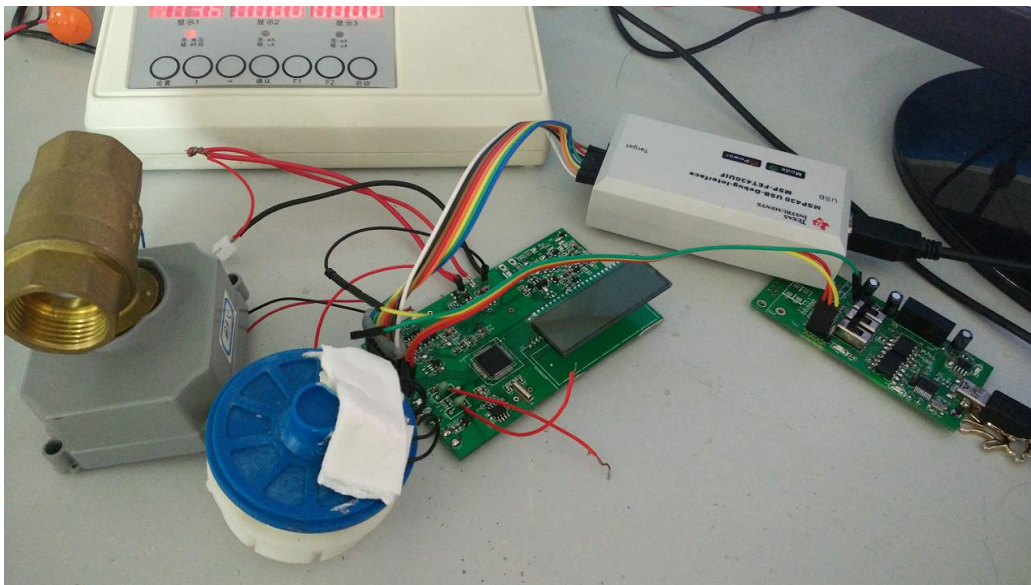
```
void I2C_Start(void);
void I2C_Stop(void);
void I2C_ACK(void);
void I2C_NoACK(void);
unsigned char I2C_WriteByte(unsigned char byte);
unsigned char I2C_ReadByte(void);
/*文件名 SCAN IF.h*/
void ScanIF_Init(void);
void ScanIF_Delay(void);
void ScanIF_Cal(void);
/*文件名 UART.h*/
void UART_Init(void);
void TX_Ready(void);
void TX_Byte(unsigned char byte);
void TX_String(unsigned char *string);
void RX_Ready(void);
```


上位机程序：

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;

public Form1()
byte[] sendBuff = new byte[11] { 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff };
    /*按键 1， 发送数据*/
private void button1_Click(object sender, EventArgs e);
    /*更改下拉栏选项*/
private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e);
    /*按键 2： 重新搜索串口*/
private void button2_Click(object sender, EventArgs e);
    /*按键 3： 打开/关闭串口*/
private void button3_Click(object sender, EventArgs e);
    /*串口接收数据， 处理数据*/
Private void serialPort1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e);
```

附录 B



实物图



上位机界面图

学位论文数据集

关键词*		密级*	中图分类号*	UDC
无磁水表；MSP430；低功耗；		公开	TP273	621
论文赞助				
学位授予单位*		学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*
中国计量学院		10356	工学	学士
论文题名*	基于低功耗 msp430 无磁水表单片系统开发			论文语种*
并列题名*	Design of Non-magnetic Water Meter MCU system Base On Low Power Consumption MSP430			简体中文
作者姓名*	李超	学号*	1100107231	
培养单位名称*	培养单位代码*	培养单位地址		邮编
中国计量学院	10356	浙江省杭州下沙高教园区学源街		310018
学科专业*		研究方向*	学制*	学位授予年*
机械电子工程		机械电子工程	四年	2015 年
论文提交日期*	2015 年 5 月			
导师姓名*	吴善强	职称*	副教授	
评阅人	吴善强	答辩委员会主席*	许昌	
答辩委员会成员	许昌、李孝禄、赵进慧、王栋、徐立军（答辩秘书）			
电子版论文提交格式 文本（ <input checked="" type="checkbox"/> ） 图像（ <input type="checkbox"/> ） 视频（ <input type="checkbox"/> ） 音频（ <input type="checkbox"/> ） 多媒体（ <input type="checkbox"/> ） 其他（ <input type="checkbox"/> ） 推荐格式：application/msword； application/pdf				
电子版论文出版（发布者）		电子版论文出版（发布）地		权限声明
论文总页数*		46		
注：共 51 项，其中带“*”为必填数据。				