

# 陶瓷学院科技艺术学院

## 本科生毕业设计（论文）

中文题目：基于单片机的太阳能中央热水系统的设计

英文题目：SOLAR ENERGY CENTRAL HOT WATER SYSTEM

DESIGN BASED ON SINGLE CHIP MICROCOMPUTER

院    系：景德镇陶瓷学院科技艺术学院

专    业：自动化

姓    名：刘绪斌

学    号：201030455128

指导教师：张玲

完成时间：2014 年 5 月 20 日

## 摘 要

本文设计了一个太阳能热水器智能控制系统。它以 89S51 单片机为核心，配合电阻型 4 档水位传感器、负温度系数 NTC 热敏电阻温度传感器、8255A 扩展键盘和显示器件、驱动电路（电磁阀、电加热、报警）等外围器件，完成对太阳能热水器容器内的水位、水温测量、显示；时间显示；缺水时自动上水，水溢报警；手动上水、参数设置；定时水温过低智能电加热等功能。

其中本文第一章主要说明了太阳能热水器智能控制系统的研究现状和本课题的主要任务，第二章对系统的整体结构作了简单介绍，第三章介绍硬件电路，第四章介绍主程序设计。

本系统对于水位传感器、水温传感器的电阻数据的处理均采用独特的 RC 充放电的方法。它与使用 A/D 转换器相比，电路简单、制造成本低。特别适用于对水位、水温要求不精确的场合。

**关键词：**太阳能 热水器 控制器 89S51 传感器

## ABSTRACT

This article has designed a intelligence control system for solar-powered water heater. It take the 89C52 microcontroller integrated circuit as the core, the coordinate 4 grades of waters level resistance sensor, the negative temperature coefficient NTC thermistor temperature sensor, the 8255A expansion keyboard and the demonstration component, the actuate circuit (solenoid valve, electric heating, warning) and other periphery component, completes to the water level and temperature measure and demonstrate; the time demonstrate; lack of water automatically upstream, the water overflow warn; fixed time intelligently electric heat.

The first chapter of this article mainly explained the research situation of the solar-powered water heater intelligence control system and the primary mission of this topic. The second chapter has made the simple introduction to the overall construction of the system. The third chapter introduces the hardware circuit, the fourth chapter of the main program design.

Regarding the process of the water level sensor and water temperature sensor resistance data this system uses the method of the unique RC electric sufficient and discharging. Compared to using the A/D converter, the electric circuit is simple, the production cost is low. Specially it is suitable for the water level and the water temperature measuring requested unprecise situation.

**Key word:** Solar energy water heater controller 89C52 sensor

## 目录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
1.1 课题背景及意义 .....	1
1.1.1 背景.....	1
1.1.2 意义.....	2
1.2 国内外研究现状及发展 .....	2
1.3 本课题主要研究内容 .....	3
2 系统设计方案.....	4
2.1 系统设计方案比较及论证 .....	4
2.2 方案的比较与确定 .....	4
2.3 太阳能热水器整体结构大致可以分为四大部分 .....	5
3 硬件电路设计.....	6
3.1 控制系统组成及工作原理 .....	6
3.1.1 控制系统组成.....	6
3.1.2 控制装置的工作原理.....	7
3.2 最小系统电路设计 .....	8
3.3 水位和水温测量电路硬件设计 .....	11
3.3.1 水位检测电路设计.....	11
3.3.2 温度检测电路设计.....	19
3.3.3 水位、水温测量电路的整体设计.....	21
3.4 时钟电路.....	22
3.4.1 时钟芯片选择.....	22
3.4.2 时钟电路的应用设计.....	24
3.5 键盘和显示电路 .....	26
3.5.1 方案选择.....	26
3.5.2 显示电路工作原理.....	29
3.6 其他硬件电路设计 .....	32
4 软件设计.....	35
4.1 软件设计的概述.....	35
4.2 程序流程图.....	35
结论.....	38
致谢.....	40

---

参考文献.....	41
附录 A：系统硬件电路图.....	42

## 1 绪论

单片机应用发展迅速而广泛。在过程控制中，单片机既可作为主计算机，又可作为分布式计算机控制系统中的前端机，完成模拟量的采集和开关量的输入、处理和计算，然后输出控制信号。单片机广泛用于仪器仪表中，与不同类型的传感器相结合，实现诸如电压、功率、频率、湿度、流量、速度、厚度、压力、温度等物理量的测量；在家用电器设备中，单片机已广泛用于电视机、录音机、电冰箱、电饭锅、微波炉、洗衣、高级电子玩具、家用防盗报警等各种家电设备中。在计算机网络和通信、医用设备、工商、金融、科研、教育、国防、航空航天等领域都有着十分广泛的应用。

随着科技的发展，太阳能热水器的发展迅速，本设计通过单片机对太阳能热水器水箱内的水位和水温进行检测，并完成温度显示和水位控制。该设计要求具有一定的智能化，可操作性和稳定性好。

### 1.1 课题背景及意义

#### 1.1.1 背景

随着全球人口和经济规模的不断增长，能源使用带来的环境问题及其诱因逐渐为人们所认识，“低碳经济”这一概念开始进入人们的视野。人们在大力的发展太阳能产业。

能源问题将更为突出：①从长远来看，全球已探明的石油储量只能用到 2020 年，天然气也只能延续到 2040 年左右，即使储量丰富的煤炭资源也只能维持二百年。②环境污染③温室效应引起全球气候变化。因此，人类在解决上述能源问题，实现可持续发展，只能依靠科技进步，大规模地开发利用可再生清洁能源。

太阳能具有：①储量的“无限性”太阳每秒钟放射的能量大约是  $1.6 \times 10^{23}$  次方 kW，一年内到达地球表面的太阳能总量折合标准煤共约  $1.892 \times 10^{13}$  次方千亿 t。②太阳能对于地球上绝大多数地区具有存在的普遍性，可就地取用。③发利用时几乎不产生任何污染。鉴于此，太阳能必将在世界能源结构转换中担纲重任，成为理想的替代能源。

在世界范围内，太阳能热水器技术已很成熟，并形成行业，正在以优良的

性能不断地冲击电热水器市场和燃气热水器市场。2000 年太阳能热水器取代 47000 套家用电热水器；2000 年日本太阳能热水器的拥有量将翻一番；以色列更是明文规定，所有新建房屋必须配备太阳能热水器。目前，我国是世界上太阳能热水器生产量和销售量最大的国家。

然而，目前市场上太阳能热水器的控制系统大多存在功能单一、操作复杂、控制不方便等问题，很多控制器具有温度和水位显示功能，却不具有温度控制功能，致使热水器阴天的时候不能方便使用。即使热水器具有辅助加热功能，也可能由于加热时间不能控制而产生过烧，从而浪费电能。

### 1.1.2 意义

能源问题与安全问题是现代社会各界普遍关注的焦点之一。目前市场上存在三种样式的热水器：电热水器、燃气热水器和太阳能热水器。近年来，在一氧化碳中毒事故中，由燃气热水器造成的约占 1/3；电热水器的大规模用电，并不能给人们的正常生活带来便利，作为后来者的太阳能热水器，因其安全性好、节能、绿色环保等优点，近几年呈现出爆发式的发展趋势。

选择太阳能热水器这个课题，可以让我更好的认知可持续发展问题，看清目前的能源现状，以及各国在节约能源上的措施，在太阳能革新上运用的新技术。此外，太阳能热水器已经走进千家万户，控制系统是太阳能的核心，可以尽可能做到节能环保，作这样一个设计，不仅可以考察自己大学四年的专业课的理论与动手实践能力，产品也具有一定的市场前景。

## 1.2 国内外研究现状及发展

目前，在国内，太阳能热水器控制已经进入智能化阶段，市面上在售的控制器绝大部分具备温度、水位显示功能和自动控制功能。有的控制器配备有辅助电加热装置，自动实现了比较理想的人机交互界面。并已形成行业，正在以优良的性能不断地冲击电热水器市场和燃气热水器市场。我国是世界上太阳能热水器生产量和销售量最大的国家。太阳能热水器技术正在向更加方便、更加绿色、更加节能方向发展，为此，更加先进的硬件和更合理的软件被开发出来。现在有太阳能热水器分辨率高，完全能满足用户的需求。且还具有良好的用户界面，可以定时，随心所欲调节水温、水位。

### 1. 3 本课题主要研究内容

利用单片机设计一个水位控制系统，要求选择合适的水位传感器及电磁阀，当设定完水位后，系统根据水位情况控制电磁阀的开启和关断。具体要求如下：

1. 要求： 具有温度和水位的检测，具备水位指示、自动给水、温度显示、定时给水、无给水自动停电报警等功能，利用 LED 显示器显示太阳能热水器的运行状况的功能。

2. 总体设计：画出系统的总体框图。

3. 硬件设计：用图纸画出系统的硬件图。

4. 软件设计：画出软件流程图并设计相应软件。



## 2 系统设计方案

### 2.1 系统设计方案比较及论证

方案一：以 AT89S51 单片机作为系统核心，分析处理水温水位传感器的信息，并作出相应的控制，并输出显示。

方案二：用 FPGA（可编程门阵列）实现：，对信息进行分析处理，然后作相应的控制。

方案三：采用西门子公司生产的 S7-200 系列 PLC（可编程控制器）控制。PLC 是以计算机技术为核心，通过简单的编程可以实现强大的功能。在现代化大规模控制系统中，PLC 集散控制系统正被广泛采用。

### 2.2 方案的比较与确定

单片机控制适合于功能比较简单的控制系统，而且其具有成本低，功耗低，体积小算术运算功能强，技术成熟等优点。其缺点是外围电路比较复杂，编程复杂。方案二使用 FPGA 控制，稳定性好，抗干扰能力强，编程及调试也相对简单，但就目前来说其成本过高，会造成资源的浪费，能满足设计要求，方案三功能强大，编程简单，但是广泛应用的中小型 PLC 显示功能较差，往往只能通过面板信号灯的状态来确定输出状态，对于设备的状态过程无法显示，从而给调试程序员带来不便，而且成本也很高。综上所述本设计的核心部分采用方案一。2.2 系统方案的选定由上述分析与论证，确定了系统的总体设计方案：以 AT89S51 单片机为核心，温度传感器 AD590 检测水温，液位传感器检测液位，并通过调理电路和转换器接入单片机，继而通过驱动电路连接数码管显示水温和水位，外加报警电路和热键组成了系统的硬件电路，其系统的整体框图如图 2-1 所示

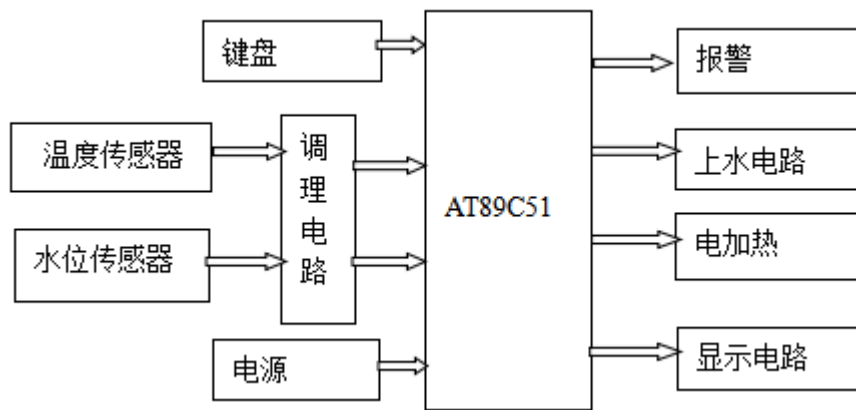


图 2-1 系统总体框图设计

### 2.3 太阳能热水器整体结构大致可以分为四大部分

1. 水位、水温测量电路。这部分用于采集水位水温信号给单片机，是太阳能热水器控制器最关键的部位。
2. 时间、水位、温度显示和键盘电路。这部分用于系统和人的信息交互，有对太阳能热水器状态的直观显示，也有用于人对系统控制的键盘电路。
3. 时钟电路。给系统提供时间显示和参考时间。
4. 驱动电路。包括电加热、上水电磁阀、报警电路，是整个系统的执行部分。

### 3 硬件电路设计

#### 3.1 控制系统组成及工作原理

##### 3.1.1 控制系统组成

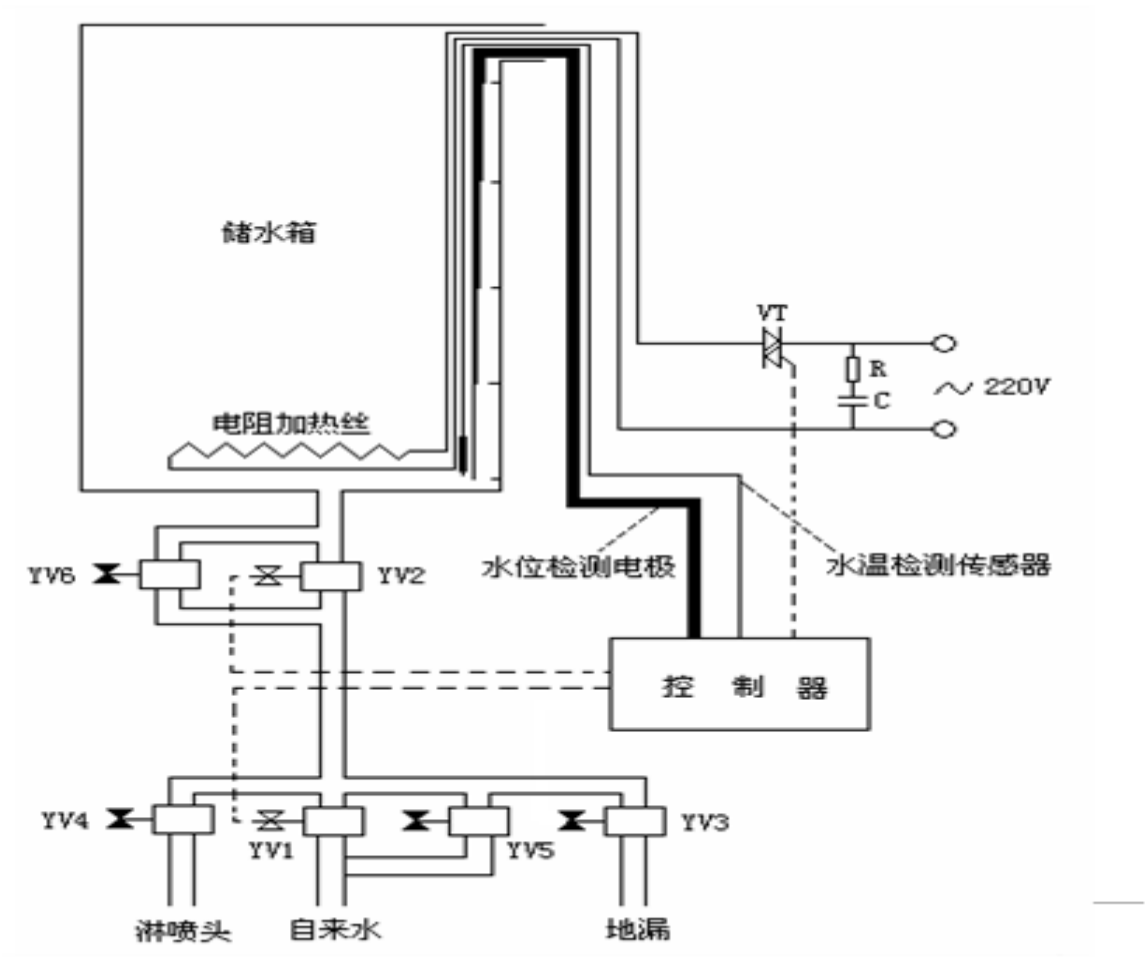


图 3-1 太阳能热水器中央控制系统电路

系统组成：如图 3-1 所示，本系统主要由控制器、自动控制阀、手动控制阀、水位检测电极、水温检测传感器、电阻加热丝、储水箱等组成

控制器：主要通过里面的电磁阀控制 YV1 和 YV2 的通断，控制水温检测传感器检测水温、控制水位检测传感器检测水在水箱中的位置以及控制电阻加热丝加热。

自动控制阀：主要通过控制器控制，当水箱中的水的实际温度大于所设置的温度时，自动阀就自动打开往水箱中上水，直到上到上一个目标水位为止。

手动控制阀：当自动阀损坏时，可以通过手动阀进行上下水。

水位检测电极：主要用来检测水箱中水的位置。

水温检测传感器：主要用来检测水箱中水的实际温度。

电阻加热丝：主要用来加热水箱中水，使其达到用户所需要的温度。

### 3.1.2 控制装置的工作原理

本控制系统分为手动和自动两种控制方式，在系统处于自动状态下，当检测温度高于设置温度，且水位未达到最高时，控制器打开电磁水阀 YV1 和 YV2 进行上水，同时点亮上水指示灯，当水位上至上一目标水位时，自动停止上水（即关闭电磁水阀 YV1 和 YV2），若水箱内无水，则自动上水至最低水位处。

在系统处于手自动状态下，可自由上水或停止上水（上水时水箱水位必须未满），若水位达到最高则自动停止上水；若需要启动加热器则必须先设定加热温度，然后按下加热键进行加热；若需洗浴时，则需打开手动阀 YV4，系统自动打开电磁水阀 YV2，可通过 YV5 自由调节水温；当电磁水阀 YV1 和 YV2 损坏或停电时，可通过打开 YV5 和 YV6 进行上下水解决燃眉之急；此系统设置 YV3 是为了防止冬天气温过低引起水管因内有积水而冻裂（即手动打开此阀放完水管中的积水）。

### 3.2 最小系统电路设计

AT89S51 引脚定义及功能介绍如图 3-2。

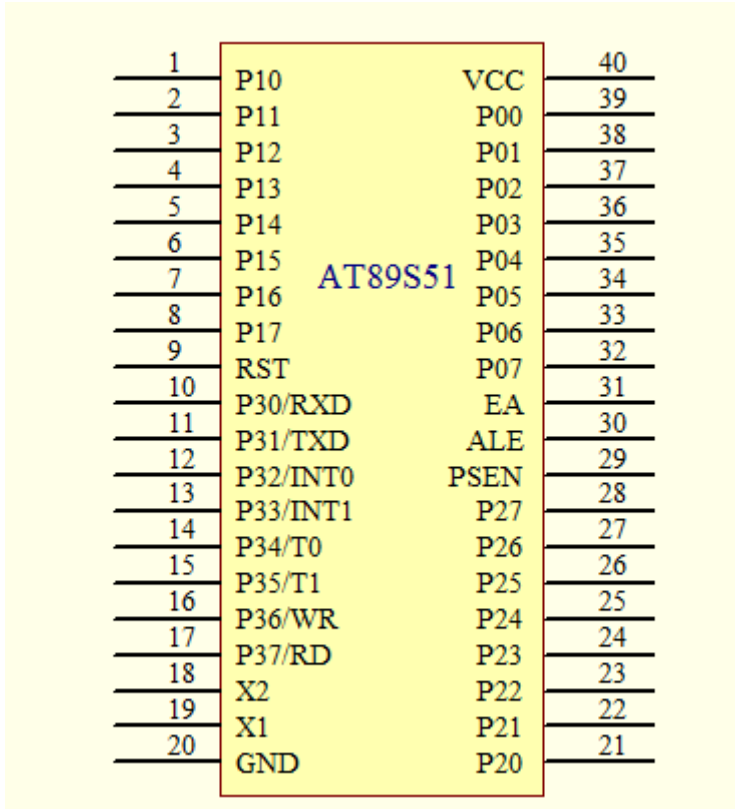


图 3-2 AT89S51 引脚及网络标号

**P0口：**P0口是一个8位漏极开路的双向I/O口。作为输出口，每位能驱动8个TTL逻辑电平。对P0端口写“1”时，引脚用作高阻抗输入。当访问外部程序和数据存储器时，P0口也被作为低8位地址/数据复用。在这种模式下，P0具有内部上拉电阻。在FLASH编程时，P0口也用来接收指令字节；在程序校验时，输出指令字节。程序校验时，需要外部上拉电阻。

**P1口：**P1口是一个具有内部上拉电阻的8位双向I/O口，P1输出缓冲器能驱动4个TTL逻辑电平。对P1端口写“1”时，内部上拉电阻把端口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（IIL）。此外，P1.0和P1.2分别作定时器/计数器2的外部计数输入（P1.0/T2）和定时器/计数器2的触发输入（P1.1/T2EX），具体如下所示：

- 在FLASH编程和校验时，P1口接收低8位地址字节。
- 引脚号第二功能：

- P1.0/T2 （定时器/计数器T2的外部计数输入），时钟输出
- P1.1/T2EX （定时器/计数器T2的捕捉/重载触发信号和方向控制）
- P1.5 MOSI （在系统编程用）
- P1.6 MISO （在系统编程用）
- P1.7 SCK （在系统编程用）

P2口：P2口是一个具有内部上拉电阻的8位双向I/O口，P2输出缓冲器能驱动4个TTL逻辑电平。对P2端口写“1”时，内部上拉电阻把端口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（IIL）。在访问外部程序存储器或用16位地址读取外部数据存储器（例如执行MOVX @DPTR）时，P2口送出高8位地址。在这种应用中，P2口使用很强的内部上拉发送1。在使用8位地址（如MOVX @RI）访问外部数据存储器时，P2口输出P2锁存器的内容。在FLASH编程和校验时，P2口也接收高8位地址字节和一些控制信号。

P3口：P3口是一个具有内部上拉电阻的8位双向I/O口，P3输出缓冲器能驱动4个TTL逻辑电平。对P3端口写“1”时，内部上拉电阻把端口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（IIL）。P3口亦作为AT89S51特殊功能（第二功能）使用，如下表所示。

表3-1 端口引脚第二功能

端口号	第二功能
P3.0	RXD（串行输入口）
P3.1	TXD(串行输出口)
P3.2	INT0(外中断0)
P3.3	INT1(外中断1)
P3.4	T0(定时/计数器0)
P3.5	T1(定时/计数器1)
P3.6	WR(外部数据存储器写选通)
P3.7	RD(外部数据存储器读选通)

此外，P3口还接收一些用于FLASH闪存编程和程序校验的控制信号。

RST——复位输入。当振荡器工作时，RST引脚出现两个机器周期以上高电平将使单片机复位。

ALE/PROG——当访问外部程序存储器或数据存储器时，ALE（地址锁存允许）输出脉冲用于锁存地址的低8位字节。一般情况下，ALE仍以时钟振荡频率的1/6输出固定的脉冲信号，因此它可对外输出时钟或用于定时目的。要注意的是：每当访问外部数据存储器时将跳过一个ALE脉冲。对FLASH存储器编程期间，该引脚还用于输入编程脉冲（PROG）。

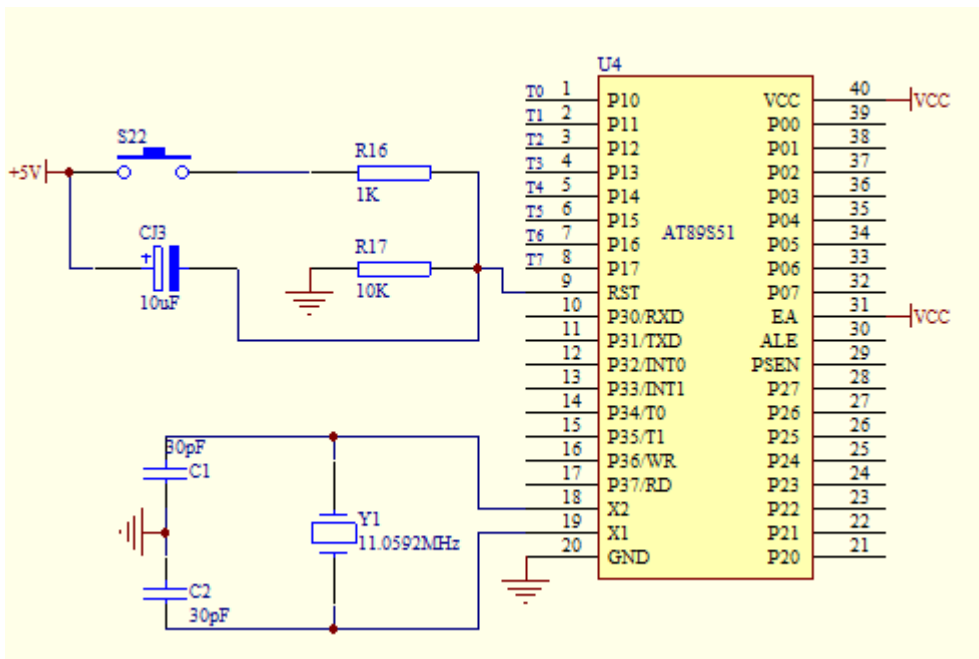
PSEN——程序储存允许（PSEN）输出是外部程序存储器的读选通信号，当AT89S51由外部程序存储器取指令（或数据）时，每个机器周期两次PSEN有效，即输出两个脉冲，在此期间，当访问外部数据存储器，将跳过两次PSEN信号。

EA/VPP——外部访问允许，欲使CPU仅访问外部程序存储器（地址为0000H~FFFFH），EA端必须保持低电平（接地）。需注意的是：如果加密位LB1被编程，复位时内部会锁存EA端状态。如EA端为高电平（接VCC端），CPU则执行内部程序存储器的指令。FLASH存储器编程时，该引脚加上+12V的编程允许电源VPP，当然这必须是该器件是使用12V编程电压VPP。

X1：振荡器反相放大器和内部时钟发生电路的输入端。

X2：振荡器反相放大器的输出端。

图3-3中网络标号RST连接单片机RST引脚，具有上电复位与手动复位的功能；X1与X2连接单片机X1和X2引脚，且并联两个30pF匹配电容使晶振起振。





利用流体静力学原理测量液位，是压力传感器的一项重要应用。采用特种的中间带有通气导管的电缆及专门的密封技术，既保证了传感器的水密性，又使得参考压力腔与环境压力相通，从而保证了测量的高精度和高稳定性。

是针对化工工业中强腐蚀性的酸性液体而特制，壳体采用聚四氟乙烯材料制成，采用特种氟胶电缆及专门的密封技术进行电气连接，既保证了传感器的水密性、耐腐蚀性，又使得参考压力腔与环境压力相通，从而保证了测量的高精度和高稳定性。

工作原理：

用静压测量原理：当液位变送器投入到被测液体中某一深度时，传感器迎液面受到的压力公式为： $P = \rho \cdot g \cdot H + P_0$  式中：

$P$ ：变送器迎液面所受压力

$\rho$ ：被测液体密度

$g$ ：当地重力加速度

$P_0$ ：液面上大气压

$H$ ：变送器投入液体的深度

同时，通过导气不锈钢将液体的压力引入到传感器的正压腔，再将液面上的大气压  $P_0$  与传感器的负压腔相连，以抵消传感器背面的  $P_0$ ，

使传感器测得压力为： $\rho \cdot g \cdot H$ ，显然，通过测取压力  $P$ ，可以得到液位深度。

功能特点：

◆稳定性好，满度、零位长期稳定性可达 0.1 %FS/ 年。在补偿温度 0 ~ 70 °C 范围内，温度漂移低于 0.1 %FS，在整个允许工作温度范围内低于 0.3 %FS。

◆具有反向保护、限流保护电路，在安装时正负极接反不会损坏变送器，异常时送器会自动限流在 35MA 以内。

◆固态结构，无可动部件，高可靠性，使用寿命长。

◆安装方便、结构简单、经济耐用。

## 二、水位测量方案比较

水位测量可以有多种方法，需从性能和成本两方面进行考虑，选择合适的方案。

### 1. 排阻分档键盘式水位传感器

在许多资料中都介绍了一种类似键盘电路的分档水位传感器，其原理图如图 3-4 所示。

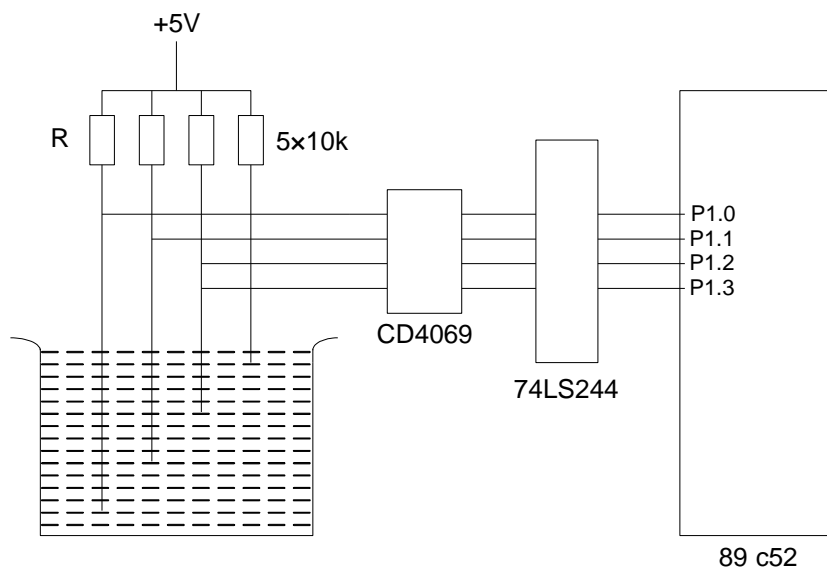


图 3-4 分档水位传感器

它的工作原理类似于键盘的工作原理，用 5 根不锈钢针分别置于水箱内的四种不同高度的位置，当某个钢针不接触水面时，其输出为高电平；当其与水面接触时则输出低电平。它们的输出接至电子开关 CD4069，经过 CD4069 反向并经 74LS244 驱动后分别接入 89S51 的 P1. 0~P1. 3 引脚。CPU 对这些引脚进行判断后，送去显示相应的水位值。显示共分 4 档，每档为满水位的 25%。这种方法简单，易实现，省去了传统的 A/D 转换器，成本低，虽然不精确但可以满足使用要求。

### 2. RC 充放电式水位传感器测量电路

这种电路资料较少，但我们在市场上购买的桑乐太阳能的水位和水温传感器就是基于这种原理，其基本形状如图 3-5 所示。

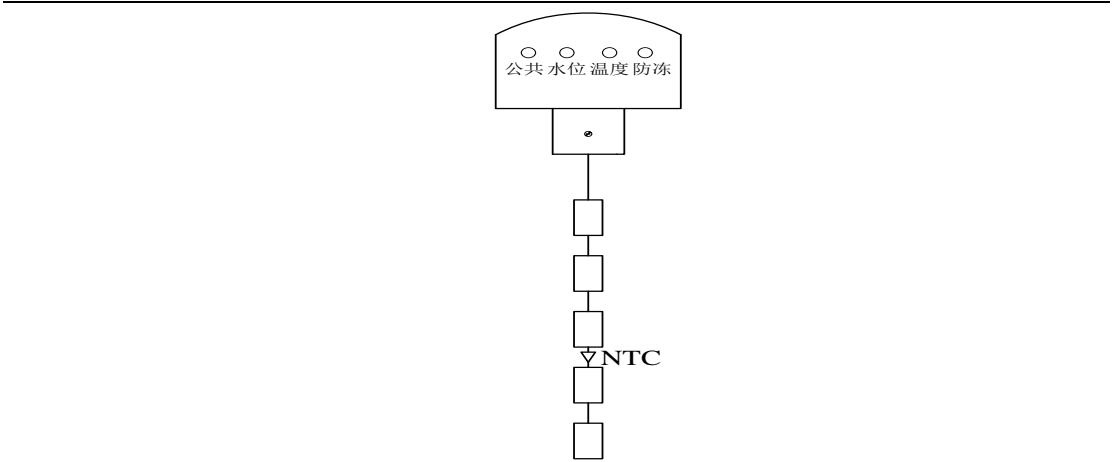


图 3-5 桑乐太阳能水位水温传感器外形图

从图 4-2 中我们可以清楚地看到传感器外形非常简单，一共只有 4 个端口，其中一个是防冻接口，没有使用，使用的只有 3 个端口，在可用的三个端口上分别标有公共、水位、水温标志，由此可知测量水位、水温都只用了一个端口。观察传感器可知水位传感器有 5 个与水接触点，我们从上到下依次命名它们为 1—5 触点。我们分别测量了触点不同接法时公共和水位两端口之间的电阻，数据如表 3-2 所示。

由上述测试结果的电阻值得出这样的规律，那就是电阻的并联短接，其原理如图 3-6 所示。

表 3-2 输出电阻值表

短接方式	无 短 接	1、2	1、2、3	1、2、3、4	1、2、3、4、5
输出电阻值（kΩ）	极大	25	12.5	8.6	6.3

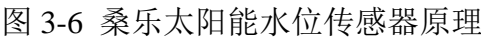


图 3-7 RC 充放电式水位传感器测量电路原理图

RC 充放电式水位传感器测量电路,明显优于排阻分档键盘式水位传感器的地方有:

（1）接线简单，排阻分档键盘式水位传感器需要四根导线传输水位信号，而 RC 充放电式水位传感器仅需要两根就能完成，这对于线路较长的太阳能热水器传输信号电路来说能节省相当多的导线资源。

（2）给水温测量电路设计带来方便，RC 充放电式水位传感器的原理可以同样运用到热电阻温度测量电路中。

（3）占用较少的 I/O 口，仅需两个 I/O 口就能完成水位检测任务，极大地节约了单片机的 I/O 口资源。

综上所述可见选用第二种方案较为优越。

### 三、 水位测量电路的具体设计及优化

#### 1. 直接接单片机 I/O 口检测

单片机中的定时器可以提供电压变化时间的纪录，接下来就是如何将电压的变化传递给单片机。一种简单的方案是：用 P1.0 口给 RC 电路周期性的充放电，然后用 P1.1 口监测电容的电平变化，完成计时，这种方案看上去简单易实现，但实际则行不通。按刚才提到的方法接图如图 4-5。

这样做得到的结果是 P1.1 的电压一直保持高电平，即电容电压一直保持高点平。这与单片机内部电路有关，单片机的内部电路如图 3-8 所示。

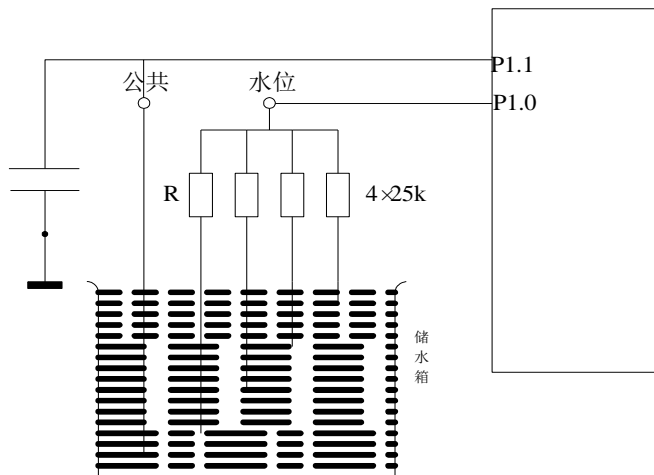


图 3-8 直接用 I/O 检测电容电压测量水位电路原理图

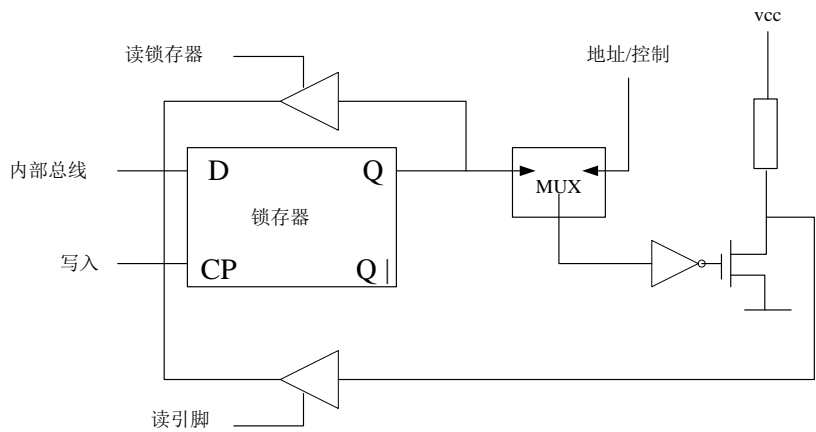


图 3-9 P1 口的位结构

从图中可见，P1 口只有高电平和低电平两种状态，当 P1.1 口为高电平时，将电容端与 P1.1 连接，VCC 会通过内部上拉电阻持续给电容充电，所以监测电容电压一直为高电平。而当将其置低电平时，P1 口相当于接地，将会出现相反的情况，其通过地一直给电容放电，电容电压一直低电平。

2. 采取与 I/O 隔离并用中断监测电容电压的电路

这样需要将电容电压与单片机监测端口隔离，采取如图 3-10 所示电路。

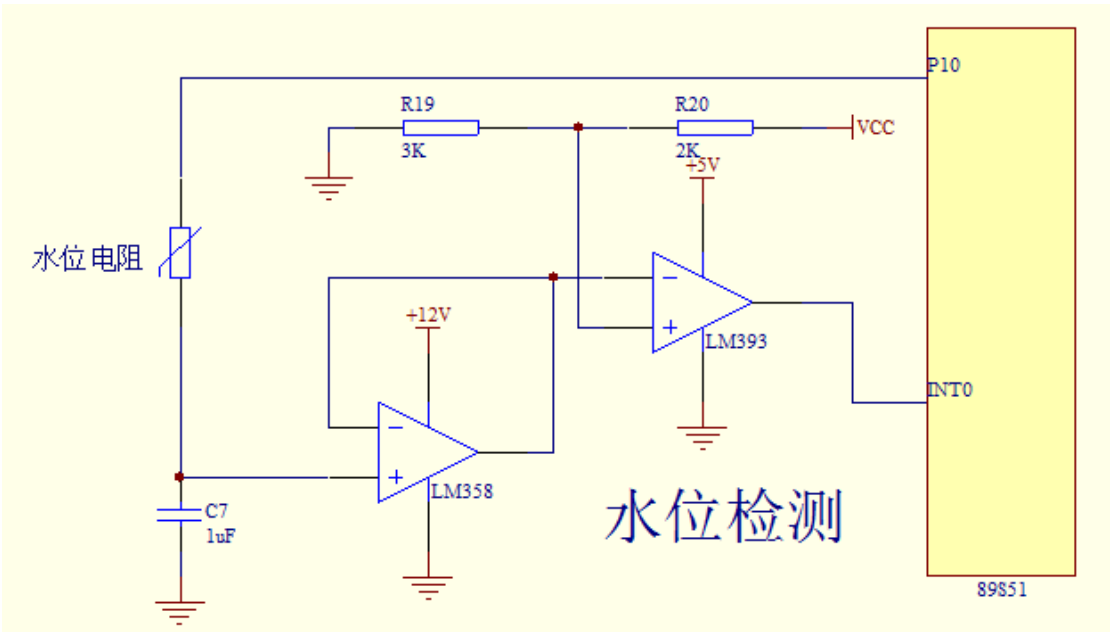


图 3-10 水位测量电路

### （1） LM358 的应用

LM358 的正向输入端接电容电压正端，反向输入端与输出端相连，构成电压跟随器。电压跟随器的显著特点就是，输入阻抗高，而输出阻抗低，一般来说，输入阻抗要达到几兆欧姆是很容易做到的。输出阻抗低，通常可以到几欧姆，甚至更低，也就是说电压跟随器有较好的隔离作用，使输出对输入影像较小，正好满足我们的要求。

LM358 的输出电压幅度为 0 至-1.5V, 而要跟随的电压范围为 0—5V, 所以应选用大于+6.5V 的电源供电，这里选用+12V 单电源供电

### （2） LM393 的作用

给比较器设置+3V 的参考电压，将电容电压的指数曲线变成矩形波。将参考电压接同相输入端，比较电压接反相输入端，从而实现电容电压在上升到参考电压时比较器产生下降沿信号，作为单片机的外部中断信号。

根据 LM393 的特性本设计电源电路提供的电压，选用+5v 给其供电。由 LM393 的内部原理图可知 LM393 的输出为集电极开路，它的输出高电平与 LM393 的电源无关，但须接外部电源和上拉电阻。在图 3-7 所示的水位测量电路中并未有这样的上拉电压电路，是因为单片机内部 INT0、INT1 口已经具备了这样的电路。INT0、INT1 的内部电路类似于 P1 口如图 3-6 所示。另外 LM393 的同相输入端输入和反相输入端输入之间有相互嵌位作用，+5V 电源和分压电阻提供的+3v 参考带电平对反相输入端输入有嵌位作用，如果不接 LM358 电压跟随器而与电容直接相连，显然会影响电容电压的变化，这就是要加电压跟随器进行隔离的原因。

### 3. 充电时间的设定和电容的选择

电容充电时间的计算公式为：

$$T=RC \quad (3-1)$$

T 即位电容电压上升时间。编程使 P1.0 口输出周期性的方波，给电容充放电，方波半周期（充电或放电时间）为  $T'$ ，应使方波半周期大于电容电压上升时间，即：

$$T>T \quad (3-2)$$

如果使用单片机主程序一直循环给 P1.4 口输出方波，方波的周期可以很大，超过几秒甚至几十秒，但是这样主程序就只能干这一项工作，影响单片机的其他

工作。所以要用定时器来实现方波输出。这样用定时器就可以用定时中断使 P1.4 口输出方波，又不影响单片机的其他工作。这样方波的周期就受定时器定时时间的限制。89S51 单片机定时器共有 4 种定时方式，其中定时时间最长的为定时方式 1。当定时器/计数器在方式 1 下做定时器用时，其定时时间计算公式为：

$$T = (N - \text{计数初值}) * \text{晶振周期} * 2 \quad (3-3)$$

采用 12M 的晶振，晶振周期为  $1/12 \times 10^{-6} \text{S}$ ，因为采取定时器终端方式，所以  $N = 0\text{XFFFF} = 65536$ 。所以：

$$T = (65536 - \text{计数初值}) \mu\text{s} \quad (3-4)$$

那么当  $T = 30\text{ms}$ ，计数初值为  $0\text{X8AD0} = 35536$ 。

### 3.3.2 温度检测电路设计

#### 一、温位度传感器的工作原理

温度传感器的发展大致经历了以下三个阶段：（1）传统的分立式温度传感器（含敏感元件）；（2）模拟集成温度传感器/控制器；（3）智能温度传感器。目前，国际上新型温度传感器正从模拟式向数字式、由集成式向智能化、网络化的方向发展。

温度传感器的主要特点是功能单一、测温误差小、价格低廉、响应速度快、传输距离远、体积小、微功耗等，适合远距离测温、控制，不需要进行非线性校准，外围电路简单。太阳能热水器温度传感器有很多种，本设计可选用具有负温度系数的热敏电阻来测水温，热敏电阻与普通电阻不同，它具有负的温度特性，当温度升高时，电阻值减小，它的应用是为了感知温度。

#### 二、温度测量方案比较

目前市场上温度传感器较多，有以下几种：

方案一：选用铂电阻温度传感器，此类温度传感器线性度、稳定性等方面性能都很好，但其成本较高

方案二：采用热敏电阻，选用此类元器件有价格便宜的优点，但由于热敏电阻的非线性特性会影响系统的精度。

方案三：选用美国 Analog Devices 公司生产的二端集成电流传感器 AD590。其测量范围在  $-50^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ ，满刻度误差为正负  $0.3^{\circ}\text{C}$ ，当电源电压在  $5 \sim 10\text{V}$



之间，稳定度为 1% 时，误差只有正负  $0.01^{\circ}\text{C}$ 。此器件具有体积小、质量轻、线性度好、性能稳定等优点其各方面都满足此系统的设计要求。

比较以上三种方案，考虑到性价比等原因，市场上大部分太阳能热水器的温度传感器都选用 NTC 负温度系数热电阻，因此选用方案二。

### 三、温度测量方案选择

温度测量方案很多，下面通过比较选择合适的测量方法。

#### 1. 热电阻 A/D 转换式水温传感器

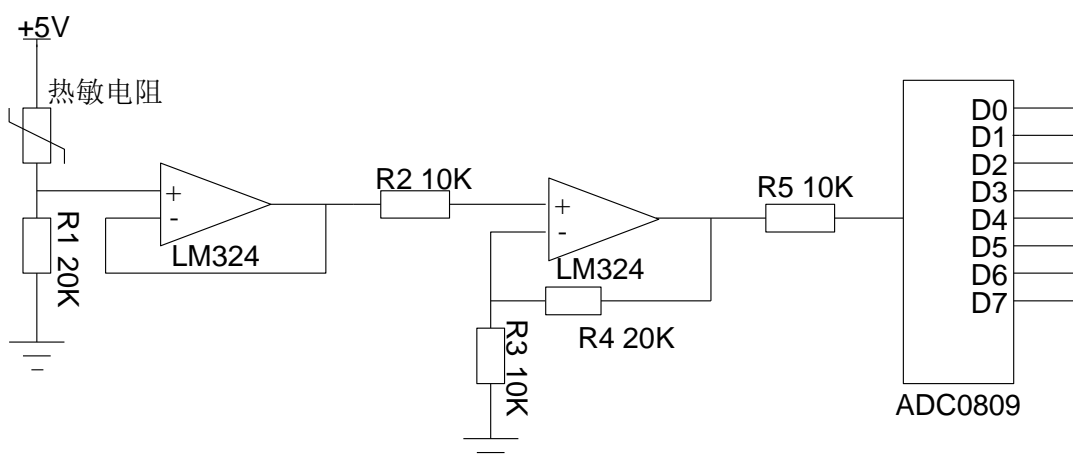


图 3-11 热电阻 A/D 转换电路原理图

A/D 转换式水温传感器的原理是，利用热敏电阻的阻值随温度变化的特性，将随温度变化的电阻信号转化为变化的电压信号，然后将这个电压信号经运放放大处理成 0—5V 的电压信号，电压信号经 A/D 转换变成数字信号送给单片机。这种电路测量比较精确，但需用 A/D 转换器，而 A/D 转换的价格较贵，会加大成本，另外 A/D 转换需占用 8 个数据口和两个片选口及两个控制口共 12 个 I/O 口。

#### 2. RC 充放电式热电阻水温传感器测量电路

RC 充放电式热电阻水温传感器测量电路的原理与前面提到的 RC 充放电式水位传感器测量电路原理完全相同，只要把水位电阻换成热电阻就可以了。其缺点是不够精确，但成本很低，对于对温度要求不算精确的太阳能热水器系统，完全可以满足我们的需要。另外与 A/D 转换式温度传感器相比，其优势还是十分突出的：

(1) 仅需 2 个 I/O 口就能完成对温度的检测，节约了单片机的 I/O，有利于降低成本。

（2）实现起来也十分简单。

#### 四、水温测量电路的设计

水温测量电路

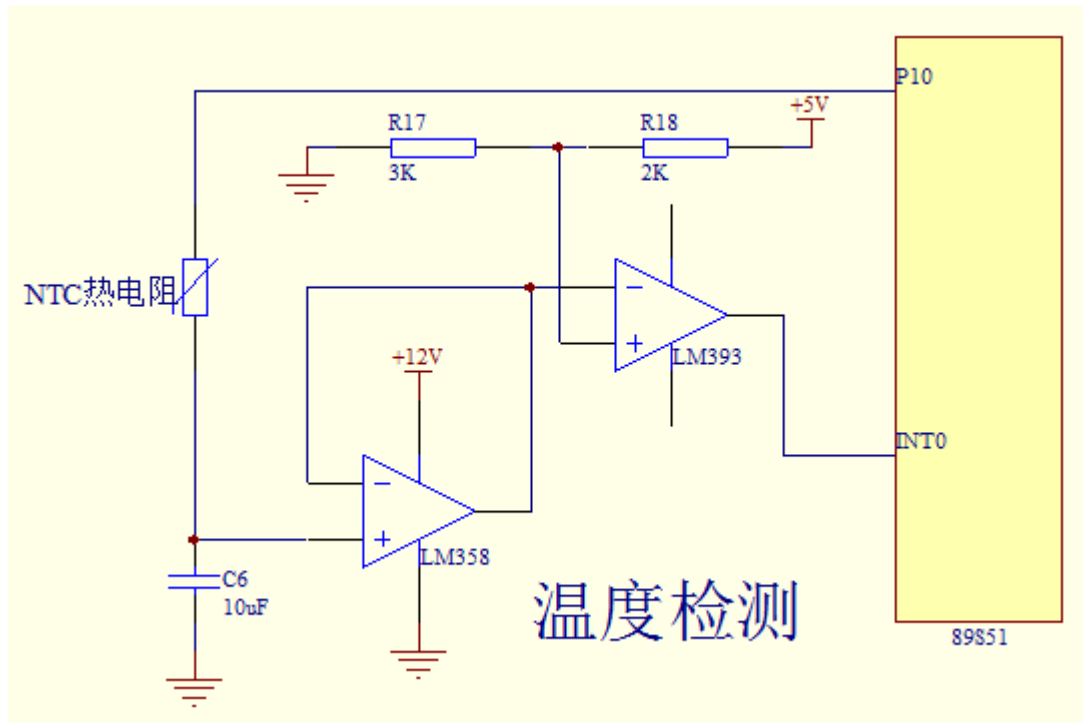


图 3-12 水温测量电路原理图

对太阳能热水器中水的温度进行控制及显示，需对热水器水温与出水温度进行检测。对于热水器来说温度控制与显示的精度要求并不高，因此本设计采用负温度系数 NTC 热敏电阻作为测温元件，利用 NTC 热敏电阻阻值随温度变化而改变的特性实现测温。

##### 3.3.3 水位、水温测量电路的整体设计

由上面的分析知道，两者的电路原理一样，都是用 P1 口给电容充电，用中断检测电容电压变化。作为充电口 P1 口的作用相当于电源（充电时）或地（放电时），所以可以用同一个口为两个冲放电回路充电，两个回路是独立的。LM393 和 LM358 都是双运放、8 脚 DIP 封装，恰好用于水位和水温检测两路。下面图 3-13 是实际的水位和水温测量电路图。

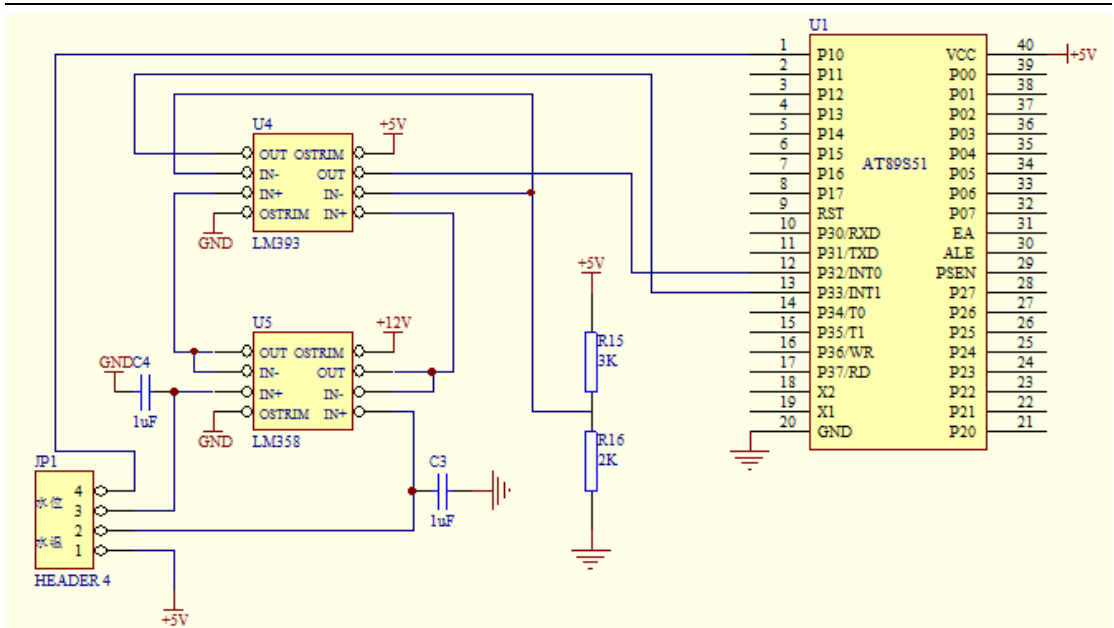


图 3-13 水位和水温测量电路实际电路图

以 P1.0 口作为水位和水温电路的公共充放电口，以 INT0 作为水位测量电路的中断检测口，以 INT1 作为水温测量电路的中断检测口。

### 3.4 时钟电路

太阳能热水器虽然节能环保，但它也有自身的许多缺点，例如受天气状况的影响太大，如果某天因阴雨天气等原因日照不足，水温偏低，使用者就无法正常使用热水。为了解决这个问题需要为控制系统提供电加热装置。本系统设计了一个利用时钟芯片提供时间信号完成智能加热功能的电加热系统。下面对时钟芯片电路的介绍。

#### 3.4.1 时钟芯片选择

为了实现自动加热的功能，需要使用一个适用本系统得时钟芯片，下面通过对两种芯片的性能比较来选择芯片。

##### 一、DS12B887 并行时钟芯片

###### 1. DS12B887 性能特点：

在没有外部电源的情况下可工作 10 年，自带晶体振荡器及电池，可计算到 2100 年前的秒、分、小时、星期、日期、月、年七种日历信息并带闰年补偿，用二进制码或 BCD 码代表日历和闹钟信息，有 12 和 24 小时两种制式，12 小时制时有 AM 和 PM 提示，可选用夏令时模式，可以应用于 MOTOROLA 和 INTEL 两种

总线，数据/地址总线复用，内建 128 字节 RAM - 14 字节时钟控制寄存器 - 114 字节通用 RAM，可编程方波输出，三种可编程中断 - 时间性中断 可产生每秒一次直到每天一次中断 - 周期性中断 122 ms 到 500 ms 时钟更新结束中断。

## 2. 管脚功能描述

图 3-14 是 DS12B887 时钟芯片管脚图。

管脚名称和功能：

AD0~AD7 - 地址/数据复用总线；NC - 空脚；MOT - 总线类型选择 (MOTOROLA/INTEL)；CS - 片选；AS - ALE；R/W - 在 INTEL 总线下作为 /WR；DS - 在 INTEL 总线下作为 /RD；RESET - 复位信号；IRQ - 中断请求输出；SQW - 方波输出；VCC - +5 电源；GND - 电源地；

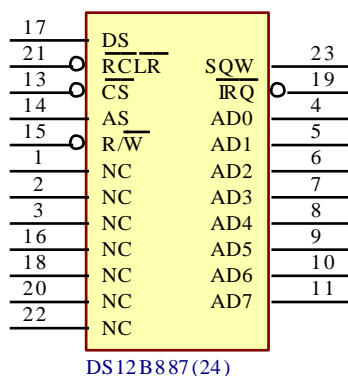


图 3-14 DS12B887 时钟芯片管脚

## 二、DS1302 串行时钟芯片

### 1. DS1302 芯片的性能特点：

实时时钟具有能计算 2100 年之前的秒分时日期星期月年的能力还有闰年调整的能力，318 位暂存数据存储 RAM，串行 I/O 口方式使得管脚数量最少，宽范围工作电压 2.0 ~ 5.5V，工作电流 2.0V 时，小于 300nA，读/写时钟或 RAM 数据时有两种传送方式单字节传送和多字节传送字符组方式，8 脚 DIP 封装或可选的 8 脚 SOIC 封装根据表面装配，简单 3 线接口，与 TTL 兼容 VCC=5V<sup>[8]</sup>。

### 2. 管脚功能描述

图 3-15 为 DS1302 脚封装管脚图。

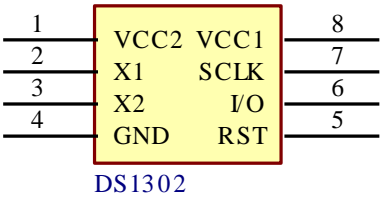


图 3-15 DS1302 脚封装管脚图

管脚描述：

X1 、X2 32.768KHz 晶振管脚；GND 地；RST 复位脚；I/O 数据输入/输出引脚；SCLK 串行时钟；VCC1,VCC2 电源供电管脚；

三、时钟芯片比较选择

DS12B887 的计时功能基本相同，它们的最大区别是 DS1302 时串行 I/O 方式，而 DS12B887 时并行 I/O 口方式，DS12B887 编程实现要容易些，而 DS1302 要占用较少的 I/O 资源。可见使用 DS1302 串行时钟芯片能够节省单片机的硬件资源，并能充分发挥单片机的软件优势，所以应使用串行芯片 DS1302 来完成时钟信号的提供。

3.4.2 时钟电路的应用设计

一、DS1302 内部寄存器

CH：时钟停止位	寄存器 2 的第 7 位 12/24 小时标志
CH=0 振荡器工作允许；	bit7=1, 12 小时模式；
CH=1 振荡器停止；	bit7=0, 24 小时模式；
WP：写保护位	寄存器 2 的第 5 位:AM/PM 定义
WP=0 寄存器数据能够写入；	AP=1 下午模式；
WP=1 寄存器数据不能写入；	AP=0 上午模式
TCS：涓流充电选择	DS：二极管选择位
TCS=1010 使能涓流充电；	DS=01 选择一个二极管；
TCS=其它 禁止涓流充电；	DS=10 选择两个二极管；
DS=00 或 11，即使 TCS=1010，充电功能也被禁止	

表 3-3 RS 位功能表

RS 位	电阻	典型位
00	没有	没有
01	R1	2 K $\Omega$
10	R2	4 K $\Omega$
11	R3	28K $\Omega$

二、 DS1302 与单片机的连接及时间读取方法

DS1302 的管脚按前面的说明进行连接，SCLK 同步时钟口接 P1.5 口，I/O 数据输入输出口接 P1.6 口，RET 复位引脚接 P1.7 口，VCC2 接+5V 电源，VCC1 接+5V 备用电池，X1、X2 接 32.768MHZ 晶振。单片机与 DS1302 的连接方式如图 3-16 所示。

读取 DS1302 的时钟时间是主程序的一部分，首先要定义日期时间等全局变量，然后在主程序中调用时间读取程序，时间程序编程如下。DS1302 为串行时钟芯片，每次传送一位数据，通过 P1.5 给 DS1302 发同步脉冲实现数据传输的同步。P1.6 口与 DS1302 I/O 引脚相连，将要读取值的控制字串行写入到 DS1302 中，每写一位，发送一个同步脉冲，控制字为 8 位，读出的时、分数据也是 8 位，写完 8 位控制字，DS1302 随后就通过 I/O 引脚将该值送给单片机。I/O 引脚上的数据在 SCLK 的上升沿串行输入(写数据到 DS1302)，在 SCLK 的下降沿串行输出(读数据)。为了启动数据传输，引脚 RST 应为高电平。DS1302 有多种功能的控制字，其中读时和分的控制字分别为 0x85 和 0x83。

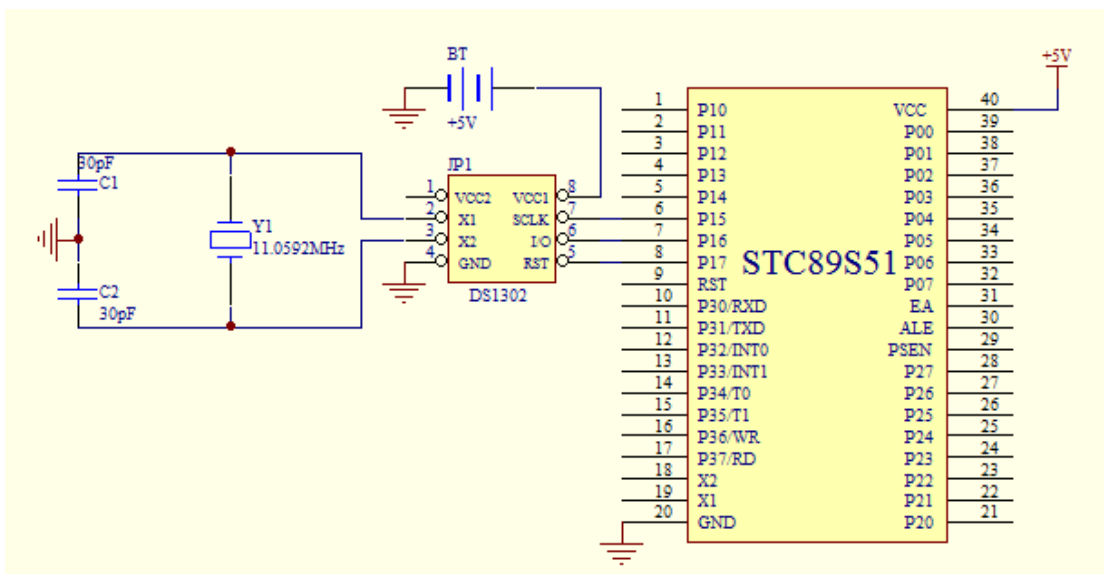


图 3-16 单片机与 DS1302 的连接图

### 3.5 键盘和显示电路

键盘和显示电路是太阳能热水器水位控制系统与用户的接口，用户通过显示来观察水温、水位、时间等状态值，再根据观察到的值，通过键盘对太阳能热水器进行控制。本章设计了较为合理的键盘和显示电路完成这些功能。

#### 3.5.1 方案选择

太阳能热水器系统需要用数码管显示时间和温度，时间精确到分，24 或 12 小时制，这就需要 4 位显示；而温度显示范围为 0—99 度，这又需要 2 位显示。对于六位显示，采用占用 I/O 较少的动态扫描方式，也需要六位位选码数据线，八位段选码数据线，共需 14 个 I/O 口。键盘采用复用方式，仍需要至少 4 个 I/O 口。键盘和显示电路共需 18 个 I/O 口，89C52 单片机共有 4×8 个 I/O 口，而又有 8 个口有特殊功能，也就是常用的共有 3×8 个 I/O 口，该系统的其他设置也还要占用大量 I/O 口，显然这样太浪费资源。

#### 一、8255A 芯片介绍

Intel 公司生产的可编程并行接口芯片 8255A 已广泛应用于实际工程中，例如 8255A 与 A/D、D/A 配合构成数据采集系统，通过 8255A 连接的两个或多个系统构成相互之间的通信，系统与外设之间通过 8255A 交换信息，等等，所有这些系统都将 8255A 用作为并行接口。

在模式控制下 8255A 端口又可以分成两个 4 位的端口，它们可单独用作为输出控制和状态输入。

端口 A、B、C 又可组成两组端口（12 位）：A 组和 B 组，参见图 3-17。在

每组中，端口 A 和端口 B 用作数据端口，端口 C 用作控制和状态联络线。

在 8255A 中，除了这三个端口外，还有一个控制寄存器，用于控制 8255A 的工作方式。因此 8255A 共有 4 个端口寄存器，分别用 A0、A1 指定：

- A1=0，A0=0，表示访问端口 A；
- A1=0，A0=1，表示访问端口 B；
- A1=1，A0=0，表示访问端口 C；
- A1=1，A0=1，表示访问控制寄存器。

2. 8255 的工作方式

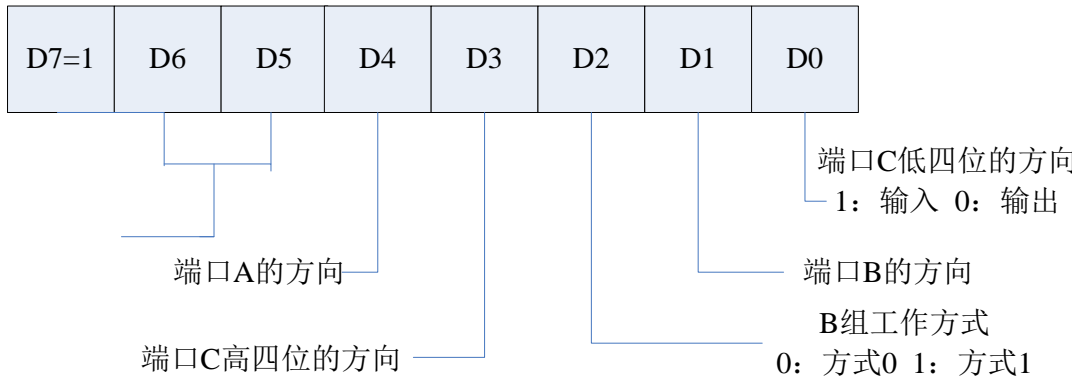


图 3-17 方式控制字

8255A 有三种基本工作方式：

- 方式 0：基本的输入/输出
- 方式 1：有联络信号的输入/输出；
- 方式 2：双向传送。

A 组可采用方式 0～方式 2，而 B 组只能采用方式 0 和方式 1，这由 8255A 的方式控制字控制。当向 A1=1、A0=1 的端口寄存器（即控制寄存器）发送 D7=1 的控制字时，其作用为方式控制字，各个位的含义如图 5-2 所示。

工作方式介绍

方式 0 —— 基本的输入/输出

将端口信号线分成 4 组，分别由方式控制字的 D4、D3、D1、D0 控制其传送方向，当某位为 1 时，相应的端口数据线设置成输入方式；当某位为 0 时，相应的端口数据线设置成输出方式。

特别注意，当将 C 口的低 4 位设置成同一传送方向时，则端口 C 可作为独立的端口，因此，8255A 提供了 3 个独立的 8 为端口。

方式 1 —— 有联络信号的输入/输出

方式 2 —— 双向传送

本设计用方式 0，所以方式 1、方式 2 不再详细介绍。

二、8255A 在太阳能热水器控制电路的作用

单片机与 8255A 的连接如图 3-18 所示，如图所示分别将 8255A 的 读、写、



复位端口与单片机的读、写、复位端口相连。A0、A1、 $\overline{CS}$  为 8255A 的地址口，D0-D9 为数据口。P2.5 与 A1 相连，P2.6 与 A2 相连，P2.7 与  $\overline{CS}$  相连，提供 8255 的端口地址信号。单片机的 P0 口为 8255A 提供数据输出输入。8255A 共占用单片机 11 个常用 I/O 口，比直接显示键盘电路节省了 7 个 I/O 口。

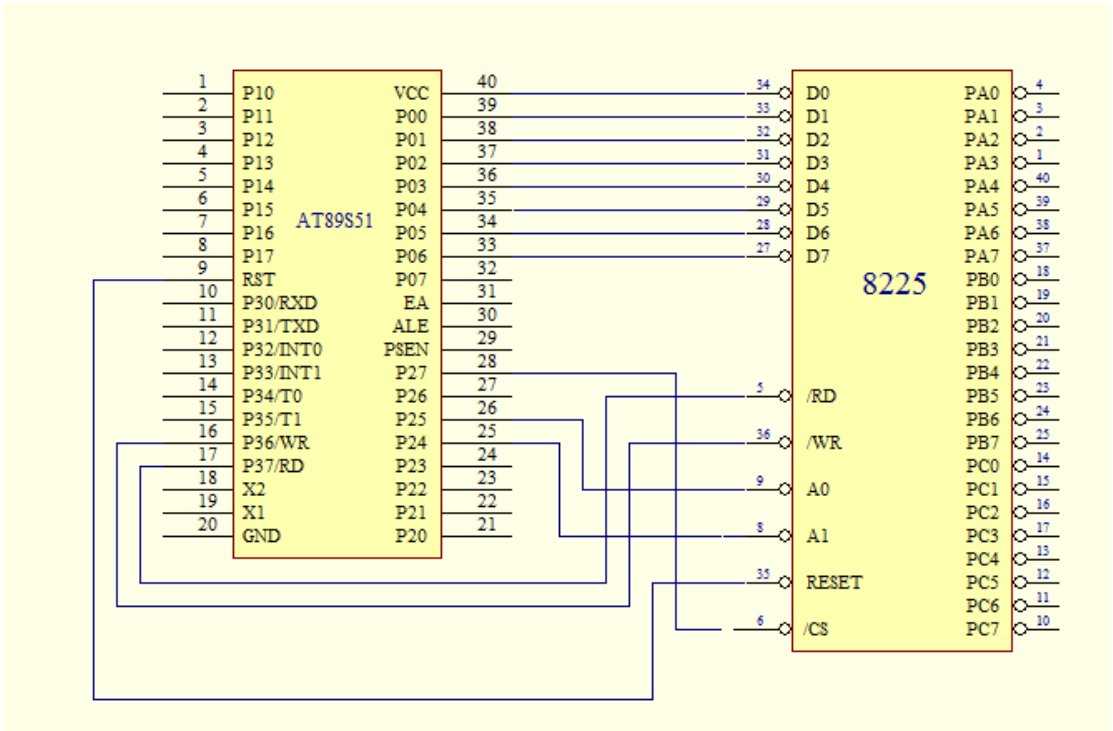


图 3-18 单片机与 8255A 连接图



PB 口输出的段选信号，通过 74LS245 芯片接 LED 段码引脚，因为 8255A 的输出电流一般是微安级的，而 LED 一般则要求 5 到几十毫安的电流，不能直接驱动 LED，而 74LS245 的高电平输出电流在 15 毫安左右，可以驱动 LED 显示。另外 74LS245 的输出接上拉电阻，帮助驱动显示器。

LED 显示器是由发光二极管显示子段组成的显示器件。在单片机系统中通常使用的是七段 LED 显示器，这种显示器有共阴极共阳极两种，在这次设计中选用共阴极 LED 显示器。共阴极七段 LED 显示器的管脚如图 3-20 所示

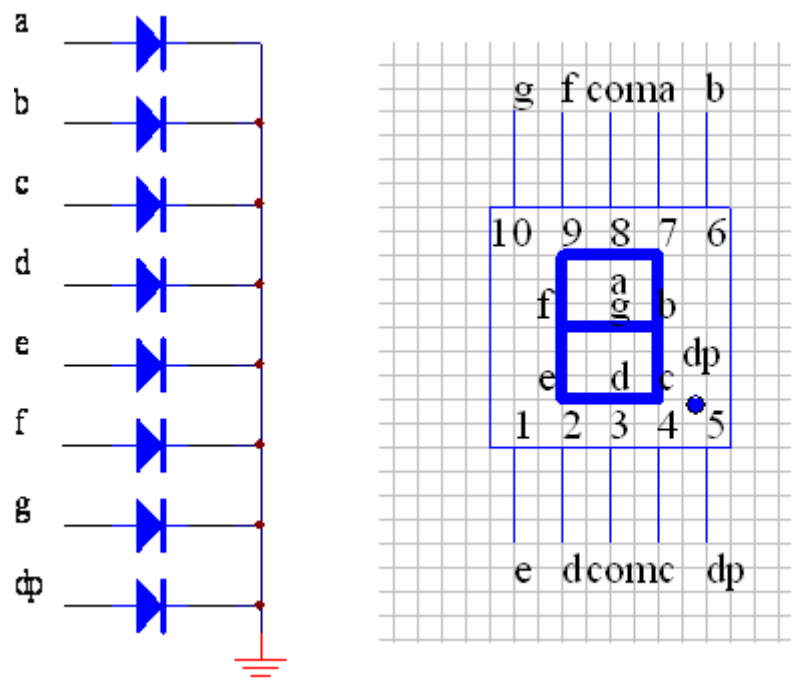


图 3-20 共阴极 LED 显示器的原理和管脚图

表 3-4 共阴极 LED 显示器七段码

显示字符	共阴极七段码	显示字符	共阴极七段码
0	3FH	9	6F
1	06	A	77
2	5B	B	7C
3	4F	C	39
4	66	D	5E
5	6D	E	79
6	7D	F	71
7	07	P	73
8	7F	U	3E

二、8255A 实现显示方法

8255A 的 PA、PB 口作为输出口驱动数码管显示；PC 口用作输入口监测键盘输入，所以这里须用工作方式 0——基本输入输出口工作方式，其方式控制字为 10001001。8255A 的 RESET 引脚与单片机的 RESET 引脚直接相连，当单片机复位时，8255A 同时复位。单片机的 P2.7 口与 8255A 的片选信号  $\overline{CS}$  相连，显示期间一直输出低电平，选中 8255。

在 P2.5、P2.6 都输出高电平时，即 A1=1，A2=1 时， $\overline{WR}=0$ ，单片机输出写信号，访问控制寄存器，将方式控制字 10001001 通过单片机的 P0 口与 8255A 的 D0-D7 数据口送给 8255 的控制字寄存器。由图 5-3 的连接方式知控制字寄存器地址为：0111 1111 1111 1111，即 0x7FFF，向该地址写入控制字即可。

当 P2.5、P2.6 都输出低电平时，A1=0，A2=0 时， $\overline{WR}=0$ ，单片机输出写信号，访问端口 A，将位选码送出，选中要显示的位，即端口 A 地址为：0001 1111 1111 1111=0x1FFF，向该地址写入位选码即可。然后将 P2.5=0，P2.6=1，即 A1=0，A2=1， $\overline{WR}=0$ ，单片机输出写信号，访问端口 B，将段选码送出，保持几毫秒的延时，使 LED 显示。即端口 C 地址为：0101 1111 1111 1111=0x5FFF，向该地址写入段选码即可。

3.5.3 键盘电路原理

为使用户使用界面尽量简单，本文采用四个按键，通过按键复用来实现手动

上水、水位设置、温度设置、电加热多种功能。同时本文用 8255 来分别实现显示和键盘。键盘与 8255 的连接如图 3-21 所示。

### 一、独立式键盘工作原理

因为键盘较少所以用简单的独立式键盘，它的优点是编程简单，缺点是占用 I/O 口多，适用于键盘较少的电路。

键盘的工作原理是  $P2.5=0$ ,  $P2.6=1$ , 即  $A1=0$ ,  $A2=1$ ,  $\overline{RD}=0$ , 单片机发出读信号, 将 8255A 的 PC 口状态, 通过 8255A 的 D0-D9 口送给单片机。然后单片机根据从 8255A 读取的数据做出相应的动作。这是基本原理, 在具体实现时还要考虑键盘的延时去抖, 去抖的原理是, 当检测到有键按下时, 单片机先不动作, 延时 10 毫秒以后, 单片机再次检测按键是否按下, 如果还是按下, 就说明此键确实是按下状态, 单片机执行相应操作。

### 二、键盘功能介绍

其中 S1 为手动上水键, S2 为设置水位参数键, S3 为电加热键, S4 为设置温度键。S1、S3 单独功能键。而 S2、S4 为复用键。当第一次按 S2 键时, 进入水位设置状态, 然后每按一次 S1 为设置水位加一, 循环工作。当第一次按 S4 键时, 进入水温设置状态, 然后每按一次 S4 为设置水温加一, 循环工作。

## 3.6 其他硬件电路设计

上水、电加热、报警电路属于大功率驱动电路, 需用开关控制外部电源的关断。水位显示是简单的三极管驱动电路。电源电路微单片机的主电路及部分驱动开关提供电源。本章对这些综合介绍 上水电磁阀、电加热、报警等驱动电路。

上水电磁阀、电加热开关、水位显示、报警开关等驱动电路均采用 9013 三极管进行放大驱动。

### 一、上水控制电路

由单片机 P1.1 口的输出来控制上水电磁阀。单片机 P1.1 口通过一个 2.2K 的电阻接 9013 三极管的基极, 9013 的集电极通过一个单刀继电器接正 12V 电源, 9013 射极接地。当 P1.1 输出低电平时, 三极管截至, 几乎没有电流通过三极管的基极到射极、集电极到射极, 即  $I_C \approx 0, I_B \approx 0$ , 所以此时流过继电器的电流几乎为 0, 继电器打开。当 P1.1 口输出高电平时, 三极管 9013 导通, 有较大的饱和电流流过继电器, 使其吸合、关闭, 从而开启电磁阀。



但太阳能热水器控制系统需要的是稳定的+5V 和+12V 电源，所以要为控制系统设计直流电源电路。

由于本设计由+5V 和+12V 两个不同的电压供电，并且+5V 是主电源。变压器分别采用 220/8 和 220/15 的变压器，稳压电路分别采用集成稳压器件 7805 和 7812 进行稳压。图 6-2 为系统+5V 直流电源的整体图，+12V 电源与它基本相同。

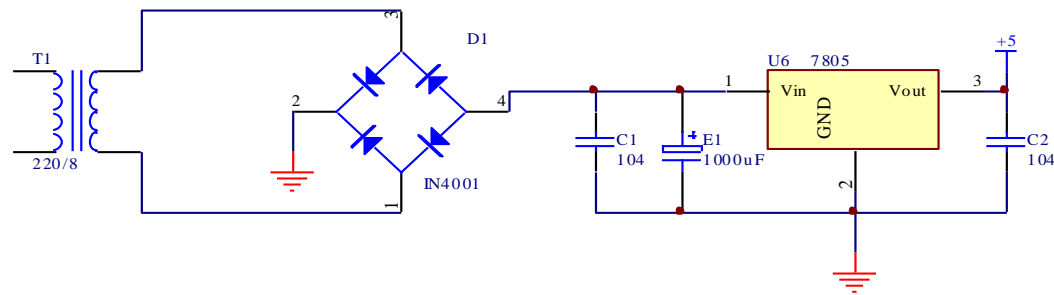


图 3-22 电源电路

## 4 软件设计

### 4.1 软件设计的概述

本设计主要运用 51 汇编语言编写程序，根据功能的需要进行编程，其中软件设计主要运用 PROTEUS 软件，热水器不论在什么样的天气里，都能够在满足人们热水的需要，可以从而给用户带来便利，同时，可以智能控制水位，当水位达到最低值，将通过报警提醒用户。

### 4.2 程序流程图

1，主程序主要完成了温度和水位的检测，上水阀上水以及进行辅助加热的预算和一些初始化功能如图 4-1 所示

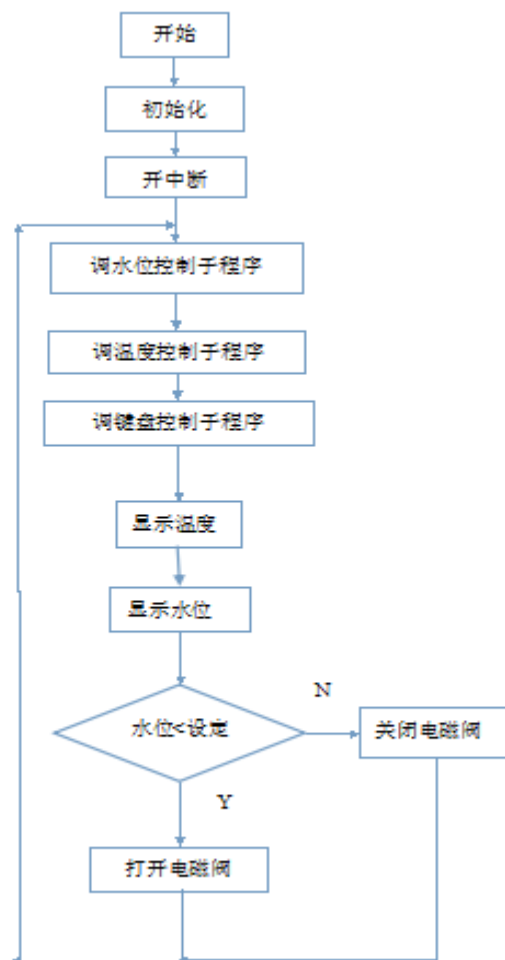


图 4-1 主程序流程图

2，键盘控制程序流程图



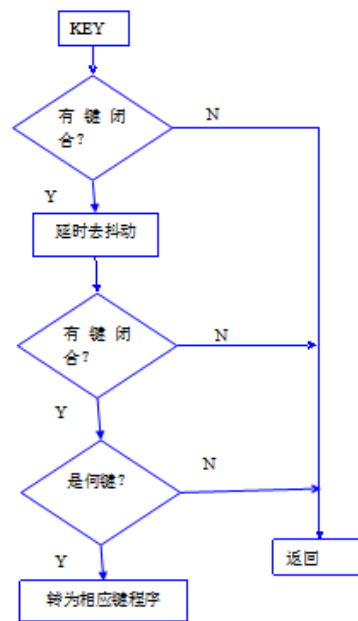


图 4-2 键盘控制程序流程图

### 3，中断程序流程图

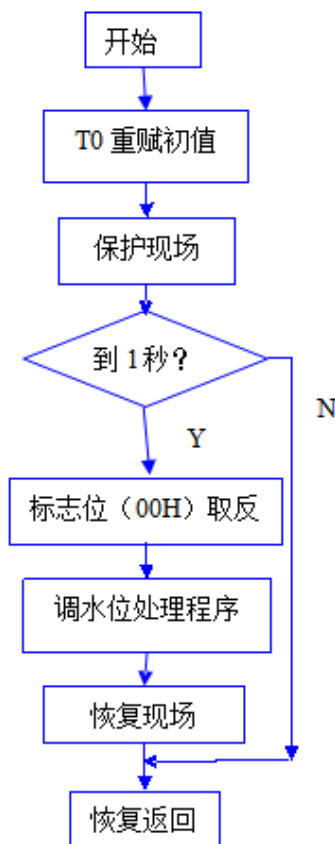


图 4-3 中断程序流程图

### 4，水位控制程序流程图

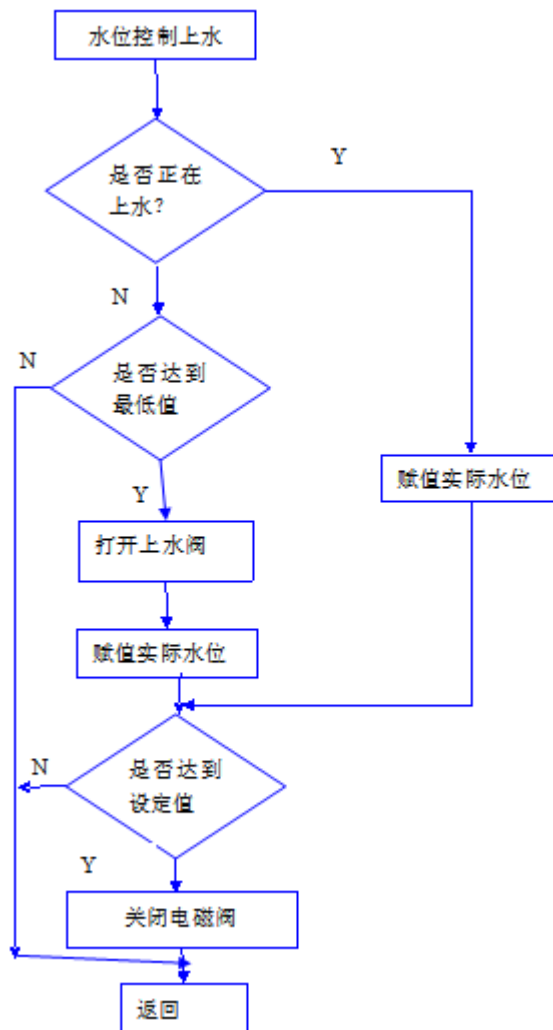


图 4-4 水位控制程序流程图

## 结论

本次设计太阳能热水器中央控制系统具有性能价格比高、温度控制与显示精度高、使用方便和性能稳定等优点。单片机控制系统具有低价、智能的优势，能够根据需求的不同而作相应的调整，更加个性化。同时，使用单片机控制系统能够节约能源，保护设备，延长设备的使用时间。

此款太阳能热水器中央控制系统，能够很好的显示水温、水位，可以实现自动上水，手动上水，在阴雨天可以电加热。因此，无论从市场或技术抑或价格的角度来说，此款太阳能热水器中央系统具有很大的优势。它市场前景广阔、技术先进、价格合理，方便省事，是当前市面上很受欢迎的。

通过本课程设计我收获很多，体会也很深刻，并且对我所学的东西也产生了浓厚的兴趣。在设计过程中，也学会了很多新的东西，当然最重要的是学到了关于基本电子电路设计的一些基本方法。

## 经济分析报告

经过对太阳能中央控制系统的各部分元件进行经济统计，元件清单如下表所示。

元件清单

元件	数量（个）	单价
AT89C51 单片机	1	3.30
10 $\mu$ F 电解电容	若干	1.50
22pF 瓷片电容	若干	6.80
1K9 脚排阻	若干	7.50
10K $\Omega$ 电阻	若干	1.50
按键	若干	0.60
12M 晶振	2	0.22
LM358	1	3.50
LM393	1	2.50
74F04 放大器	1	7.5
LED 显示器	1	4.50
DS1302 芯片	1	2.50
74SL245 芯片	1	2.50
继电器	2	1.50
插座	1	4.5
PCB 板	1	3.00
8225 芯片	1	3.20
NTC 温度电阻	1	5
10K $\Omega$ 电阻	若干	0.15
3K $\Omega$ 电阻	若干	0.15
2K $\Omega$ 电阻	若干	0.15
水位电阻	1	5

## 致谢

本文是在张玲老师的悉心指导下完成的。导师敏锐的思维、渊博的知识和严谨的治学精神给我留下了深刻的印象，使我终身受益。在本课题进行过程中，是导师为我的研究指明了方向，更重要的是在课题中遇到困难时又鼓励我渡过难关，才使我取得了目前的成果。在此谨向敬爱的张玲老师表示衷心的感谢。

同时，我也要感谢给予我帮助的同学，在不懂的环节为我努力探讨。论文的完成，不仅是我大学三年知识积累的体现，也是我们组同学团结奋进的结果。而且也是电气工程系所有老师悉心教导的结果，感谢他们让我掌握了一定的专业知识，专业技能和一些为人处世的道理。最要感激父母，是他们给我学习的机会，并且在学习期间为我付出辛劳的汗水！

最后，我衷心地感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位老师、教授。

## 参考文献

- [1] 陈瑞. 数字电子技术基础. 北京: 清华大学出版社, 2007
- [2] 吕国泰. 电子技术. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [3] 杨素行. 《模拟电子技术基础简明教程(第二版)》. 北京: 高等教育出版社 2005
- [4] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [5] 李贵山. 检测与控制技术. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006
- [6] 郁有文. 传感器原理及工程应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003
- [7] 张建民. 传感器与检测技术. 北京: 机械工业出版社, 1997
- [8] 何立民. MCS-51 单片机应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1992
- [9] 余永权. 单片机在控制系统中的应用. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [10] 黄继昌. 传感器工作原理及应用实例. 北京: 人民邮电出版社, 1998
- [11] 周良全. 《Protel99SE 电路设计与制版》. 北京: 北京人民邮电出版社, 1997
- [12] 彭仁杰《单片机原理与应用实例教程》. 北京: 北京交通大学出版社 1998

