

AVR 单片机在家用双功能燃气热水器中的应用

解晓武¹ 李祖枢^{1,2} 张华¹ 曾成¹ 刘晓毅³

1 重庆大学智能自动化研究所(400044) 2 重庆工学院人工智能系统研究所(400050)

3 绵阳意丰智能系统控制有限公司(621000)

Abstract

This paper introduces an intelligent control system of family dual-function gas water heater. The system is based on AVR MCU ATmega16L. It consists of signal sample, driver circuit, ignite circuit and VFD display etc. The design methods and anti-jamming technology are introduced in detail.

Keywords: AVR MCU, human-simulated intelligent control, anti-jamming technology

摘要

本文介绍了一种新颖的家用户双功能燃气热水器智能控制系统。该系统以 AVR 单片机 ATmega16L 为控制核心,由信号采集、驱动电路、点火电路、VFD 显示等功能模块组成。文中详细分析了系统的设计特点和工作原理以及系统的抗干扰技术。

关键词: AVR 单片机, 仿人智能控制, 抗干扰技术

如何提高系统的安全性、可靠性是单片机系统设计的关键。本文介绍了一种要求长时间连续工作、能抵御强火花干扰的家用户双功能燃气热水器控制系统的软、硬件实现,以及系统采用的一系列抗干扰技术。这对许多类似单片机控制系统的设计都有一定参考价值。

1 系统概述

本系统主要是针对双功能热水器而开发设计的。这种双功能热水器能分别提供生活热水和取暖热水,需要精确控制水温。双功能热水器的工作原理如图 1 所示。热水器通过机械阀组及换热器与电气控制的配合来完成这种“双功能”。热水器燃烧天然气等气体产生热量,通过燃烧室中的换热器使水温升高。如果没有生活水需求,热水器产生的热水在取暖水回路(暖气片或地

板管道)中循环来取暖;当有生活水需求时,热水不经过取暖水回路,而是在内部的“水-水”换热器中循环,生活水通过“水-水”换热器被升温。由于生活水与循环水的对象特性有很大的差异,生活水对象时间常数小,纯滞后小,而循环水对象时间常数大,纯滞后期大,对两种对象温度的控制需要采取不同的控制策略。热水器需要检测的信号有生活水温度、循环水温度、火焰、风压、水压、水泵电流、极限温度开关等,需要控制的对象有气阀、风机、水泵、点火器等。热水器提供美观的 VFD 显示和方便的操作按键,另外,还具有故障报警、故障自恢复、远程遥控、实时时钟等功能。热水器的运行环境很恶劣,一般安装在靠近室外的地方,要防冻、防潮。在点火、开关气阀时有强烈的干扰,热水器要能抵抗这些干扰,而且还需要长时间可靠运行。

针对这种热水器复杂的功能要求,我们选用 AVR 单片机 ATmega16L 作为系统的微控制器,选用 NEC 公司生产的 uPD16311 作为 VFD 显示驱动器。AVR 单片机是 ATMEL 公司推出的具有 RISC 结构的、哈佛总线的高性能的 8 位单片机。该控制系统的单片机选型主要考虑到了 AVR 单片机的诸多优点:①具有丰富的片内资源,使系统简洁可靠;②运算速度快,能达到 1MIPS 的处理速度,有利于实现智能控制算法;③AVR 单片机中的 Mega 系列具有超强的抗干扰能力,增强了产品的安全可靠性;④具有高效、廉价的高级语言开发环境(作者使用 Code Vision AVR),便于功能的扩展与变更,极大的缩短了开发周期。

2 控制系统硬件组成

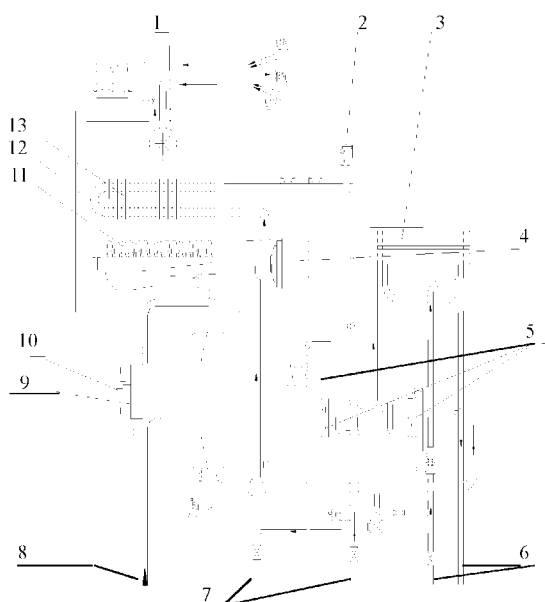
系统硬件原理框图如图 2 所示。系统以 AVR 单片机 ATmega16L 为控制核心,外围电路针对单片机的功能特点而设计,充分利用了单片机片内资源丰富的特点,简化了外围电路,提高了可靠性。下面对其中的主要功能模块与硬件可靠性技术逐一分析。

2.1 温度采样电路

取暖水与生活水温度的测量采用 NTC (Negative Temperature Coefficient)热敏电阻,NTC 热敏电阻阻值随温度的变化满足函数式:

$$R_T = R_{T_0} \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (1)$$

其中 T_0 是 25 摄氏度对应的绝对温度, T 是测试温度(绝对



1、风机 2、极限温度开关 3、“水-水”换热器
4、水泵 5、机械阀组 6、生活水回路
7、取暖水回路 8、燃气入口 9、安全阀
10、比例阀 11、喷嘴 12、燃烧室 13、换热器

图 1 双功能热水器工作原理图

温度), R_{T_0} 、 R_T 分别表示 T_0 、 T 时的电阻值, β 是一个反应 NTC 热敏电阻本身特性的常量。由此函数式可以看出, NTC 热敏电阻阻值随温度的变化存在严重的非线性, 虽然通过电阻网络处理能得到近似的线性关系, 但不适合温度的大范围变化。

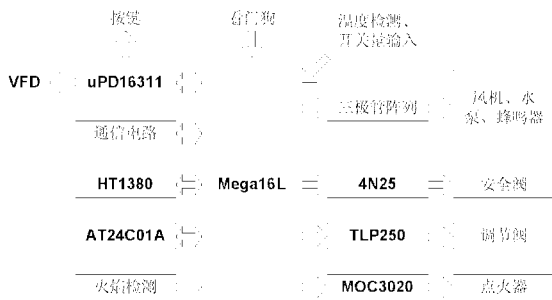


图2 系统硬件原理框图

可以利用 AVR 单片机运算速度高的特点, 用 NTC 热敏电阻与一个精密电阻分压, 用单片机内部的 A/D 转换器采集 NTC 热敏电阻上的电压, 然后按照式(1)计算对应的温度值。

2.2 火焰检测电路

火焰离子电流非常微弱, 一般采用火焰的导电性进行检测的直流检测方法很不可靠, 在潮湿、环境污染等情况下造成绝缘电阻下降时, 很容易产生虚假信号。而利用火焰使空气电离后, 在电极间呈现的单向导电性, 采用交流检测方法就可以避免这个问题。

一般地, 火焰信号等效于在电极间有数兆电阻与二极管串联。火焰检测电路如图3所示, R_{21} 通过离子棒接到火焰上, 而火焰喷嘴通过机壳接地。三极管 Q_2 、变压器 T_1 的原边构成振荡电路, 可以在 T_1 的副边产生 100V 左右的交流电压。当有火焰时, 由于火焰的单向导电性, 交流电只有半周通过火焰给电容 C_{26} 充电, 在 C_{26} 两端产生上正下负的电压, 将这一负电压送到单片机内部的模拟比较器就可以判断是否有火焰。没有火焰时不会形成电流通路, C_{26} 的下端不会形成负电压。而离子棒跟机壳产生较大漏电流时, 由于是双向导电的, 电容 C_{25} 对交流信号短路, 也不会产生负电压, 从而避免了虚假信号的产生。

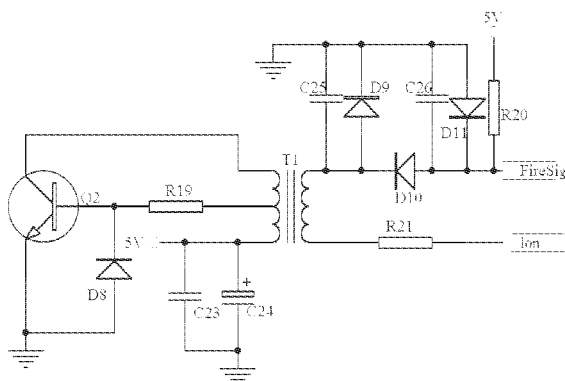


图3 火焰检测电路图

2.3 安全阀控制电路

安全阀控制电路是热水器中非常关键的部分, 安全性、可靠性是至关重要的。安全阀的控制采用了 2 级硬件保护措施。

如图4所示: K_1 是风压开关, K_1 通过三极管 Q_{11} 来控制继电器 J_3 。 K_1 断开时, C_{36} 起延时作用。安全阀 L_1 采用 24V 直流供电, 只有烟道畅通, 风压足够时 K_1 闭合, Q_{11} 导通, 则 J_3 常开触点闭合, 安全阀才会得电, 从而保证在控制完全失利的情况下, 也不致引起安全事故。安全阀是电感性负载, 可以采用一定

频率的脉冲信号来驱动, 脉冲控制信号通过光耦 U_4 驱动三极管 Q_6 、 Q_7 , Q_6 、 Q_7 用来驱动安全阀 L_1 。 C_{35} 、 R_{38} 提供了交流信号的通路, 而隔离了直流信号。这样, 即使单片机意外死机, 由于输出口是一种持续的直流电平, 所以不会造成安全阀的误动作。

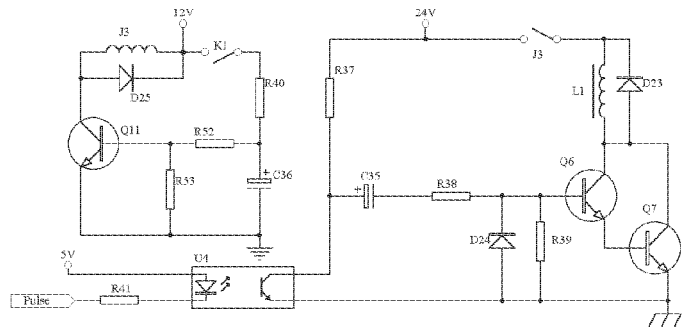


图4 安全阀控制电路

2.4 调节阀驱动电路

控制器通过控制调节阀的开启度来控制火力的大小, 实现控制策略。使用单片机内部的硬件 PWM 逻辑产生高频的 PWM 信号, 通过高速光耦 TLP250 隔离后来驱动调节阀。ATMega16 单片机的硬件 PWM 逻辑可以产生频率很高的 PWM 信号, 在 4MHz 频率下, 能产生 16KHz 的 PWM 信号, 大大减轻了软件的工作, 提高了软件的效率。光耦 TLP250 具有很强的驱动能力, 也简化了硬件电路的设计。

2.5 实时时钟电路

热水器具有实时时钟功能和定时开关机的功能, 为了在掉电的情况下, 系统时间仍然能正常运行, 选用了时钟芯片 HT1380, HT1380 是一种三线串行接口的时钟芯片。由于 HT1380 在掉电模式下的功耗很低, 所以采用法拉电容做后备电源, 保证系统时间的正常运行。时钟芯片跟单片机的接口相当简单, 只占用 3 个普通的 I/O 口, 通过软件模拟时钟线、数据线、复位线就可以进行数据通信。

2.6 VFD 驱动电路

热水器采用 VFD 显示完成跟用户的接口任务。选用 uPD16311 作为 VFD 显示驱动控制器, uPD16311 是一种串行接口器件, 可以进行 VFD 的显示驱动, 也可以进行按键扫描。使用单片机内部的同步串行接口 (SPI) 逻辑与 uPD16311 进行通信, 简化了软件的设计。

2.7 遥控器、维修机通信电路

热水器一般安装在靠近室外的地方, 为了用户操作使用方便, 设计了遥控器电路。用户在客厅通过操作遥控器就可以设置采暖温度、设置定时等功能。遥控器与控制器的通信采用两线载波的方式进行。控制器通过两线给遥控器供电, 同时通信数据也被调制到了电源线上。控制器还可以记录运行过程中的故障情况(相当于黑匣子), 当维修人员维修机器时, 也可以通过两线载波通信接口与维修设备通信, 便于快速找出故障。载波通信接口提供了两种用途, 简化了电路的设计。

2.8 硬件可靠性技术

1) 电气隔离: 公共阻抗干扰是微机控制系统中常见的一种干扰形式。安全阀、比例阀是电感很大的负载, 在开启或关闭时会产生强烈的共地干扰, 情况严重时会引起单片机死机。在设计中, 两种气阀与单片机采用相互隔离的电源, 控制信号通过光电耦合器来控制气阀, 避免了公共阻抗干扰。

2) 采用两级看门狗: 为了避免出现严重干扰而导致单片机死机, 采用了两级看门狗。启用了单片机内部集成的看门狗逻

辑。使用计数器 CD4017 对 50Hz 交流信号进行分频,实现了一个简单的看门狗,防止片内看门狗失效,增加可靠性。

3)采用硬件连锁技术:如前文所述,对于安全性要求很高的地方,采用了硬件连锁技术。气阀的控制、点火器的控制在热水器控制器中是相当关键的。在出现干扰的情况下,一旦发生误动作,将会产生十分恶劣的情况,甚至引发安全事故。所以将风压信号作为气阀动作、点火器点火的前提条件,采用硬件连锁,增加了可靠性。

4)采用电容耦合技术:单片机对外部看门狗的复位信号和对安全阀的控制信号都是脉冲信号,可以采用电容耦合而不使用直接耦合,直接耦合的缺点就是控制信号失效产生持续的直流电平时,仍然会产生控制效果。而采用电容耦合就可以有效的隔离这种直流电平,在单片机死机或程序跑飞的情况下不至于产生误动作,提高了可靠性。

3 系统软件设计

系统软件流程如图 5 所示。其中任务处理模块根据热水器工作的不同状态可以分为生活水加热、取暖水加热、防冻、防堵、待机、安装调试等子功能模块。在生活水与取暖水加热状态,采用仿人智能控制算法控制调节阀的开来实现控温效果,两种状态分别采用两组控制参数。

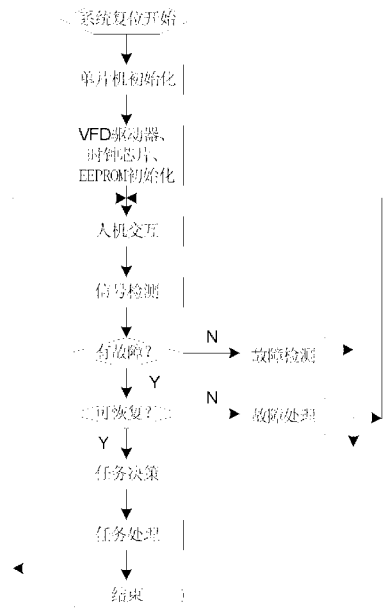


图 5 软件流程图

3.1 人机接口软件设计

设计中使用了一个 80 点阵的 VFD 显示屏,它由 5 个栅极 (G)与 16 个段 (P)构成。VFD 驱动器 uPD16311 内部有一个 5X16 的矩阵,刚好对应 VFD 显示屏的 80 个点的亮灭。由于驱动器内部的矩阵是有规律的,元素 (0,0)就对应 VFD 点阵中的 (G1,P1)。但是由于要显示不同的图形,VFD 点阵的分布是无规律。所以必须设计一种合理的软件结构才能使图形、动画的显示更方便。

可以将点阵按照图形进行分类,构成一个具有 80 个位元素的数组 DispMap [80],然后在静态存储区开辟一显示缓冲区 DispBuffer[5][16],显示缓冲区与 VFD 驱动器内部的缓冲区是一一对应的。再建立一个 80X2 的二维地址表 AddressMap[80][2],其中 (AddressMap[i][0],AddressMap[i][1],i=0,1,...79)表示 DispMap[i]所对应的点在显示缓冲区中的位置。设计一个函数通过查地址表得到行列地址 (AddressMap [i][0],Ad-

dressMap[i][1]),根据这个地址就可以把 DispMap[i]所对应的显示缓冲区中的元素置 0 或置 1,最后将显示缓冲区中的数据送给 VFD 驱动器进行显示。当要显示某种图形效果时,只需要将 DispMap[i]置 0 或置 1,就可以达到显示效果。

3.2 仿人智能控制算法简介

对生活水、取暖水出水温度的控制采用仿人智能控制算法。传统的 PID 控制算法对各种控制性能指标不能达到兼顾,而且控制参数的整定也比较困难。尤其是生活热水的控制要求快速但不能有明显的超调,PID 控制很难做到这一点。仿人智能控制模仿人的控制策略,是一种多模态的控制算法,而且具有很强的鲁棒性,非常适合这种难控的对象。根据被控对象的特点,设计了 5 种控制模态,如式 2 所示:

$$u_{n+1} = \begin{cases} u_{\alpha(n)} + K_p e_n & e_n * \Delta e_n > 0 \cup e_n = 0 \cap \Delta e_n \neq 0 \\ u_{\alpha(n)} + k K_p e_{mn} & u_{\alpha(n)} = u_n, e_n * \Delta e_n < 0 \cup \Delta e_n = 0, u_{\alpha(0)} = u_0 \\ u_{n-1} & |e_n| < \delta_1 \cap |\Delta e_n| < \delta_2 \\ 0xFF & e_n > M_1 \\ 0x00 & e_n < M_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中 u_{n+1} 是控制输出, e_n 是误差, Δe_n 是误差的差分, e_{mn} 是误差峰值, $K_p, k, u_0, \delta_1, \delta_2, M_1, M_2$ 都是控制参数。

根据实际调节的效果,控制参数实验确定好后,适应性很好,以后基本不再需要调整。

3.3 软件可靠性设计

(1) 数字滤波

控制器需要采样循环水和生活水温度来参与控制算法。但由于热交换的不均匀,在温度采样数据中存在严重的热噪声干扰。在点火、开关气阀等过程中会产生强烈的电磁干扰,使得温度采样数据中也加入了脉冲干扰。这给控制算法的实现带了很大困难。

软件设计中采用了防脉冲干扰平均值滤波法与程序判断滤波法相结合的数字滤波技术。具体作法就是连续采样 N 次数据,去掉 m 个最大值、m 个最小值,再求得剩下 N-2m 个数据的算术平均值 T_n 。由于温度的变化在短时间范围内应该是单调的,如果出现不单调的情况可认为是换热不均匀而产生的干扰。如果 T_n 单调变化,则令 $T_n = T_n$,作为第 n 个控制周期中的温度当前值。当 T_n 在单调变化的过程中出现了一个 T_{n+1} 不单调,则令 $T_{n+1} = T_n$ 。只有连续出现 M 个数据 ($T_{n+1}, T_{n+2}, \dots, T_{n+M}$) 都不单调时,才令 $T_{n+M} = T_{n+M}$ 。其中 n 表示控制周期, M、N 是与控制周期、采样周期有关的正整数。采用这种数字滤波技术有效的克服了噪声干扰。

(2) 软件冗余设计

对程序流向起决定作用的指令,可以重复操作几次,以确保程序的正确执行。对于开关量的输入,需要采取去抖动措施。对于一些重要的外部设备,如风机、水泵的控制,可以将端口操作多写几次,这样就增加了可靠性。VFD 驱动器比单片机更容易受到外界干扰,受到干扰后,就会出现一些混乱的显示代码。在程序中过一定时间,应该初始化 VFD 驱动器一次。实时时间由于单片机晶振的误差、程序处理的误差等,也必须一定时间进行一次校准。

参考文献

- 1 耿德根,宋建国.AVR 高速嵌入式单片机原理与应用.北京航空航天大学出版社,2001
- 2 李祖枢,涂亚庆.仿人智能控制.国防工业出版社,2003

[收稿日期:2004.1.6]