

# 基于水温控制系统的自动控制原理课程设计

阳小燕

广州软件学院, 广东 广州

收稿日期: 2021年11月17日; 录用日期: 2022年1月19日; 发布日期: 2022年1月27日

## 摘 要

目前大多数高校开设的“自动控制原理课程设计”是以Matlab为平台进行模拟仿真, 比如根据给定幅值裕度等指标进行系统校正, 纯理论的模拟仿真虽然效果快捷直观, 却过于理想, 与现实工程有较大出入, 不利于培养学生实践动手能力。针对这个问题, 本文对自动控制原理课程设计进行了改革与创新, 设计了一套基于PID的水温控制系统, 以STC90C516RD+单片机为主控芯片, 键盘输入设定温度, 并在LCD12864上显示设定温度和实时温度。经测试系统的静态控制误差 $\leq 0.3^{\circ}\text{C}$ , 十分钟左右能稳定在设定值, 控制效果较好。本系统包含了单片机技术、传感器技术、自动控制原理等多门学科技术, 实践操作性强, 是自动控制原理理论课程很好的实践环节。

## 关键词

自动控制原理课程设计, Matlab, 水温控制系统

# Automation Control Principle Course Design Based on Water Temperature Control System

Xiaoyan Yang

Software Engineering Institute of Guangzhou, Guangzhou Guangdong

Received: Nov. 17<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 27<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

At present, most colleges and universities open “principle of automatic control course design” is based on the Matlab platform to carry on the simulation, such as according to the allowance for centering value indicators system calibration, pure theoretical simulation effect fast and intuitive, but too ideal, engineering has great discrepancy with reality, is not conducive to cultivating stu-

dents' practice ability. Aiming at this problem, this paper has carried on the reform and innovation to the automatic control principle course design, designed a set of water temperature control system based on PID, STC90C516RD+ single-chip microcomputer as the main control chip, keyboard input setting temperature, and display the set temperature and real-time temperature on LCD12864. The static control error of the test system is less than or equal to  $0.3^{\circ}\text{C}$ , and it can be stabilized at the set value in about ten minutes. The control effect is good. The system includes SCM technology, sensor technology, automatic control principle and other disciplines technology, practical operation is strong, is a good practice of the theory of automatic control course.

## Keywords

Automation Control Principle Course Design, Matlab, Water Temperature Control System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

创新实践能力是学生与社会工作需求有效结合的前提和保障,从培养体系到教学模式都广受教育界及企业的关注[1]。自动控制原理课程设计是自动化专业实践教学非常重要的一个环节,通过课程设计,将理论知识和实际技术相结合,加深学生对理论知识的理解,对增强学生动手实践能力、提高自动化专业整体教学水平、新工科背景下人才技能培养新要求等方面起着至关重要的作用[2][3]。

## 2. 自动控制原理课程设计现状分析

目前,自动控制原理课程设计一般安排在实验课中完成,即最后两周的实验课为课程设计,设计内容主要为基于 Matlab 的系统校正,包括串接超前校正,滞后校正, PID 综合校正等,以 matlab 仿真来完成给定系统的校正或通过 P、I、D 参数的设定使系统得到良好的响应曲线。用软件仿真的一大优点就是把大量的推导设计与图形绘制,利用 M 程序语言实现,同时可以在 Simulink 中利用模块组建模型,修改参数,进行动态系统仿真运行,纯软件仿真模型搭建快,数据设置修改方便,并且仿真结果分析方便准确,有利于进行理论分析,缺点是建模时把系统想化,未考虑到实际系统运行的一些情况,比如摩擦、响应滞后、干扰等,因此与系统运行时的状态不太相符,另外纯软件仿真极大地限制了学生实践动手能力、创新能力以及综合应用能力的培养,让学生产生学而不知如何用的矛盾,不符合新工科背景下对学生应用实践能力培养的要求。因此必须对《自动控制原理课程设计》进行改革,在理论内容丰富的自控课程中,探讨如何借助自动控制原理课程设计将书本上的知识活学活用,将深奥的理论知识具体化,提高学生的动手能力以及实践创新意识,形成一套理论与实践有机结合的课程设计新方法。

## 3. 基于 PID 调节的水温控制系统

在新工科对提高学生动手能力的背景下,对自动控制原理课程设计进行了改革,即将经典控制理论与实际工程项目相结合,本文设计了一套水温控制系统,能将水温控制在设定值,并实时在屏幕上显示温度,该套系统融合了传感器技术、单片机控制技术、PID 等多种闭环控制调节算法。PID 控制算法经曲控制理论中最核心的算法,最能体现反馈思想, PID 及其衍生算法在工业中广泛应用,经过不断的发展与改进, PID 衍生算法有智能 PI 算法、预测 PI 控制算法、智能 PID 控制算法、变参数 PID 控制算法、模糊 PID 控制算法[4][5]。水温控制系统简单、直观,可操作性强,具有一定的趣味性,可根据学生能力

增加控制功能和精度，适合于不同层次的学生。

### 3.1. 系统硬件设计

此次设计的水温控制系统控制要求如下：控制对象为 1.5 升水，能用键盘输入设定温度且能在 LCD 上显示，温度控制范围为 40℃~90℃，温度控制的静态误差 $\leq 0.3^{\circ}\text{C}$ ，能在环境温度变化时实现自动控制，保持水温恒定在设定值。通过要求分析及方案论证，系统采用单片机 STC90C516RD+为控制核心，温度传感器 DS18B20 检测温度，总体设计框图如图 1 所示。

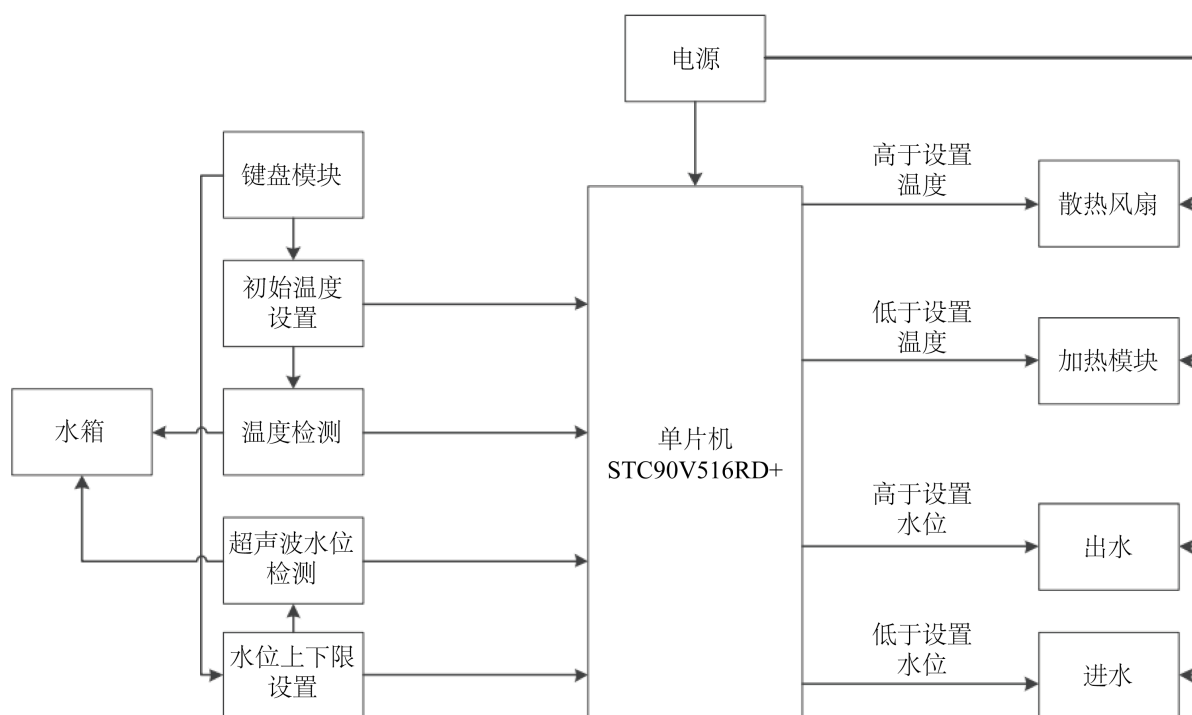


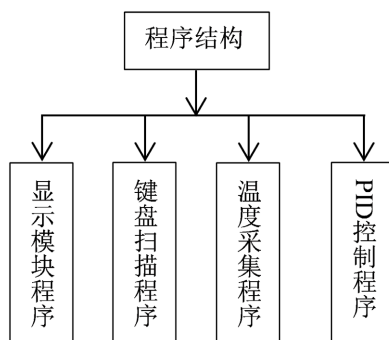
Figure 1. Overall design block diagram of water temperature control system  
图 1. 水温控制系统总体设计框图

温度传感器 DS18B20 检测出水箱的温度，单片机 STC90C516RD+获取累计温度值。加工处理完成后，在水箱内获得相对稳定的温度值，然后根据当前设定温度的上限值和下限值，通过加热和冷却达到设置温度值。当检测到的温度超过设定温度的时，对采集到的温度数据进行 PID 运算，通过控制继电器打开冷却装置(散热风扇)。当检测到的温度低于设定温度时，驱动继电器打开加热装置(烧水棒)。超声波测距模块 HC-SR04 检测水箱中的液位高度，单片机 STC90C516RD+获取检测的水位高度，根据设置的水位上下限值，驱动继电器控制水泵对水位进行调整。

### 3.2. 系统软件设计

主程序调用了 4 个子程序，分别是 LCD12864 显示程序、键盘扫描程序及按键处理程序、DS18B20 温度采集程序、PID 控制程序，程序结构图如图 2 所示。

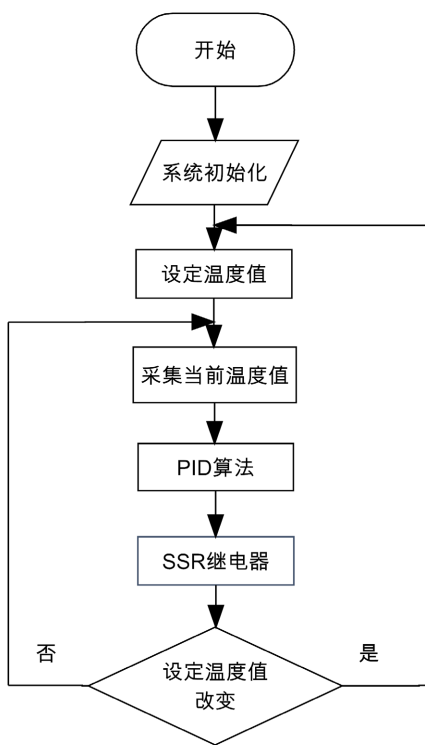
其中，LCD12864 显示程序实时显示温度数据与设定数据，键盘扫描电路及按键处理程序实现键盘的输入按键的识别及进入相应的程序，DS18B20 温度采集程序对温度进行采集并传送到 MCU，PID 算法对采集到的温度数据进行运算，输出控制量。下面重点介绍主程序模块及 PID 算法模块。



**Figure 2.** Program structure diagram of water temperature control system  
**图 2.** 水温控制系统程序结构图

1) 主程序模块

主程序模块对子程序模块的调用进行管理，主要负责初始化 IO 口，等待键盘被按下，并调用响应的模块进行处理，在适当的时候接收温度传感器传送的数据，然后调用 PID 算法模块对数据进行处理，输出控制量控制 SSR (固态继电器)，从而达到控制温度的目的。其程序流程图 3 所示。



**Figure 3.** Main program flow chart  
**图 3.** 主程序流程图

2) PID 程序模块设计

在工程实际中，应用最为广泛的调节器控制规律为比例(P)、积分(I)、微分控制(D)，简称 PID 控制，又称 PID 调节，根据实际应用需要，常常有 PI 或 PD 调节，PID 控制算法原理方框图如图 4 所示。

P、I、D 各部分的作用如下：改变 P 可提高响应速度，减小静态误差，但太大会增大超调量和稳时间。I 与 P 的作用基本相似，但要使静态误差为 0，必须使用积分。D 与 P，I 的作用相反，主要是为了减小超调，减小稳定时间。

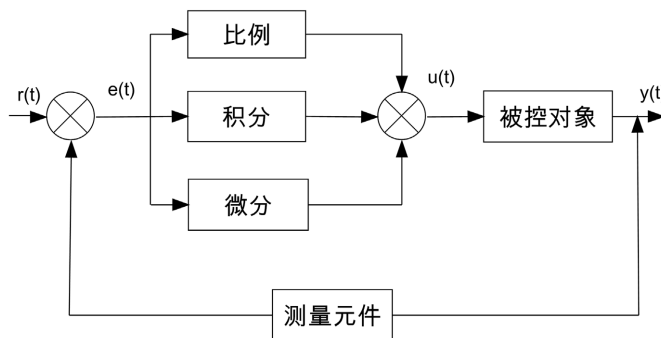


Figure 4. PID control algorithm principle block diagram  
图 4. PID 控制算法原理方框图

由于采集到的温度信息是连续信号，而单片机控制是采样控制，因此需将控制算法离散化，离散后的 PID 表达式如下：

$$u_k = K_p e_k + K_I \sum_{j=0}^k e_j + K_D (e_k - e_{k-1}) + u_0 \tag{式 3-1}$$

- 式中： $k$ ——采样信号， $k = 0, 1, 2, \dots$
- $u_k$ ——第  $k$  次采样时刻的计算机输出值
- $e_k$ ——第  $k$  次采样时刻输入的偏差值
- $e_{k-1}$ ——第  $k-1$  次采样时刻输入的偏差值
- $K_I$ ——积分系数(积分时间  $T_I$  即为累积多少次/个 T)
- $K_D$ ——微分系数
- $u_0$ ——开始进行 PID 控制时的原始初值

由于水温控制属于大惯性系统，且控制精度要求不高，而微分调节具有预见作用，减少超调量，故采用 PD 调节。PD 参数的设定采用试凑法，具体整定过程见表 1、表 2。经过反复整定，最终确定 P 值为 2.2，D 值 6。

Table 1. Determine the P value, let the D value be 0  
表 1. 确定 P 值，令 D 值为 0

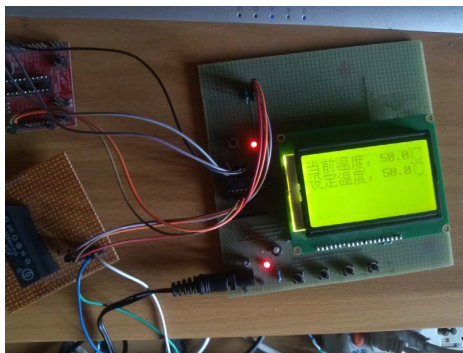
当前温度	设定温度	P	D	最高温度	超调量	稳态误差
30	40	0.5	0	43.1	3.1	-0.6/+0.5
43	48	1.5	0	50.6	2.6	-0.4/+0.6
25.8	40	2	0	41.6	1.6	-0.4/+0.6
38.7	45	2.5	0	46.9	1.9	-0.3/0.4
45	50	2.2	0	51.3	1.3	-0.4/0.4

**Table 2.** Let the value of P be about 2.2, and determine the value of D  
**表 2.** 令 P 值为 2.2 左右，确定 D 值

当前温度	设定温度	P	D	最高温度	超调量	稳态误差
19.1	35	2.2	1	36.3	1.3	-0.3/+0.4
36	40	2.2	2	41.5	1.5	-
41	45	2.2	4	46.6	1.6	-0.2/+0.3
45	50	2.2	6	51.7	1.7	-0.2/+0.3

### 3.3. 系统测试

当完成控制器整体的硬件设计以及软件编程之后，即可对系统各个部分的功能进行调试和测验。在进行调试时，对整个控制系统的各个部分进行相关的测试验证，得出结果，看是否符合设计要求。温度控制系统实物图如图 5 所示。



**Figure 5.** Temperature control system  
**图 5.** 温度控制系统

为了验证系统的稳定性和快速性，设置了不同的温度值，测量结果如表 3 所示。

**Table 3.** Measurement results of water temperature control system  
**表 3.** 水温控制系统测量结果

预置温度(度)	测量温度(度)	误差范围(度)	过渡时间(s)
20	20	0	20.5
45	45	0	19.2
50	49.7	0.3	5.3
65	65.2	0.2	5.7
70	69.8	0.2	5.2
73	73	0	4.3
78	78.1	0.1	6.4

从表 3 中可以看出，此次设计的水温控制系统的误差符合设计要求标准：当系统稳定之后，系统稳态值与设定值误差最大不过 0.3℃，稳定性好，快速由一个设定值到另一个设定值，过渡时间短。

## 4. 总结

针对传统自动控制原理课程设计过于依赖模拟仿真,不利于提高学生实践能力的问题,本文设计了一套理论与实践相结合水温控制系统,将自控制原理核心知识 PID 算法应用到实际工程中,并且可扩展性强,可提出不同难度的控制要求,适合不同层次的学生,符合新工科背景下对人才实践能力培养的要求。

## 基金项目

广州软件学院质量工程项目(JYJG202104)。

## 参考文献

- [1] 田思庆, 吴桂云. “自动控制原理”课程的教学研究与实践[J]. 电气电子教学学报, 2018(1): 112-114.
- [2] 唐超颖, 姜斌. “自动控制原理”课程的探究性教学实践[J]. 电气电子教学学报, 2017(6): 91-94.
- [3] 秦怀宇. 自动控制原理课程设计教学改革与实践[J]. 职业教育, 2017(2): 56-57.
- [4] 蔡林沁, 岑明. 自动化专业课程设计实践创新能力培养策略与方法[J]. 中国教育技术装备, 2012(5): 45-47.
- [5] 强盛, 史小平. 基于项目的“自动控制原理课程设计”改革探索[J]. 实验室研究与探索, 2013(32): 416-418.