

天津工业大学

毕业设计（论文）

模糊 PID 温度控制系统的设计

姓 名 杨 在 宏
学 院 电气工程与自动化
专 业 电气工程及其自动化
指导教师 陈 红 艳
职 称 讲 师

2010 年 06 月 15 日

天津工业大学毕业设计（论文）任务书

题目	模糊 PID 温度控制系统的设计				
学生姓名	杨在宏	学院名称	电气工程与自动化	专业班级	电气 064
课题类型	教研课题				
课题意义	<p>课题以模糊自整定 PID 控制算法为基础，构成一个能进行较复杂的数据处理和复杂控制功能的智能控制器，使其既可与微机配合构成控制系统，又可作为一个独立的单片机控制系统，具有较高的灵活性和可靠性。单片机根据输入的各种命令，进行智能算法得到控制值，输出脉冲触发号，通过过零触发电路驱动双向可控硅，从而控制温度。</p> <p>本课题提出的基于模糊的自整定 PID 控制算法的控制系统具有真正的智能化和灵活性，有自动检测、数据实时采集、处理及控制结果显示等功能，对控制温度的控制精度具有较好的意义。</p>				
任务与进度要求	<p>3.1—3.31 查找资料，理解相关原理，学习相关知识。</p> <p>4.1—4.15 确定整体方案选择并编写软件。</p> <p>4.16—5.20 仿真程序计算机实现，对结果进行分析整理。</p> <p>5.21—6.16 整理资料，撰写论文，准备答辩。</p>				
主要参考文献	<p>[1] 张国清,陈淑坤.简单实用的温控电器[J].仪器与未来,1992 (1)22.</p> <p>[2] 郑炳坤.简单的温控箱温控电路[J].仪器与未来,1991,(7)22.</p> <p>[3] 鲍可进.PID 参数自整定的温度控制[J].江苏理工大学学报,</p> <p>[4] 王文杰.模糊控制理论在温度控制中的应用[J].西北纺织工学院学报,1995, (6)151.</p>				
起止日期	2010.3.1-2010.6.16				
备注					

院长_____

教研室主任_____

指导教师_____

毕业设计（论文）开题报告表

2010年 03月 21日

姓名	杨在宏	学院	电气工程与自动化	专业	电气工程及其自动化	班级	电气 064
题目	模糊 PID 温度控制系统的设计					指导教师	陈红艳
<p>一、与本课题有关的国内外研究情况、课题研究的主要内容、目的和意义：温度是生产过程和科学实验中非常普遍而又十分重要的物理参数。在工业生产过程中，为了高效地进行生产，必须对生产工艺过程中的主要参数，如温度、压力、流量、速度等进行有效的控制，其中温度控制在生产过程中占有相当大的比例。准确地测量和有效地控制温度是优质、高产、低耗和安全生产的重要条件。传统的经典控制渐渐不能满足控制要求的情况下,通过应用模糊控制技术来完成对系统的控制要求,引进模糊 PID 温度控制，它将模糊控制和 PID 控制器两者结合起来，扬长避短，既具有模糊控制灵活而适应性强，调节速度快的优点，又具有 PID 控制无静差、稳定性好、精度高的特点，对复杂控制系统和高精度伺服系统具有良好的控制效果。</p>							
<p>二、进度及预期结果：</p>							
起止日期	主要内容					预期结果	
2010.3.1-2010.6.16	<p>以模糊自整定 PID 控制算法为基础，构成一个能进行较复杂的数据处理和复杂控制功能的智能控制器，使其既可与微机配合构成控制系统，又可作为一个独立的单片机控制系统，具有较高的灵活性和可靠性。单片机根据输入的各种命令，进行智能算法得到控制值，输出脉冲触发号，通过光电耦合器控制开关，从而控制温度。</p>					<p>具有真正的智能化和灵活性，有自动检测、数据实时采集、处理及控制结果显示等功能</p>	
完成课题的现有条件	<p style="text-align: center;">已学过的基础课程、各种相关参考文献</p>						
审查意见	<p style="text-align: right;">指导教师： _____ 年 ____ 月 ____ 日</p>						
学院意见	<p style="text-align: right;">主管领导： _____ 年 ____ 月 ____ 日</p>						

天津工业大学本科毕业设计（论文）评阅表

（论文类）

题目	模糊 PID 温度控制系统的设计					
学生姓名	杨在宏	学生班级	电气 064	指导教师姓名	陈红艳	
评审项目	指标			满分	评分	
选题	能体现本专业培养目标，使学生得到较全面训练。题目大小、难度适中，学生工作量饱满，经努力能完成。			10		
	题目与生产、科研等实际问题结合紧密。			10		
课题调研、文献检索	能独立查阅文献以及从事其他形式的调研，能较好地理解课题任务并提出实施方案；有分析整理各类信息，从中获取新知识的能力。			15		
论文撰写	结构严谨，理论、观点、概念表达准确、清晰。			10		
	文字通顺，用语正确，基本无错别字和病句，图表清楚，书写格式符合规范。			10		
外文应用	能正确引用外文文献，翻译准确，文字流畅。			5		
论文水平	论文论点正确，论点与论据协调一致，论据充分支持论点，论证过程有说服力。			15		
	有必要的数据、资料支持，数据、资料翔实可靠，得出的结论有可验性。			15		
	论文有独到见解或有一定实用价值。			10		
合计				100		
意见及建议：						
评阅人签名：				年	月	日

天津工业大学毕业设计（论文）成绩考核表

学生姓名	杨在宏	学院名称	电气工程与自 动化	专业班级	电气 064
题目	模糊 PID 温度控制系统的设计				
1. 毕业设计（论文）指导教师评语及成绩：					
成绩：	指导教师签字：_____ 年 月 日				
2. 毕业设计（论文）答辩委员会评语及成绩：					
成绩：	答辩主席（或组长）签字：_____ 年 月 日				
3. 毕业设计（论文）总成绩：					
a.指导教师 给定成绩	b.评阅教师 给定成绩	c.毕业答辩成绩	总成绩 ($a \times 0.5 + b \times 0.2 + c \times 0.3$)		

摘要

模糊 PID 的温度控制系统具有真正的智能化和灵活性，越来越多的温度控制系统都基于模糊 PID 算法而设计。随着控制对象变得复杂，应用常规 PID 温度控制精度和鲁棒性降低。当控制对象很复杂的情况下，常规 PID 温度控制器已经不再适用了，为了提高对复杂系统的控制性能，要使用模糊 PID 温度控制器。一种将 PID 控制与模糊控制的简便性、灵活性、以及鲁棒性融为一体，构造了一个模糊 PID 温度控制器。

本文设计了一种基于模糊 PID 的温度控制系统，以 AT89C51 单片机为核心，主要做了如下几方面的工作：首先介绍了模糊 PID 控制理论基础，其次进行系统的硬件设计以及硬件选择，最后进行系统的软件设计以及仿真。

关键词：模糊 PID；AT89C51 单片机；温度控制；仿真

Abstract

Fuzzy PID temperature control system with real intelligence and flexibility, more and more temperature control systems are designed based on fuzzy PID algorithm. With the control object becomes complicated, using conventional PID temperature control accuracy and robustness of the lower. When the control object is a complex situation, conventional PID temperature controller is no longer applied, in order to improve the control performance of complex systems, to use the fuzzy PID temperature controller. A way to PID control and fuzzy control of simplicity, flexibility, and robustness of the integration, we constructed a fuzzy PID temperature controller.

This design presents a fuzzy-based PID temperature control system to AT89C51 SCM, made the following main areas of work: first introduce the theory of fuzzy PID control, second for the hardware design and hardware design, and finally to the system software design and simulation.

Keywords: Fuzzy PID; AT89C51 SCM; temperature control; simulation

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 选题背景及其意义.....	1
1.2 概述.....	1
1.3 温度测控技术的发展与现状.....	1
1.3.1 定值开关控温法.....	2
1.3.2PID 线性控温法.....	2
1.3.3 智能温度控制法.....	2
第二章 模糊 PID 控制理论.....	4
2.1PID 控制器.....	4
2.1.1PID 控制的发展.....	4
2.1.2PID 控制理论.....	4
2.1.3PID 控制算法.....	5
2.2 模糊控制原理.....	7
2.2.1 模糊控制系统的基本概念.....	7
2.2.2 模糊控制系统的组成.....	7
2.2.3 模糊控制的基本原理.....	8
2.3 模糊 PID 复合控制算法.....	9
2.3.1 模糊 PID 复合算法.....	9
2.3.2 模糊 PID 算法运用.....	10
第三章 模糊 PID 温度控制系统硬件设计.....	14
3.1 系统硬件电路构成.....	14
3.2 系统设计原则及系统总电路图.....	14
3.2.1 系统设计原则.....	14
3.2.2 系统总电路图.....	15
3.3 单片机的选择.....	15
3.4 温度传感器的选择.....	19
3.4.1DS18B20 简介.....	19
3.4.2DS18B20 的性能特点.....	20
3.4.3DS18B20 的管脚排列.....	21
3.4.4DS18B20 的内部结构.....	21
3.4.5DS18B20 的测温原理.....	22
3.5 数码管输出.....	22
3.6 键盘接口电路.....	23
3.7 蜂鸣电路.....	24
3.8 外部存储模块.....	24
3.9 电机驱动模块.....	25
第四章 系统软件设计.....	27

4.1 主程序模块.....	27
4.2 温度传感器 DS18B20 模块.....	27
4.3LED 显示模块.....	29
4.4 键盘控制模块.....	29
第五章 系统的仿真.....	31
5.1 仿真工具.....	31
5.2 MATLAB 及其模糊逻辑工具箱和仿真环境.....	31
5.2.1MATLAB 概况.....	31
5.2.2 模糊逻辑工具箱.....	31
5.3 模糊 PID 的仿真.....	32
5.3.1 控制对象模型.....	32
5.3.2MATLAB 仿真.....	33
5.4 仿真结果与分析.....	35
结论.....	37
参考文献.....	38
附 录.....	39
附件一:部分源程序.....	39
1.DS18B20 相关子程序.....	39
2.LED 相关子程序.....	39
3.按键相关子程序.....	40
附件二: 英文文献.....	43
附件三: 系统总电路图.....	51
谢 辞.....	51

第一章 绪论

1.1 选题背景及其意义

在人类的生活环境中，温度扮演着极其重要的角色。无论你生活在哪里，从事什么工作，无时无刻不在与温度打着交道。自 18 世纪工业革命以来，工业发展与是否能掌握温度有着密切的联系。在冶金、钢铁、石化、水泥、玻璃、医药等行业，可以说几乎 80% 的工业部门都不得不考虑着温度的因素。温度不但对于工业如此重要，在农业生产中温度的监测与控制也有着十分重要的意义^[1]。

1.2 概述

温度是生活及生产中最基本的物理量，它表征的是物体的冷热程度。自然界中任何物理、化学过程都紧密的与温度相联系。在很多生产过程中，温度的测量和控制都直接和安全生产、提高生产效率、保证产品质量、节约能源等重大技术经济指标相联系。因此，温度的测量与控制在国民经济各个领域均受到了相当程度的重视。

今天，我们的生活和工作环境有越来越多称之为单片机的小电脑在为我们服务。单片机在工业控制、尖端武器、通信设备、信息处理、家用电器等各测控领域的应用中独占鳌头。时下，家用电器和办公设备的智能化、遥控化、基于单片机的温度测控系统在温室大棚中的设计与实现模糊控制化已成为世界潮流，而这些高性能无一不是靠单片机来实现的。

1.3 温度测控技术的发展与现状

近年来，温度的检测在理论上发展比较成熟，但在实际测量和控制中，如何保证快速实时地对温度进行采样，确保数据的正确传输，并能对所测温度场进行较精确的控制，仍然是目前需要解决的问题。温度测控技术包括温度测量技术和温度控制技术两个方面。

在温度的测量技术中，接触式测温发展较早，这种测量方法的优点是：简单、可靠、低廉、测量精度较高，一般能够测得真实温度；但由于检测元件热惯性的影响，响应时间较长，对热容量小的物体难以实现精确的测量，并且该方法不适宜于对腐蚀性介质测温，不能用于超高温测量，难于测量运动物体的温度。另外的非接触式测温方法是通过对辐射能量的检测来实现温度测量的方法，其优点是：不破坏被测温场，可以测量热容量小的物体，适于测量运动物体的温度，还可以测量区域的温度分布，响应速度较快。但也存在测量误差较大，仪表指示值一般仅代表物体表面温度，测温装置结构复杂，价格昂贵等缺点。因此，在实际的温度测量中，要根据具体的测量对象选择合适的测量方法，在满足测量精度要求的前提下尽量减少投入^[1]。

温度控制技术按照控制目标的不同可分为两类:动态温度跟踪与恒值温度控制。动态温度跟踪实现的控制目标是使被控对象的温度值按预先设定好的曲线进行变化。在工业生产中很多场合需要实现这一控制目标,如在发酵过程控制,化工生产中的化学反应温度控制,冶金工厂中燃烧炉中的温度控制等;恒值温度控制的目的是使被控对象的温度恒定在某一给定数值上,且要求其波动幅度(即稳态误差)不能超过某允许值。本文所讨论的基于单片机的温度控制系统就是要实现对温控箱的恒值温度控制要求,故以下仅对恒值温度控制进行讨论。

从工业控制器的发展过程来看,温度控制技术大致可分以下几种:

1.3.1 定值开关控温法

所谓定值开关控温法,就是通过硬件电路或软件计算判别当前温度值与设定目标温度值之间的关系,进而对系统加热装置(或冷却装置)进行通断控制。若当前温度值比设定温度值高,则关断加热器,或者开动制冷装置;若当前温度值比设定温度值低,则开启加热器并同时关断制冷器。这种开关控温方法比较简单,在没有计算机参与的情况下,用很简单的模拟电路就能够实现。目前,采用这种控制方法的温度控制器在我国许多工厂的老式工业电炉中仍被使用。

由于这种控制方式是当系统温度上升至设定点时关断电源,当系统温度下降至设定点时开通电源,因而无法克服温度变化过程的滞后性,致使被控对象温度波动较大,控制精度低,完全不适用于高精度的温度控制。

1.3.2 PID 线性控温法

这种控温方法是基于经典控制理论中的 PID 调节器控制原理, PID 控制是最早发展起来的控制策略之一,由于其算法简单、鲁棒性好、可靠性高等优点被广泛应用工业过程控制中,尤其适用于可建立精确数学模型的确定性控制系统。由于 PID 调节器模型中考虑了系统的误差、误差变化及误差积累三个因素,因此,其控制性能大大地优越于定值开关控温。其具体控制电路可以采用模拟电路或计算机软件方法来实现 PID 调节功能。前者称为模拟 PID 控制器,后者称为数字 PID 控制器。其中数字 PID 控制器的参数可以在现场实现在线整定,因此具有较大的灵活性,可以得到较好的控制效果。采用这种方法实现的温度控制器,其控制品质的好坏主要取决于三个 PID 参数(比例值、积分值、微分值)。只要 PID 参数选取的正确,对于一个确定的受控系统来说,其控制精度是比较令人满意的。但是,它的不足也恰恰在于此,当对象特性一旦发生改变,三个控制参数也必须相应地跟着改变,否则其控制品质就难以得到保证。

1.3.3 智能温度控制法

为了克服 PID 线性控温法的弱点,人们相继提出了一系列自动调整 PID 参数的方法,如 PID 参数的自学习,自整定等等。并通过将智能控制与 PID 控制

相结合，从而实现温度的智能控制。智能控温法以神经网络和模糊数学为理论基础，并适当加以专家系统来实现智能化。其中应用较多的有模糊控制、神经网络控制以及专家系统等。尤其是模糊控温法在实际工程技术中得到了极为广泛的应用。目前已出现一种高精度模糊控制器，可以很好的模拟人的操作经验来改善控制性能，从理论上讲，可以完全消除稳态误差。所谓第三代智能温控仪表，就是指基于智能控温技术而研制的具有自适应 PID 算法的温度控制仪表。目前国内温控仪表的发展，相对国外而言在性能方面还存在一定的差距，它们之间最大的差别主要还是在控制算法方面，具体表现为国内温控仪在全量程范围内温度控制精度比较低，自适应性较差。这种不足的原因是多方面造成的，如针对不同的被控对象，由于控制算法的不足而导致控制精度不稳定。

第二章 模糊 PID 控制理论

2.1 PID 控制器

2.1.1 PID 控制的发展

PID 控制策略是最早发展起来的控制策略之一，现今使用的 PID 控制器产生并发展于 1915-1940 年期间尽管自 1940 年以来，许多先进的控制方法不断的推出，但由于 PID 控制具有结构简单、鲁棒性好、可靠性高、参数易于整定，P、I、D 控制规律各自成独立环节，可根据工业过程进行组合，而且其应用时期较长，控制工程师们已经积累大量的 PID 控制器参数的调节经验。因此，PID 控制器在工业控制中仍然得到广泛的应用，许多工业控制器仍然采用 PID 控制器。

PID 控制器的发展经历了液动式、气动式、电动式几个阶段，目前正由模拟控制器向着数字化、智能化控制器的方向发展^[3]。

2.1.2 PID 控制理论

PID 控制器是一种线性控制器，它根据给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $y(t)$ 构成控制偏差 $e(t)$ ：

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad \text{式 (2-1)}$$

将偏差 $e(t)$ 的比例(Proportional)、积分(Integral)和微分(Derivative)通过线性组合构成控制量，对被控对象进行控制，因此称为 PID 控制，PID 控制系统原理如图 2-1 所示：

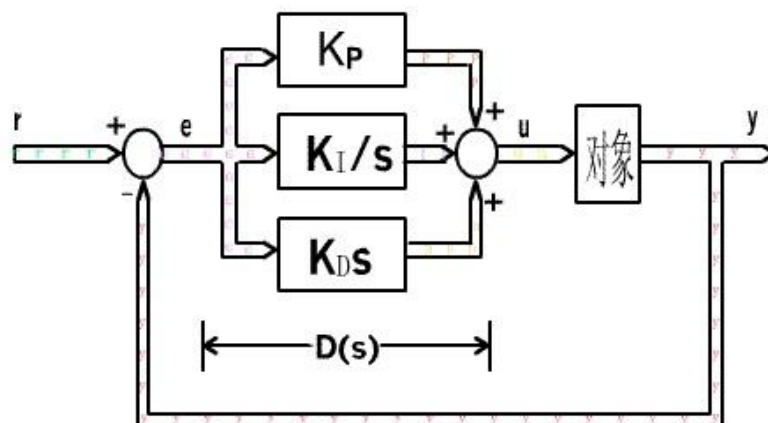


图 2-1 PID 控制系统原理图

其控制规律为

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T} \int_0^t e(t)dt + T_D \frac{de(t)}{dt}] \quad \text{式 (2-2)}$$

或者写成传递函数形式为

$$G(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_I s} + T_{DS} s) \quad \text{式 (2-3)}$$

式 2-3 中 K_p : 比例系数; K_I : 积分时间常数; K_D : 微分时间常数。

PID 控制器各校正环节的作用如下:

(1) 比例环节即时成比例地反映控制系统的偏差信号 $e(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用, 以减少偏差;

(2) 积分环节主要用于消除静差, 提高系统的无差度。

(3) 微分环节能够反映偏差信号的变化趋势(变化速率), 并且能在偏差信号值变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减少调节时间^[5]。

2.1.3PID 控制算法

由于计算机控制是一种采样控制系统, 它只能根据采样时刻的偏差值计算控制量。因此, 式 2-3 中的积分和微分项不能直接使用, 需要进行离散化处理。令 T 为采样周期, 以一系列的采样时刻点 KT 代表连续时间 t , 以累加求和近似代替积分以一阶后向差分近似代替微分做如下的近似变换^[2]:

$$t = KT \quad \text{式 (2-4)}$$

$$\int_0^t e(t)dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^k e(j) \quad \text{式 (2-5)}$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(KT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad \text{式 (2-6)}$$

其中, T 为采样周期, $e(k)$ 为系统第 k 次采样时刻的偏差值, $e(k-1)$ 为系统第 $(k-1)$ 次采样时刻的偏差值, k 为采样序号, $k=0, 1, 2, \dots$ 。

将上面的式 2-4 和式 2-5 代入式 2-6 则可以得到离散的 PID 表达式:

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad \text{式 (2-7)}$$

如果采样周期了足够小, 该算式可以很好的逼近模拟 PID 算式, 因而使被控过程与连续控制过程十分接近。通常把式 2-7 称为 PID 的位置式控制算法。

若在式 2-7 中, 令:

$$K_I = \frac{K_P T}{T_I} \quad (\text{称为积分系数})$$

$$K_D = \frac{K_P T_D}{T} \quad (\text{称为微分系数})$$

则

$$u(k) = K_I e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad \text{式 (2-8)}$$

(2-8)式即为离散化的位置式 PID 控制算法的编程表达式。可以看出，每次输出与过去的所有状态都有关，要想计算 $u(k)$ ，不仅涉及 $e(k)$ 和 $e(k-1)$ ，且须将历次 $e(j)$ 相加，计算复杂，浪费内存。下面，推导计算较为简单的递推算式。为此，对(2-8)式作如下的变动：

考虑到第 $(k-1)$ 次采样时有：

$$u(k-1) = K_P \{e(k-1) + \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k-1) - e(k-2)]\} \quad \text{式 (2-9)}$$

使 (2-8) 两边对应减去 (2-9) 式得

$$u(k) - u(k-1) = K_P \{e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\}$$

整理后得

$$u(k) = u(k-1) + a_0 e(k) - a_1 e(k-1) + a_2 e(k-2) \quad \text{式 (2-10)}$$

$$\text{其中： } a_0 = K_P (1 + \frac{T}{T_I} + \frac{T_D}{T})； a_1 = K_P (1 + \frac{2T_D}{T})； a_2 = K_P \frac{T_D}{T}$$

式 (2-10) 就是 PID 位置式的递推形式

如果令 $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ ，则：

$$\Delta u(k) = a_0 e(k) - a_1 e(k-1) + a_2 e(k-2) \quad \text{式 (2-11)}$$

式中 a_0 、 a_1 、 a_2 同式 (2-10) 中一样。

因为在计算机控制中式中 a_0 、 a_1 、 a_2 都可以事先求出，所以，实际控制时只须获得 $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 三个有限的偏差值就可以求出控制增量。由于其控制输出对应执行机构的位置的增量，故(2-11)式通常被称为 PID 控制的增量式算式^[3]。增量式 PID 控制算法与位置式控制算法比较，有如下的一些优点：

(1) 位置式算法每次输出与整个过去状态有关，算式中要用到过去偏差的累加值 $\sum e(j)$ ，容易产生较大的累计误差。而增量式中只须计算增量，控制增

量的确定仅与最近几次偏差采样值有关，当存在计算误差或者精度不足时，对控制量的影响较小，且较容易通过加权处理获得比较好的控制效果；

(2) 由于计算机只输出控制增量，所以误动作影响小，而且必要时可以用逻辑判断的方法去掉，对系统安全运行有利；

(3) 手动与自动切换时冲击比较小^[5]。

2.2 模糊控制原理

2.2.1 模糊控制系统的基本概念

在人参与的实际控制系统中，人们发现，有些有经验的操作人员，虽然不懂被控对象或者被控过程的数学模型，也不懂自动控制的基本原理，却能凭借经验采取相应的决策，很好的完成控制工作，如图 2-2 是典型的人机控制系统框图^[4]。

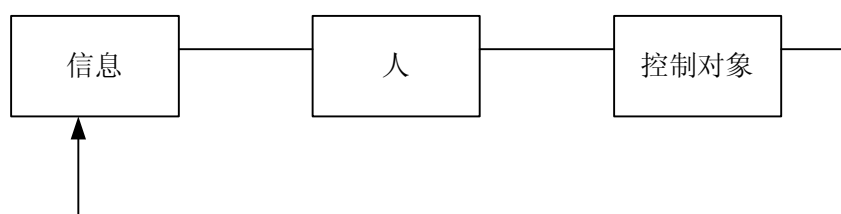


图 2-2 典型人机控制系统框图

操作者根据仪表显示的信息（包括声、光、及数字信息），获得系统的运行状态，然后操作者根据自己以往的经验 and 积累的知识，做出相应的决策，并对控制对象进行运作，在这个系统中，仪表的信息都是精确量，通过人的感官传入操作者的大脑，然后在脑中形成具有模糊性的概念，然后操作者根据经验，进行模糊决策。

显然，这种人机控制系统进行的控制是一种模糊控制，人们为了模拟这种控制过程，设计了一种以模糊数学为基础的控制系统，模糊控制系统的工作过程同人机控制系统一样，都是一种模糊控制，只不过模糊控制系统中的决策者是模糊控制器。模糊控制器将根据输入的信息进行模糊决策，输出一个模糊量，然后将它精确化，并作用于被控对象。这样即使一个控制过程出现了问题，其他的规则往往可以补偿，此时的系统可能不是最佳控制，但是仍然会正常工作。

2.2.2 模糊控制系统的组成

模糊控制系统如图 2-3 所示^[10]

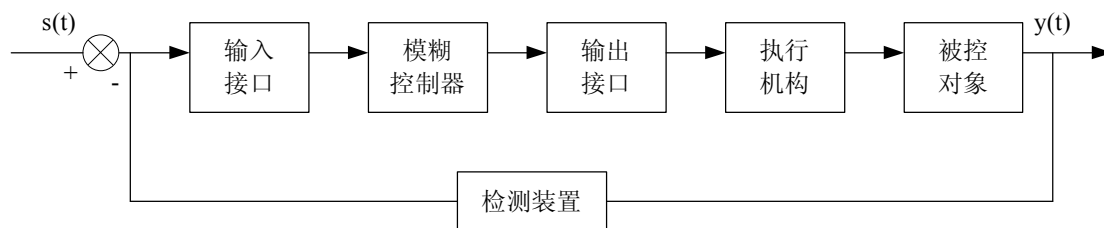


图 2-3 模糊控制系统

模糊控制系统一般可以分为五个部分：

(1) 模糊控制器。它是各类模糊控制系统的核心部分。由于被控对象的不同，以及对系统静态、动态特性的要求和所应用的控制规则各异，可以构成各种类型的控制器，在模糊控制理论中，则采用基于模糊控制的知识表示和规则推理的语言型“模糊控制器”，这也是模糊控制系统区别于其他控制系统的重点所在。模糊控制器的主要功能有三个：模糊量化处理；模糊推理（决策）；非模糊化处理（精确化处理）。

(2) 输入-输出接口。模糊控制器通过输入-输出接口从被控对象获取数字信号量，并将模糊控制器决策的输出数字信号经过数模转换，转变为模拟信号，然后送给被控对象。在 I/O 接口装置中，除了 A/D、D/A 转换外，还包括必要的电平转换。

(3) 执行结构。包括各种交、直流电动机、伺服电动机、步进电动机等。

(4) 被控对象。它可以是一种设备或装置以及它们的群体，也可以是一个生产的、自然的、社会的、生物的或其他的各种的对象过程。这些被控对象可以是确定性的或是不确定的、单变量的或多变量的、有滞后或是无滞后的，也可以是线性或非线性的、定常或时变的以及具有强耦合的和干扰的等多种情况。对于那些难以监视精确数学模型的复杂对象，更适宜采用模糊控制。

(5) 检测装置。即传感器，传感器是将被控对象或各种过程的被控量转化为电信号（模拟或数字）的一类装置。被控量往往是非电量，如速度、加速度、温度、压力等。传感器在模糊控制系统中占有十分重要的地位，它的精度往往直接影响整个模糊控制系统的精度，因此，在选择传感器时，应十分注意选择精度高且稳定性好的传感器。

2.2.3 模糊控制的基本原理

模糊控制的基本原理如图 2-4 所示，它的核心部分为模糊控制器，即图中线框内部^[9]。

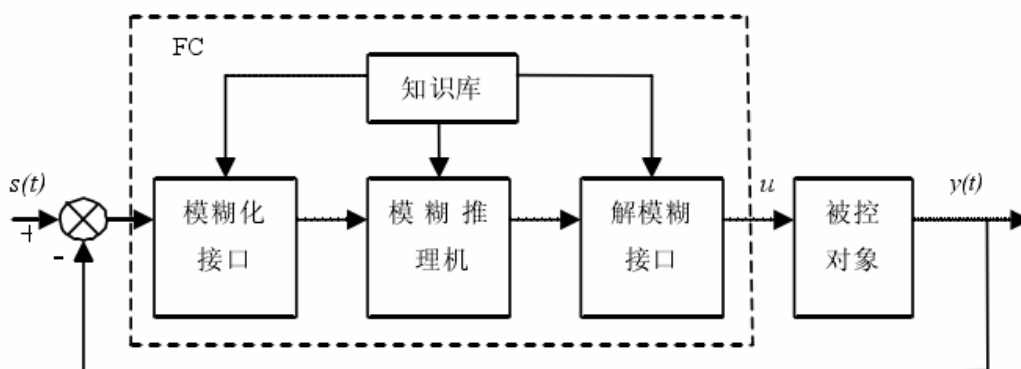


图 2-4 模糊控制原理框图

模糊控制器的控制规律由计算机的程序实现，模糊控制的基本思想是：微机经中断采样获取被控制量的精确值，然后将此量与给定值比较得到偏差信号 e 。一般选偏差信号 e 作为模糊控制器的一个输入量，把偏差信号 e 的精确量进行模糊化变成模糊量，偏差 e 的模糊量可以用相应的模糊语言表示，得到偏差 e 的模糊语言集合的一个子集。再由模糊子集、模糊控制规则（模糊关系）和前项推理进行模糊推理，得到模糊控制量为： $u=E*R$ ，式中 u 为一个模糊量。

为了对被控对象施加精确的控制，还需要将模糊量 u 转换为精确量，这一步骤称为解模糊（也称清晰化）。得到了精确的数字控制量后，经数模转换变为精确的模拟量送给执行机构，对被控对象进行一步控制。然后中断，等待第二次采样，进行第二步控制，这样循环下去，就实现了对被控对象的模糊控制。

综上所述，模糊控制过程可概括为以下四个步骤：

- (1) 根据本次采样得到的系统的输出值，计算所选择系统的输入变量；
- (2) 将输入变量的精确值变为模糊量；
- (3) 根据输入变量（模糊量）及模糊控制规则，按照模糊推理合成规则推理计算输出控制量（模糊量）；
- (4) 由上述得到的控制量（模糊量），并作用于执行机构。

2.3 模糊 PID 复合控制算法

2.3.1 模糊 PID 复合算法

由于 PID 算法只有在系统为非时变的情况下才能获得较理想的效果，当一个调整好参数的 PID 控制器被应用到模型参数时变系统，系统控制性能会变差，甚至不稳定。而 Fuzzy 控制虽然对被控对象的时滞性、非线性和时变性具有一定的适应能力，同时对噪声也具有较强的抑制能力，但消除系统稳态误差的能力较

弱，难以达到较高的控制精度。因此单纯采用模糊控制都不会取得较好的控制效果。本文采用 Fuzzy-PID 复合控制温度可以克服上述两种方法的缺点。

Fuzzy-PID 控制是在一般 PID 控制系统的基础上，加上一个环节，利用模糊控制规则对 PID 参数进行修改的一种自适应控制系统误差 E 和误差变化 Ec 作为输入，可以满足不同时刻的 E 和 Ec 对参数要求。

Fuzzy-PID 控制器是在常规 PID 的基础上，应用 Fuzzy 集合理论建立参数 K_p 、 K_I 、 K_D 与误差变化 E_C 间的二元连续函数关系为：

$$K_p = f_1(E, E_C), \quad K_I = f_2(E, E_C), \quad K_D = f_3(E, E_C)$$

并根据不同的 E 和 Ec 在线自整定参数 K_p 、 K_I 、 K_D 的控制器。

PID 参数自整定在运行中通过不断检测 E 和 Ec，根据不同的 E、Ec 在线自整 K_p 、 K_I 、 K_D 参数，以满足不同时对控制参数的不同要求，使被控对 E 和 E_C 时对控制参数的不同要求，使被控对象具有良好的动、静态性能。PID 参数模糊自整定控制原理如图所示。

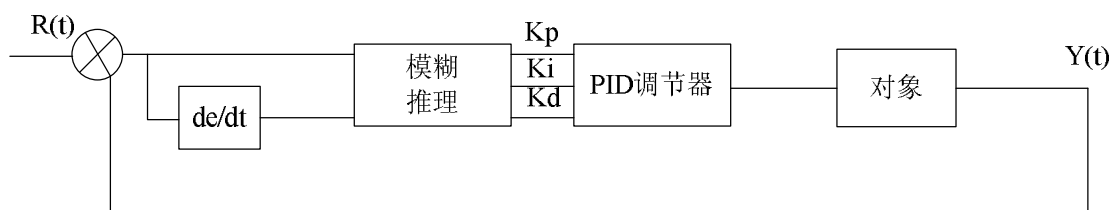


图 2-5 PID 模糊自整定控制原理图

2.3.2 模糊 PID 算法运用

(1) 模糊化处理

将系统误差和误差变化率变化范围定义为模糊集上的论域：E，Ec-[-5,5]，其模糊子集为：E，Ec- {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}。

子集中元素分别代表负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。设 E，Ec 隶属函数取“三角形”隶属函数，如图 2-6 所示。

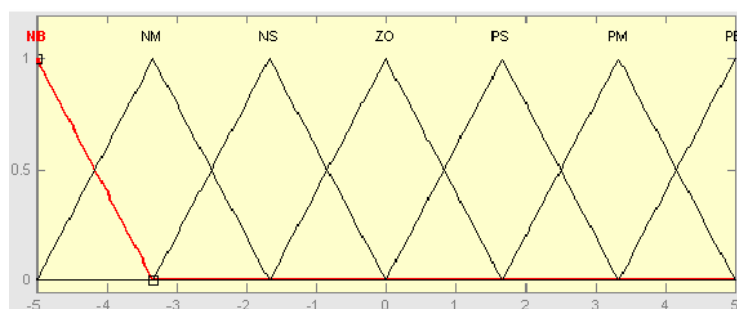


图 2-6 E、Ec 隶属函数

K'_p 、 K'_I 、 K'_D 的论域为[0,1]，均服从正态分布，隶属函数如图 2-7 所示。

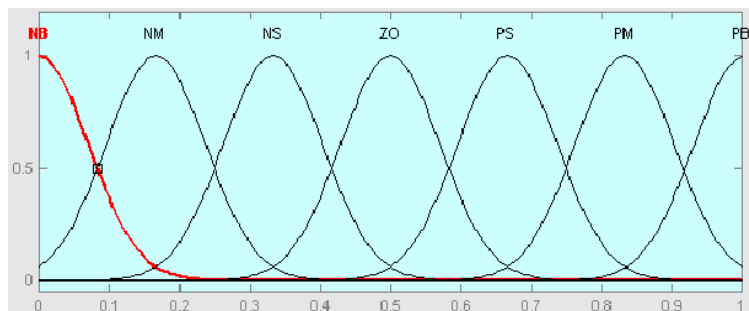


图 2-7 K'_p 、 K'_I 、 K'_D 隶属函数

(2) 建立模糊规则

Fuzzy-PID 是在 PID 算法的基础上，通过计算当前系统误差 E 和误差变化率 EC，利用模糊规则进行模糊推理，查询模糊矩阵表进行参数调整。建立 K_p 、 K_I 、 K_D 的模糊控制规则表分别如表 2-1、2-2 和 2-3 所示。

表 2-1 K'_p 的模糊规则表

K'_p		Ec						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
	NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
	NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
	ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
	PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
	PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

(3) 去模糊化

经过模糊推理后，模糊 PID 控制器整定的 3 个修正参数进行去模糊化处理，取得精确量以计算输出控制量。去模糊化的过程是把推理系统输出的模糊集合映射成精确量输出，采用面积中模糊中心法解模糊。

$$K'_p = \frac{\sum_{i=1}^m u_i K'_p}{\sum_{i=1}^m u_i} ; \quad K'_D = \frac{\sum_{i=1}^m u_i K'_D}{\sum_{i=1}^m u_i} ; \quad K'_I = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{\sum_{i=1}^m u_i} .$$

表 2-2 K'_D 的模糊规则表

K'_D		E_c						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
	NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
	NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
	ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
	PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
	PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

表 2-3 K'_I 的模糊规则表

K'_I		E_c						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
	NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
	NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
	ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
	PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

(4) 确定参数

K'_P 、 K'_I 、 K'_D 经去模糊处理后， K_P 、 K_I 、 K_D 最终通过以下公式得到：

$$K_P = K_{P \min} + (K_{P \max} - K_{P \min}) * K'_P$$

$$K_D = K_{D \min} + (K_{D \max} - K_{D \min}) * K'_D$$

$$K_I = K_{I \min} + (K_{I \max} - K_{I \min}) * K'_I$$

其中 $K_{P \min}$ 、 $K_{P \max}$ 、 $K_{D \min}$ 、 $K_{D \max}$ 由以下公式得到：

$$K_{P \min} = 0.235K_U, \quad K_{P \max} = 0.481K_U$$

$$K_{D \min} = 0.0347K_U T_U, \quad K_{D \max} = 0.0951K_U T_U$$

式中： K_U 为比例控制下等幅振荡时的比例增益； T_U 为比例控制下等幅振荡时振荡周期^[8]。

第三章 模糊 PID 温度控制系统硬件设计

3.1 系统硬件电路构成

模糊 PID 温度控制系统主要包括单片机控制模块，温度采集模块，温度显示模块，温度上下限调整模块，电机驱动模块和外部存储模块等六大部分。系统总体框图如图 3-1 所示^[5]。

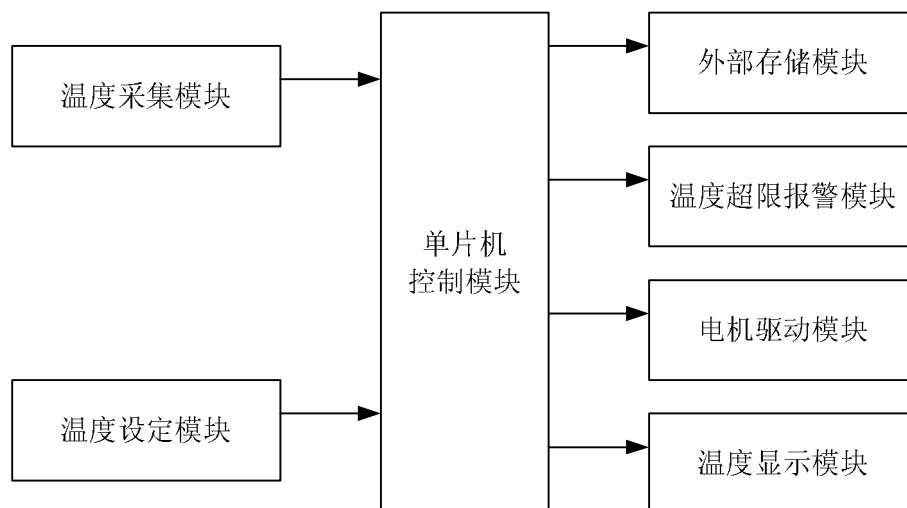


图 3-1 系统总体框图

(1) 单片机控制模块：它是系统的核心模块，用来控制其他各个模块的工作情况。

(2) 温度采集模块：该模块用来采集控制对象的温度，并输入到单片机中。

(3) 温度设定模块：用来设定所需求的温度。

(4) 温度超限报警模块：当温度高于上限或者低于下限时，该模块启动，以实现更好的人机交流。

(5) 电机驱动模块：该模块分为两个部分；加热装置与散热装置。

(6) 外部存储模块：用来存储设定温度的上限值和下限值。

(7) 温度显示模块：显示当前设定的温度值。

3.2 系统设计原则及系统总电路图

3.2.1 系统设计原则

要求单片机系统应具有可靠性高、操作维护方便、性价比高等特点^[4]。

1. 可靠性

高可靠性是单片机系统应用的前提，在系统设计的每一个环节，都应该将可靠性作为首要的设计准则。提高系统的可靠性通常从以下几个方面考虑：使用可

靠性高的元器件；设计电路板时布线和接地要合理；对供电电源采用抗干扰措施；输入输出通道抗干扰措施；进行软硬件滤波；系统自诊断功能等。

2.操作维护方便

在系统的软硬件设计时，应从操作者的角度考虑操作和维护方便，尽量减少对操作人员专用知识的要求，以利于系统的推广。因此在设计时，要尽可能减少人机交互接口，多采用操作内置或简化的方法。同时系统应配有现场故障诊断程序，一旦发生故障能保证有效地对故障进行定位，以便进行维修。

3.性价比

单片机除体积小、功耗低等特点外，最大的优势在于高性能价格比。一个单片机应用系统能否被广泛使用，性价比是其中一个关键因素。因此，在设计时，除了保持高性能外，尽可能降低成本，如简化外围硬件电路，在系统性能和速度允许的情况下尽可能用软件功能取代硬件功能等。

3.2.2 系统总电路图

系统总设计图^[11]如图 3-2 所示

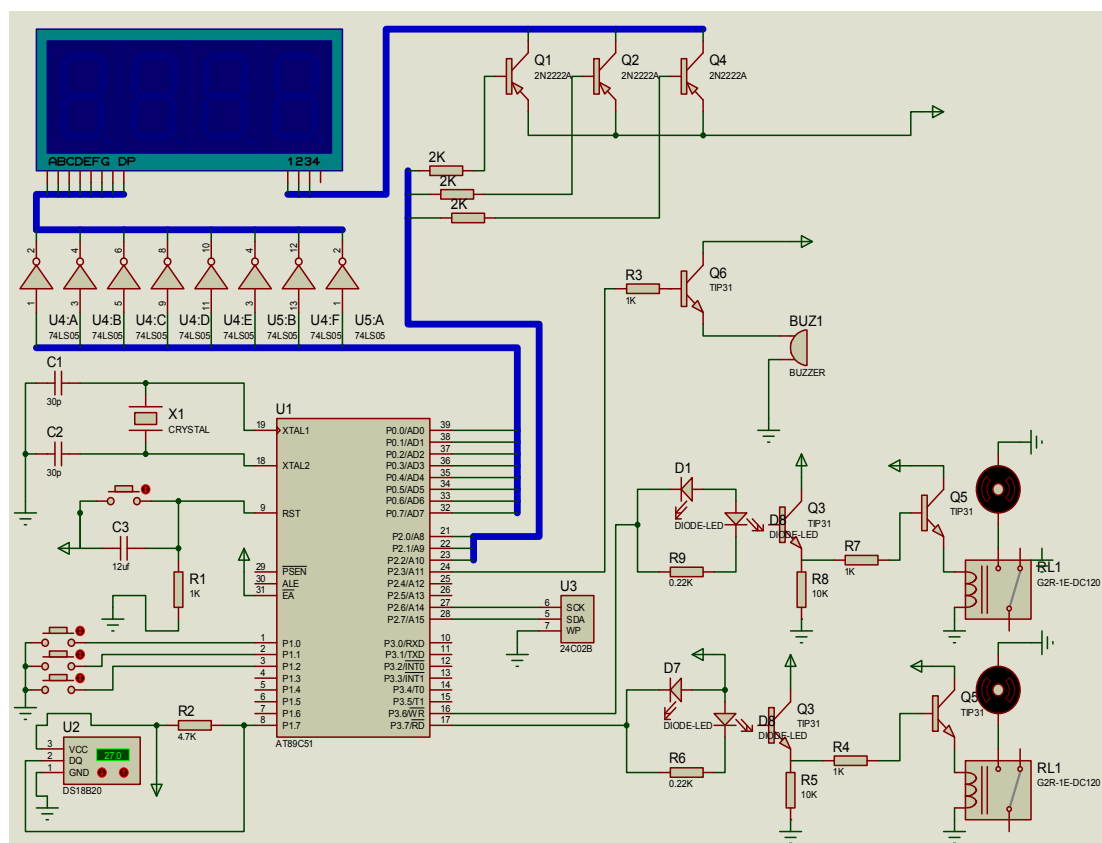


图 3-2 系统总设计图

3.3 单片机的选择

本文选用 AT89C51 单片机，AT89C51 是一种带 4K 字节闪存可编程可擦除

只读存储器（FPEROM—Flash Programmable and Erasable Read Only Memory）的低电压、高性能 CMOS 8 位微处理器，俗称单片机。AT89C2051 是一种带 2K 字节闪存可编程可擦除只读存储器的单片机。单片机的可擦除只读存储器可以反复擦除 1000 次。该器件采用 ATMEL 高密度非易失存储器制造技术制造，与工业标准的 MCS-51 指令集和输出管脚相兼容。由于将多功能 8 位 CPU 和闪烁存储器组合在单个芯片中，ATEMEL 的 AT89C51 是一种高效微控制器，AT89C2051 是它的一种精简版本。AT89C51 单片机为很多嵌入式控制系统提供了一种灵活性高且价廉的方案。

主要特性：

与 MCS-51 兼容

4K 字节可编程闪烁存储器

寿命：1000 写/擦循环

数据保留时间：10 年

全静态工作：0Hz-24MHz

三级程序存储器锁定

128×8 位内部 RAM

32 可编程 I/O 线

两个 16 位定时器/计数

5 个中断源

可编程串行通道

低功耗的闲置和掉电模式

片内振荡器和时钟电路

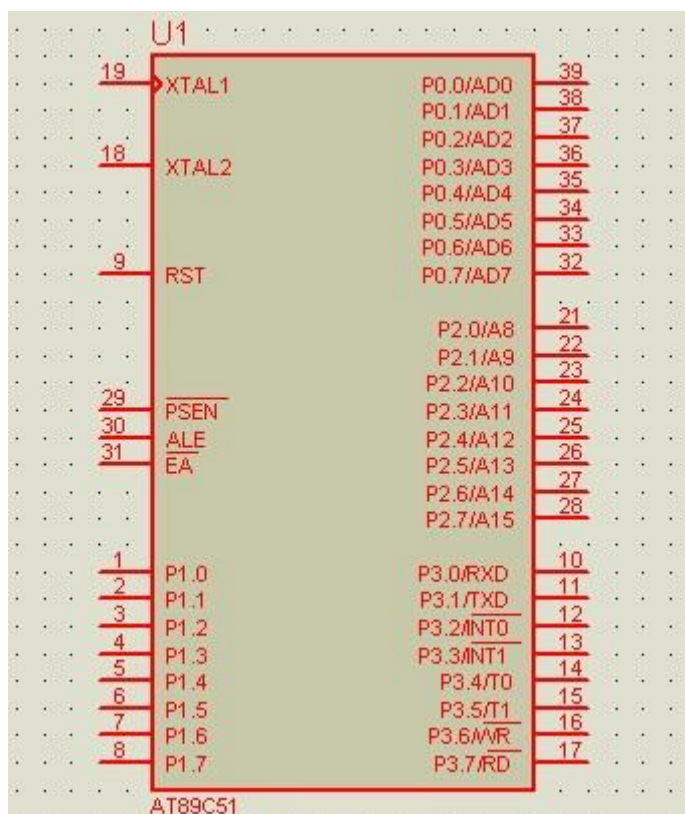


图3-6 AT89C51单片机示意图

管脚说明:

VCC: 供电电压。

GND: 接地。

P0 口: P0 口为一个 8 位漏级开路双向 I/O 口，每脚可吸收 8TTL 门电流。当 P1 口的管脚第一次写 1 时，被定义为高阻输入。P0 能够用于外部程序数据存储器，它可以被定义为数据/地址的第八位。在 FLASH 编程时，P0 口作为原码输入口，当 FLASH 进行校验时，P0 输出原码，此时 P0 外部必须被拉高。

P1 口: P1 口是一个内部提供上拉电阻的 8 位双向 I/O 口，P1 口缓冲器能接收输出 4TTL 门电流。P1 口管脚写入 1 后，被内部上拉为高，可用作输入，P1 口被外部下拉为低电平时，将输出电流，这是由于内部上拉的缘故。在 FLASH 编程和校验时，P1 口作为第八位地址接收。

P2 口: P2 口为一个内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口，P2 口缓冲器可接收，输出 4 个 TTL 门电流，当 P2 口被写“1”时，其管脚被内部上拉电阻拉高，且作为输入。并因此作为输入时，P2 口的管脚被外部拉低，将输出电流。这是由于内部上拉的缘故。P2 口当用于外部程序存储器或 16 位地址外部数据存储器进行

存取时，P2 口输出地址的高八位。在给出地址“1”时，它利用内部上拉优势，当对外部八位地址数据存储器进行读写时，P2 口输出其特殊功能寄存器的内容。

P2 口在 FLASH 编程和校验时接收高八位地址信号和控制信号。

P3 口: P3 口管脚是 8 个带内部上拉电阻的双向 I/O 口，可接收输出 4 个 TTL 门电流。当 P3 口写入“1”后，它们被内部上拉为高电平，并用作输入。作为输入，由于外部下拉为低电平，P3 口将输出电流（ILL）这是由于上拉的缘故。

RST: 复位输入。当振荡器复位器件时，要保持 RST 脚两个机器周期的高电平时当 8051 通电，时钟电路开始工作，在 RESET 引脚上出现 24 个时钟周期以上的高电平，系统即初始复位。初始化后，程序计数器 PC 指向 0000H，P0-P3 输出口全部为高电平，堆栈指针写入 07H，其它专用寄存器被清“0”。RESET 由高电平下降为低电平后，系统即从 0000H 地址开始执行程序。然而，初始复位不改变 RAM（包括工作寄存器 R0-R7）的状态。

ALE/PROG: 当访问外部存储器时，地址锁存允许的输出现电平用于锁存地址的地位字节。在 FLASH 编程期间，此引脚用于输入编程脉冲。在平时，ALE 端以不变的频率周期输出正脉冲信号，此频率为振荡器频率的 1/6。因此它可用作对外部输出的脉冲或用于定时目的。然而要注意的是：每当用作外部数据存储器时，将跳过一个 ALE 脉冲。如想禁止 ALE 的输出可在 SFR8EH 地址上置 0。此时，ALE 只有在执行 MOVX，MOVC 指令是 ALE 才起作用。另外，该引脚被略微拉高。如果微处理器在外部执行状态 ALE 禁止，置位无效。

PSEN: 外部程序存储器的选通信号。在由外部程序存储器取指期间，每个机器周期两次/PSEN 有效。但在访问外部数据存储器时，这两次有效的/PSEN 信号将不出现。

EA/VPP: 当/EA 保持低电平时，则在此期间外部程序存储器（0000H-FFFFH），不管是否有内部程序存储器。注意加密方式 1 时，/EA 将内部锁定为 RESET；当/EA 端保持高电平时，此间内部程序存储器。在 FLASH 编程期间，此引脚也用于施加 12V 编程电源（VPP）。

XTAL1: 反向振荡放大器的输入及内部时钟工作电路的输入。

XTAL2: 来自反向振荡器的输出。

振荡器特性: XTAL1 和 XTAL2 分别为反向放大器的输入和输出。该反向放大器可以配置为片内振荡器。石晶振荡和陶瓷振荡均可采用。如采用外部时钟源驱动器件，XTAL2 应不接。有余输入至内部时钟信号要通过一个二分频触发器，因此对外部时钟信号的脉宽无任何要求，但必须保证脉冲的高低电平要求的宽度。

芯片擦除：整个 PEROM 阵列和三个锁定位的电擦除可通过正确的控制信号组合，并保持 ALE 管脚处于低电平 10ms 来完成。在芯片擦操作中，代码阵列全被写“1”且在任何非空存储字节被重复编程以前，该操作必须被执行。

此外，AT89C51 设有稳态逻辑，可以在低到零频率的条件下静态逻辑，支持两种软件可选的掉电模式。在闲置模式下，CPU 停止工作。但 RAM，定时器，计数器，串口和中断系统仍在工作。在掉电模式下，保存 RAM 的内容并且冻结振荡器，禁止所用其他芯片功能，直到下一个硬件复位为止。

3.4 温度传感器的选择

3.4.1 DS18B20 简介

本文选用 DS18B20 传感器，DS18B20 是美国 DALLAS 半导体公司继 DS1820 之后最新推出的一种数字化单总线器件，属于新一代适配微处理器的改进型智能温度传感器。使用 DS18B20 可使系统结构更趋简单，可靠性更高。同时其“一线总线”独特而且经济的特点，使用户可轻松地组建传感器网络，为测量系统的构建引入了全新的概念。其测量温度范围为 $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$ ，在 $-10^{\circ}\text{C}\sim85^{\circ}\text{C}$ 范围内，精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。现场温度直接以“一线总线”的数字方式传输，用符号扩展的 16 位数字量方式串行输出，大大提高了系统的抗干扰性。因此，数字化单总线器件 DS18B20 适合于恶劣环境的现场温度测量，如：环境控制、设备或过程控制、测温类消费电子产品等。它在测温精度、转换时间、传输距离、分辨率等方面较 DS1820 都有了很大的改进，给用户带来了更方便和更令人满意的效果。可广泛用于工业、民用、军事等领域的温度测量及控制仪器、测控系统和大型设备中 [5]。

本文所用 DS18B20，与单片机的 P1.7 引脚相连。如图 3-7 所示。

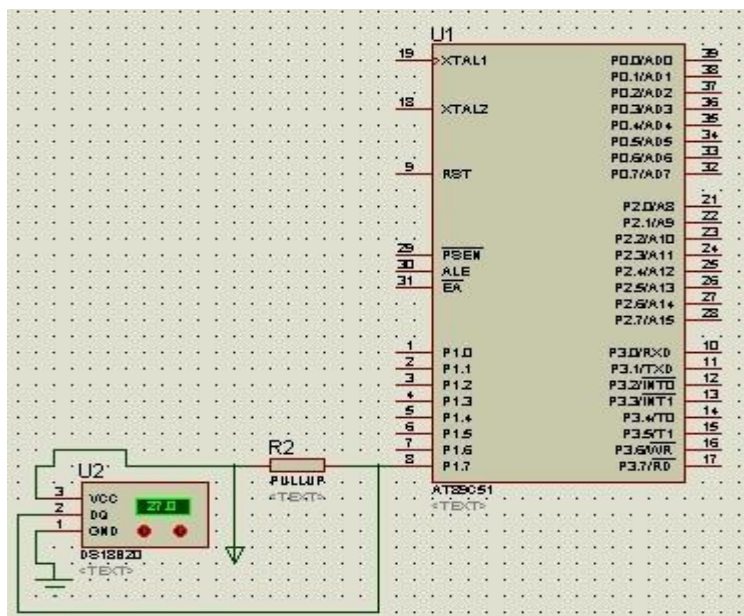


图 3-7 DS18B20 与单片机连线图

3. 4. 2DS18B20 的性能特点

(1) 采用 DALLAS 公司独特的单线接口方式：DS18B20 与微处理器连仅需要一条口线即可实现微处理器与 DSI8B20 的双向通讯。

(2) 在使用中不需要任何外围元件。

(3) 可用数据线供电，供电电压范围+3.0V~5.5V

(4) 测温范围:-55℃~125℃。固有测温分辨率为 0.5℃。当在-10℃~+85℃范围内，可确保测量误差不超过 0.5℃，在-55℃~+125℃范围内，测量误差也不超过 2℃。

(5) 通过编程可实现 9~12 位的数字读数方式。

(6) 用户可自设定非易失性的报警上下限值。

(7) 支持多点组网功能，多个 DS18B20 可以并联在唯一的三线上，实现多点测温。

(8) 负压特性，即具有电源反接保护电路。当电源电压的极性反接时，能保护 DS18B20 不会因发热而烧毁。但此时芯片无法正常工作。

(9) DS18B20 的转换速率比较高，进行 9 位的温度转换仅需 93.75ms。

(10) 适配各种单片机或系统。

(11) 内含 64 位激光修正的只读存储 ROM，扣除 8 位产品系列号和 8 位循环冗余校验码(CRC)之后，产品序号占 48 位。出厂前产品序号存入其 ROM 中。在构成大型温控系统时，允许在单线总线上挂接多片 DS18B20。

3.4. 3DS18B20 的管脚排列

DS18B20 采用 3 脚 PR35 封装或 8 脚 SOIC 封装。其管脚排列如图 3-3 所示

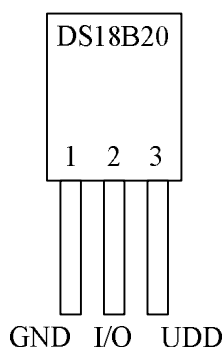


图 3-3 DS18B20 的管脚排列

I/O 为数据输入/输出端(即单线总线), 它属于漏极开路输出, 外接上拉电阻后, 常态下呈高电平。UDD 是可供选用的外部电源端, 不用时接地, GND 为地, NC 空脚。

3.4. 4DS18B20 的内部结构

DS18B20 的内部结构框图如图 2-6 所示。它主要包括 7 部分: 1、寄生电源; 2、温度传感器; 3、64 位激光(loser)ROM 与单线接口; 4、高速暂存器, 即便筏式 RAM, 用于存放中间数据; 5、TH 触发寄存器和 TL 触发寄存器, 分别用来存储用户设定的温度上下限值; 6、存储和控制逻辑; 7、8 位循环冗余校验码(CRC)发生器。

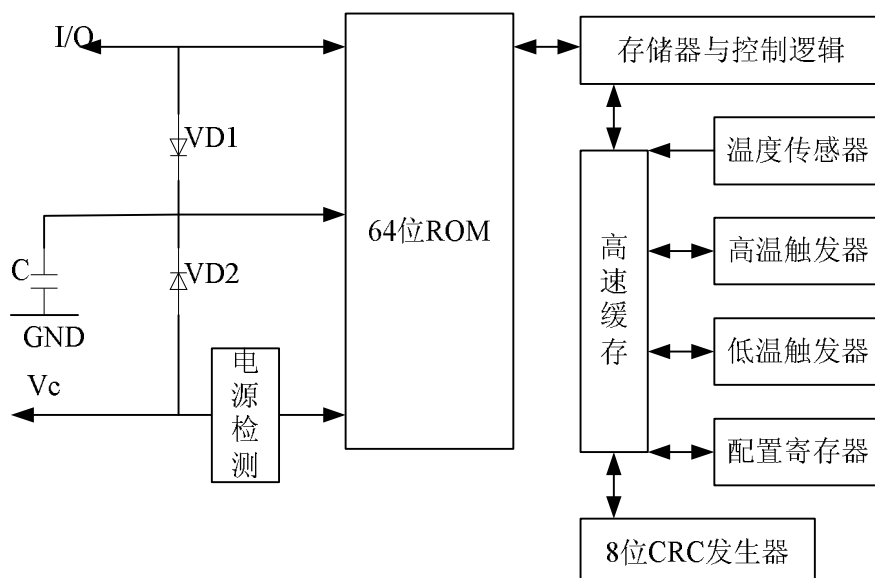


图 3-4 DS18B20 内部结构图

3.4. 5DS18B20 的测温原理

DS18B20 的测温原理如图 3-5 所示。

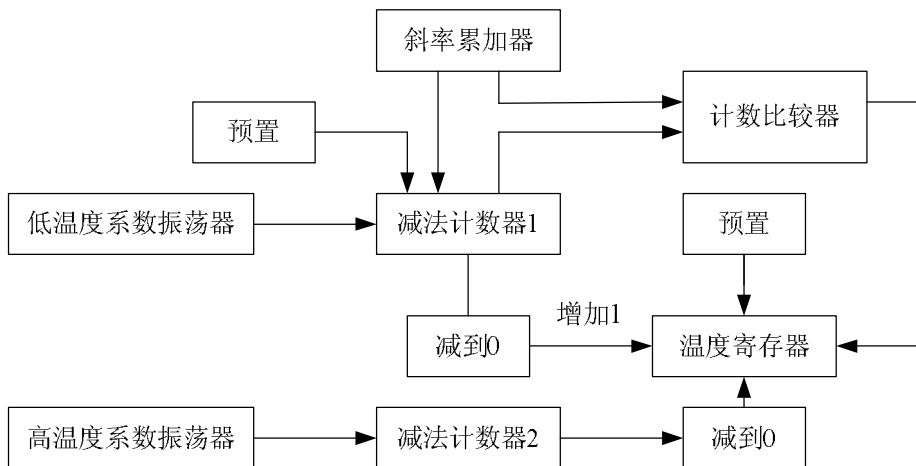


图 3-5 DS18B20 的内部测温电路原理图

图 3-5 中低温系数晶振的振荡频率受温度的影响很小，用于产生固定频率的脉冲信号送给减法计数器 1，高温系数晶振的振荡频率随温度变化而明显改变，所产生的信号作为减法计数器 2 的脉冲输入。图中还隐含着计数门，当计数门打开时，DS18B20 就对低温系数振荡器产生的时钟脉冲进行计数，进而完成温度测量。计数门的开启时间由高温系数振荡器来决定，每次测量前，首先将 -55°C 所对应的基数分别置入减法计数器 1 和温度寄存器中，减法计数器和温度寄存器被预置在 -55°C 所对应的一个基数值。减法计数器 1 对低温系数晶振产生的脉冲信号进行减法计数，当减法计数器 1 的预置值减到 0 时温度寄存器的值将加 1，减法计数器 1 的预置将重新被装入，减法计数器 1 重新开始对低温系数晶振产生的脉冲信号进行计数，如此循环直到减法计数器 2 计数到 0 时，停止温度寄存器值的累加，此时温度寄存器中的数值即为所测温度。斜率累加器用于补偿和修正测温过程中的非线性，其输出用于修正减法计数器的预置值，只要计数门仍未关闭就重复上述过程，直至温度寄存器值达到被测温度值，这就是 DS18B20 的测温原理。

3.5 数码管输出

数码管在仪器仪表中主要是显示单片机的输出数据、状态等，因而，作为外围典型器件，数码管显示是反映系统输出和操纵输入的有效器件。数码管具备数字接口，可以很方便的和单片机系统连接；数码管的体积小、输出内容的器件重量轻，并且功耗低，是一种理想的显示单片机数据在单片机系统中有着重要的作用。按显示方式分，有静态显示和动态显示。静态显示就是显示驱动电路具有输

出锁存功能，单片机将所有要显示的数据送出后就不再控制 LED，直到下一次显示时再传送一次新的显示数据。静态显示的数据稳定，占用的 CPU 时间少。静态显示中，每一个显示器都要占用单独的具有锁存功能的 I/O 接口，该接口用于笔划段字型代码。这样单片机只要把要显示的字形代码发送到接口电路，该字段就可以显示发送的字形。要显示新的数据时，单片机在发送新的字形码。另一种方法是动态扫描显示。动态扫描方法是用其接口电路把所有显示器的 8 个笔画段 A-H 同名端连在一起，而每一个显示器的公共极 COM 各自独立的受 I/O 线控制。CPU 向字段输出口送出字形码时，所有显示器接收到相同的字形码，但究竟是哪个显示器亮，则取决于 COM 段，而这一段是由 I/O 控制的，由单片机决定何时显示哪一位了^[7]。

动态扫描用分时的方法轮流控制各个显示器的 COM 端，使各个显示器轮流点亮。在轮流点亮扫描过程中，每位显示器的点亮时间极为短暂，但由于人的视觉暂留现象及发光二极管的余辉效应，给人的印象就是一组稳定的显示数据。静态显示虽然数据显示稳定，占用很少的 CPU 时间，但每个显示单元都需要单独的显示驱动电路，使用的电路硬件较多；动态显示需要 CPU 时刻对显示器件进行数据刷新，显示数据有闪烁感，占用的 CPU 时间多，但使用的硬件少，能节省电路板空间。本显示系统采用共阳极静态扫描显示输出，如图 3-8 所示。

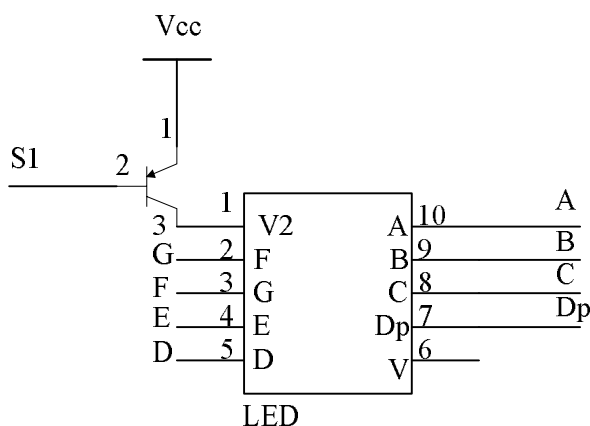


图 3-8 单个数码管连接图

3.6 键盘接口电路

键盘是人工干预计算机的主要手段，输入数据、查询及控制系统的工作状态，都要用到键盘。

微型计算机所用的键盘可分为编码键盘和非编码键盘两种。编码键盘采用硬件线路来实现键盘编码，每按下一个键，键盘能自动生成按键代码，键数较多，而且还具有去抖动功能，这种键盘使用方便，但硬件较复杂，PC 机所用的键盘就属于这种。非编码键盘仅提供按键开关工作状态，其他工作由软件完成，这种

键盘键数较少，硬件简单，一般在单片机应用系统中广泛用。

按键盘与 CPU 的连接方式可以分为独立式按键和矩阵式键盘，本系统采用独立式键盘，分为三个独立键盘：模式切换键、温度上下限增加键、温度上下限减少键，键盘接口电路如图 3-9 所示。

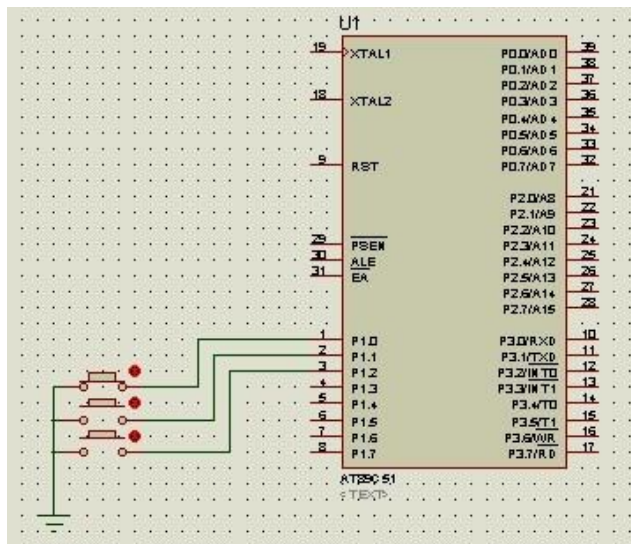


图 3-9 键盘接口电路图

3.7 蜂鸣电路

蜂鸣电路用于在温度超出设定值范围时提供声音报警，它由单片机的 P2.3 引脚控制。蜂鸣电路如图 3-10 所示

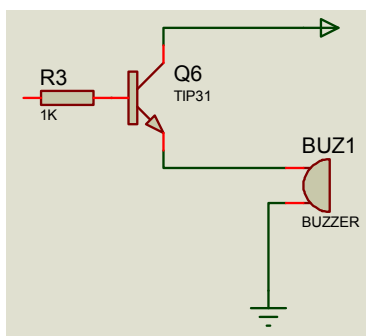


图 3-10 蜂鸣电路

3.8 外部存储模块

外部存储模块采用美国 ATMEL 公司生产的低功耗 CMOS 型 E²PROM 器件 AT24C02B,它内含 256×8 位存储空间,具有工作电压宽(2.5~5.5 V)、擦写次数多(大于 10000 次)、写入速度快(小于 10ms)、抗干扰能力强、数据不易丢失、体积小等特点。它采用了 I²C 总线规程,使主/从机双向通信。主机通过 SCL 引脚产生串行时钟信号并发出控制字,控制总线数据传送的开始、方向和停止。无论是主机还是从机,接收到一个字节后必须发出一个确认信号。AT24C02B 占用很少的资源 and I/O 线,并且支持在线编程,数据实时存取十分方便。它由单片机的 P2.6、P2.7

引脚控制，WP 口接地，AT24C02B 与单片机连线图如图 3-11 所示。

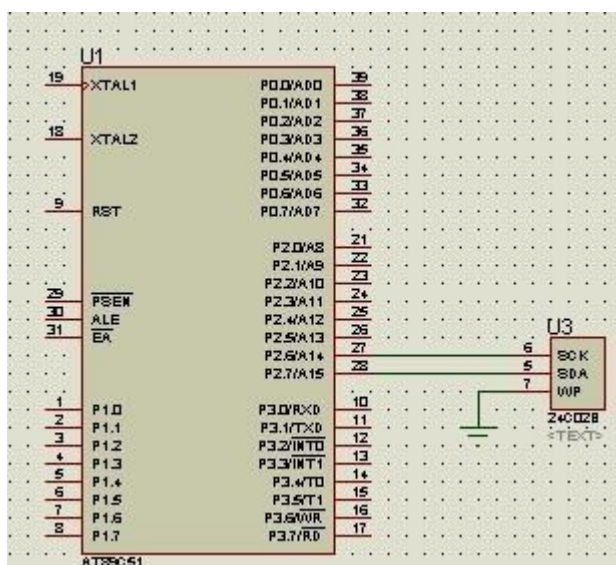


图 3-11 AT24C02B 与单片机连接图

3.9 电机驱动模块

电机驱动控制电路如图 3-12 所示。电机驱动模块由单片机的 P3.3、3.7 引脚控制、控制电路模块分为制冷和加热模块，当测得温度小于实际温度时，通过光电耦合器启动加热装置，使被控对象升温；当测得实际温度大于实际温度时，启动制冷装置，使被控对象降温，从而保持温度始终在设定温度左右。

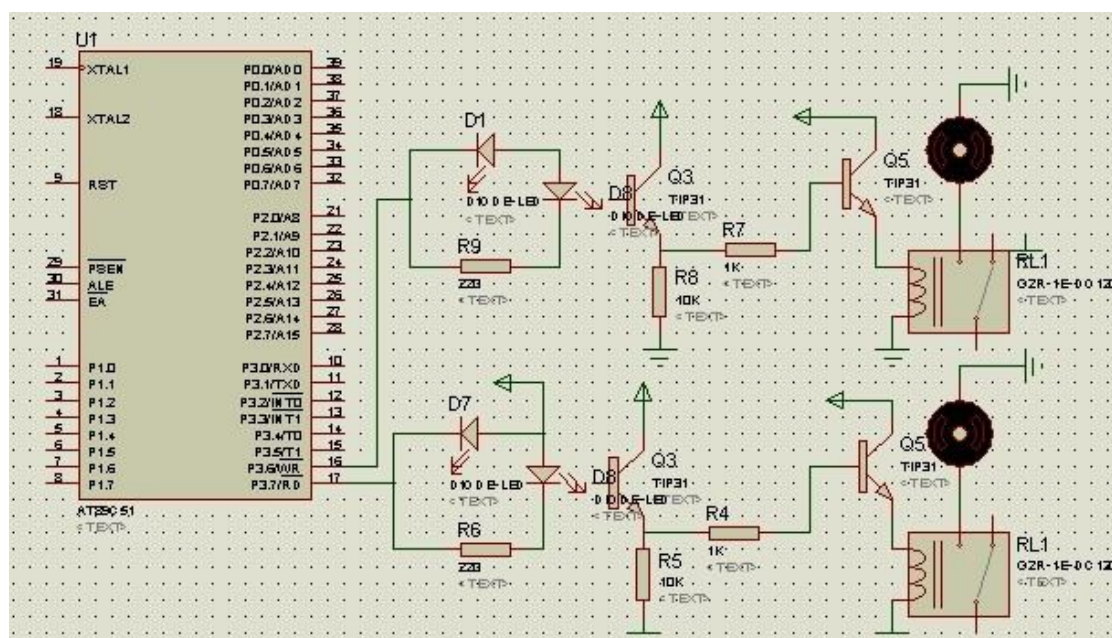


图 3-12 电机驱动控制模块电路

第四章 系统软件设计

4.1 主程序模块

主程序模块要做的主要工作是上电后对系统初始化和构建系统整体软件框架，其中初始化包括对单片机的初始化和串口初始化等。然后等待温度设定，若温度已经设定好了，判断系统运行键是否按下，若系统运行，则依次调用各个相关模块，循环控制直到系统停止运行。主程序模块的程序流程图如图 4-1 所示。

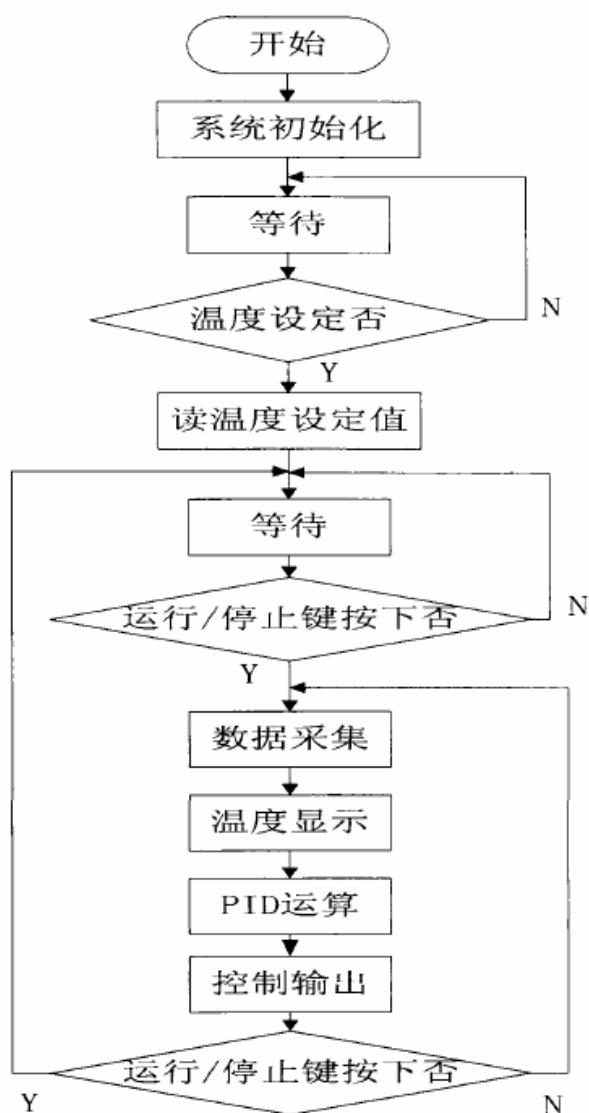


图 4-1 主程序流程图

4.2 温度传感器 DS18B20 模块

首先系统通过反复操作,搜索 DS18B20 序列号,然后启动所有在线 DS18B20 做温度 A/D 变换,最后逐个读出在线 DS18B20 变换后的数据,DS18B20 程序流程图如图 4-2 所示。

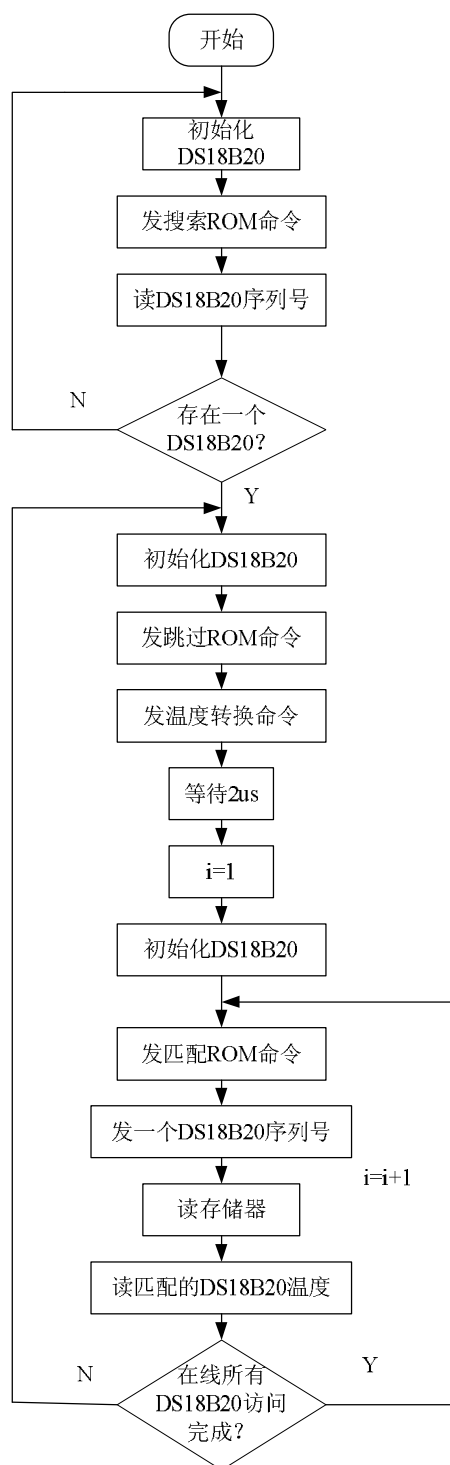


图 4-2 DS18B20 总体操作流程图

DS18B20 子程序设计见附录一。

4.3 LED 显示模块

LED 显示方式包括有静态和动态显示两种，为了减少硬件成本，采用动态显示相同字段线连在一起，每一位 a 段连在一起，b 段连在一起，…，g 段连在一起，共 8 段，由一个 8 位 I/O 口的公共端（共阳或共阴 COM）由另一个 I/O 口控制。

由于这种连接方式将每位相同的字段线连在一起，当输出字段码时，每一位将显示相同内容，因此，想要显示不同的内容，必须采取轮流显示的方式。即在某一瞬时，只让某一位的字位线处于选通状态，其他各位的字位线处于开断状态，同时字段线上输出该位要显示的相应字符的字段码。在这一瞬时，只有这一位在显示，其他几位暗。同样在下一瞬间，单独显示下一位，这样依次循环扫描，轮流显示，由于人的视觉滞留效应，人们看到的是多位同时稳定显示。

动态扫描显示电路的特点是占用 I/O 端线少；电路较简单，硬件成本低；编程较复杂。CPU 要定时扫描刷新显示。当要求显示位数较多时，通常采用动态扫描显示方式。LED 显示模块流程图如 4-3 图所示。

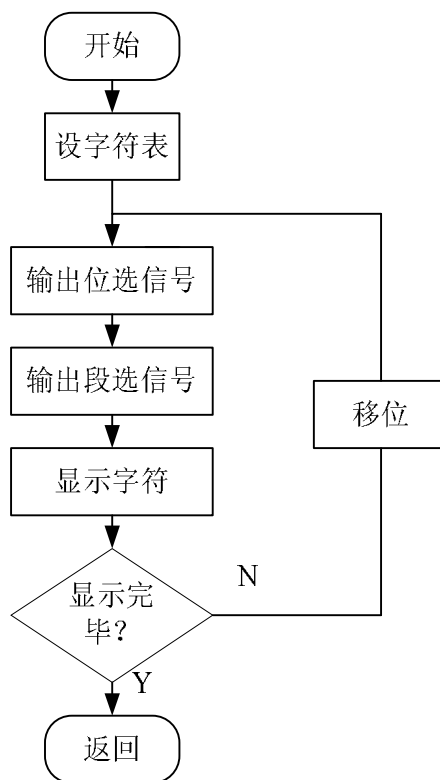


图 4-3 LED 显示模块流程图

LED 显示模块相关子程序见附录一。

4.4 键盘控制模块

在单片机应用系统中，对键盘的处理工作仅是 CPU 工作内容的一部分，CPU

还要进行数据处理、显示和其他输入输出操作，因此键盘处理工作不能占用 CPU 太多时间，同时又需要对键盘操作给出及时响应。CPU 对键盘处理控制的工作方式有以下几种：程序控制扫描方式、定时控制扫描方式、中断控制方式。本文设计选用的是程序控制扫描方式，即在 CPU 工作之余，调用键盘扫描子程序、响应输入信号要求。程序控制扫描方式的键处理程序固定在主程序的某个程序段。当主程序进行到该程序段时，依次扫描键盘，判断有否键输入。若有，则计算按键编号，执行相应的键功能子程序。这种工作方式，对 CPU 工作影响小，但应考虑键盘处理程序的运行间隔周期不能太长，否则会影响对键输入响应的及时性。键模块流程图如图 4-4 所示。

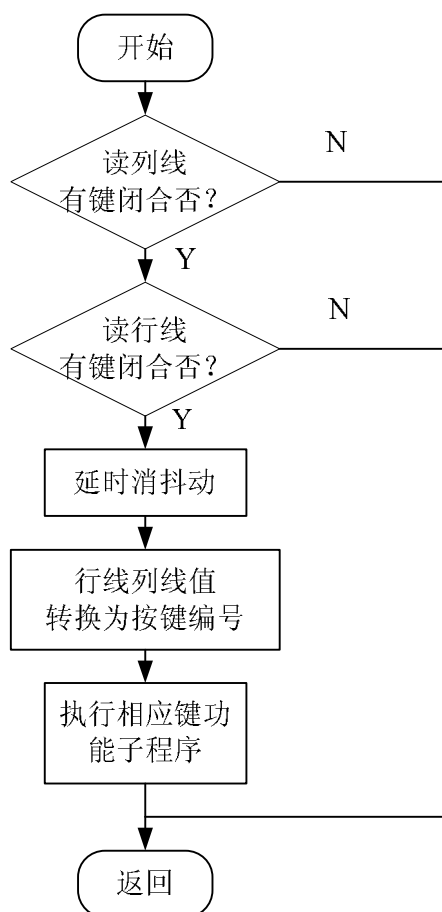


图 4-4 按键模块流程图

按键模块相关子程序见附录一。

第五章 系统的仿真

5.1 仿真工具

本文利用 MATLAB 的模糊控制工具箱进行仿真，模糊控制工具箱是一个不针对具体硬件平台的模糊控制设计工具，它可以用完全图形界面的工作方式设计整个模糊控制器，如定义它的输入、输出变量的数目，各输入、输出变量隶属函数的形状和条目，模糊规则的数目，模糊推理的方法，去模糊化的方法等等。在设计好这样一个纯粹的模糊控制器之后，可以利用 MATLAB 本身的 SIMULINK 仿真平台来构建整个模糊控制系统并进行仿真。它的优势在于它可以利用 MATLAB 软件本身丰富的资源，来构建不同结构的模糊系统，比如神经网络模糊系统，遗传算法模糊系统，模糊 PID 系统等等，并对这样的系统进行仿真、分析^[6]。

5.2 MATLAB 及其模糊逻辑工具箱和仿真环境

5.2.1 MATLAB 概况

MATLAB (MATrix LABoratory 矩阵实验室) 是 MATH works 公司的产品，它是以复数矩阵作为最基本编程单元的一种程序设计语言，它提供各种矩阵的运算和操作，并有很强的绘图功能。目前，MATLAB 已经成为国际上最流行的控制系统计算机辅助设计工具。由于 MATLAB 提供强大的矩阵处理和绘图功能，很多控制界的知名学者都在自己擅长的领域编写了特殊的 MATLAB 工具箱。其中就有“Fuzzy Logic Toolbox”，即模糊逻辑工具箱。

5.2.2 模糊逻辑工具箱

模糊逻辑工具箱是 MATLAB 中用于设计模糊控制器的工具箱，模糊逻辑工具箱和仿真环境 Simulink 的关系如图 5-1 所示。

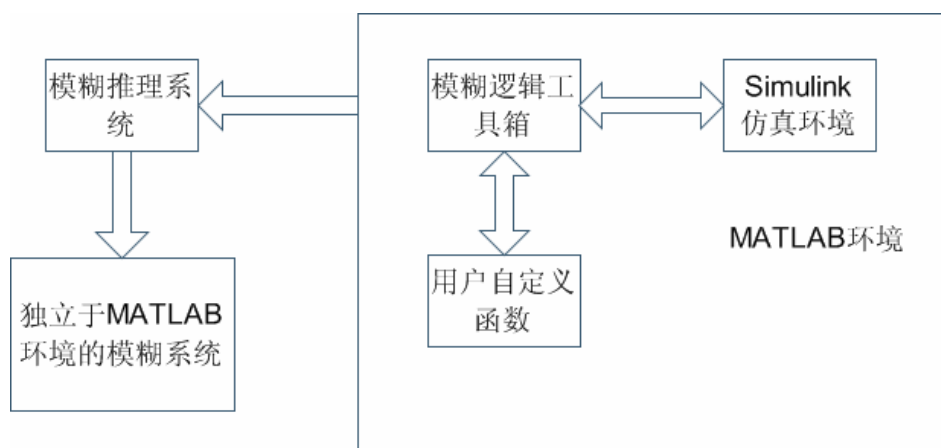


图 5-1 MATLAB 与模糊逻辑工具箱和 Simulink 的关系图

由图可知，模糊逻辑工具箱必须在 MATLAB 环境下运行，它所创建的模糊控制器可以为其他工具箱所用，也可以用 Simulink 环境对它进行仿真。

(1) 模糊控制器的结构

根据具体的系统确定其输入、输出变量。当被控对象是一个控制精度要求不高的系统，并且只有单个控制量时，则可以采用单纯的模糊控制器组成的 SISO 系统。这时，控制系统是最简单的，模糊控制器只考虑偏差 e 作为输入量。当被控对象是一个控制精度要求较高的系统时，则可采用二维模糊控制器、三维模糊控制器，变型模糊控制器等复合型模糊控制器，当被控对象是一个控制要求较高的系统，而且要求对变化有较好的适应性时，则可以采用自适应模糊控制器。

(2) 输入、输出变量的模糊化

输入、输出变量的模糊化主要解决在语言变量领域中取模糊量的个数和确定模糊量的隶属函数形状的问题。

(3) 模糊推理算法的设计

根据模糊控制规则 (If-then 规则) 进行模糊推理。这其中包括了对许多个输入用模糊算法进行处理的过程。

(4) 模糊合成算法的设计

模糊合成算法一般都是采用最大值法

(5) 反模糊化方法的设计

反模糊化，也就是模糊量的精确化，可以采用很多方法，其中较常用的有效的三种方法是最大隶属度法，中位数法和重心法。最大隶属度法就是在模糊控制器的推理输出结果中，取其隶属度最大的元素作为精确值去执行控制，这种方法简单、方便、容易实现，但是不能反映次要信息。中位数法就是把模糊合成得到的函数与坐标所围城的面积分成两部分，在两部分相等的条件下，两部分分界点所对应的横坐标值就是反模糊化后的精确值。重心法也叫力矩法，其实质是加权平均法，它对模糊推理结果的所有元素求取重心元素，这个重心元素就是作为反模糊化之后得到的精确值。

5.3 模糊 PID 的仿真

5.3.1 控制对象模型

本文选择的仿真对象传递函数模型：

$$G(s) = \frac{K}{1+TS} e^{-\tau s} \quad \text{式(5-1)}$$

K: 对象的静态增益; T: 对象的时间常数; τ : 对象的纯之后时间。

通过计算 $K=0.92$, $T=144s$, $\tau=30s$

仿真对象传递函数:

$$G(s) = \frac{0.92}{144s+1} e^{-30s} \quad \text{式(5-2)}$$

其工作范围为: $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$, 控制要求时要达到系统响应曲线调节时间短、无超调、稳态误差在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内的技术指标。本文采用模糊 PID 控制方法来观察其控制性能。

5.3.2 MATLAB 仿真

Simulink 是 MATLAB 的建模和仿真环境。它其中除了包括输入模块、输出模块、连续模块、离散模块、函数和表模块、数学模块、非线性模块、信号模块以及子系统模块外, 还包括了各个工具箱特有的模块, 如模糊逻辑工具箱的模糊逻辑控制器模块。用户可以利用这些模块搭建起自己的系统并进行仿真, 通过更改这些模块的参数提高系统的性能, 最终得到合乎自己设计要求的系统。本文所有的仿真都是在 Simulink 中完成的。

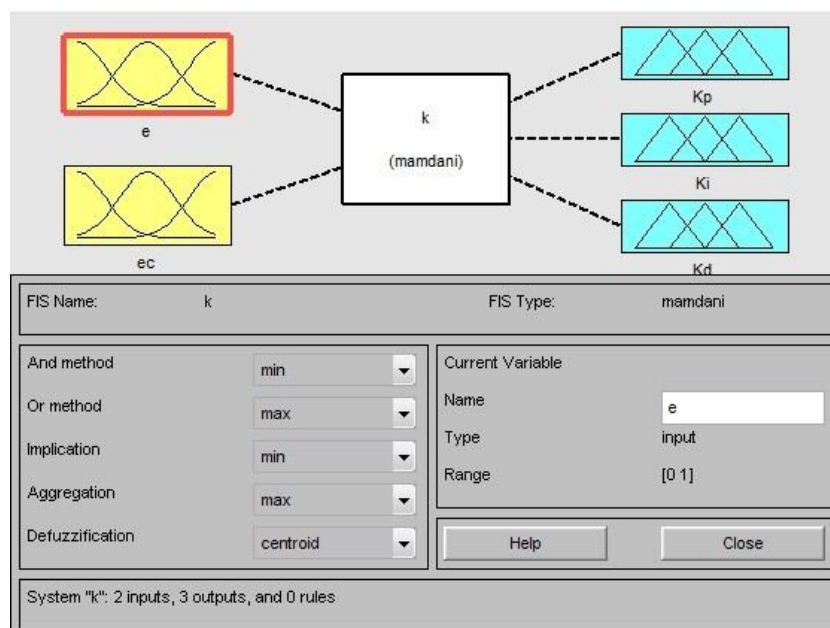


图 5-2 模糊控制器

纯 PID 控制有较大的超调量; 而纯模糊控制由于自身结构的原因又不能消除稳态误差, 稳态误差较大。所以, 考虑把他们两者相结合, 实现优势互补。本论文采用参数模糊 PID 控制。

(1) 确定模糊控制器的类型与结构在 MATLAB 命令窗口中键入 Fuzzy 进入模糊逻辑编辑窗口, 模糊决策一般采用 Mamdanis(min—max)决策法。解模糊一般采用重心法(centroid)。选定[Edit]下的[Add Input]、[Add Output]选项。确定模

糊控制器的结构为两输入(e 、 e_c)、三输出(K_p 、 K_I 、 K_D)，并确定输入、输出名，如图 5-2 所示。

(2) 编辑输入、输出变量的隶属函数：打开隶属函数编辑器窗口 Membership Function Editor。选定[Edit]下的[Add MFS]，选择隶属函数的类型为三角形隶属函数 trimf; 然后确定输入、输出变量的模糊子集为[NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB]，选定要编辑变量的图标，确定当前变量的论域，最后对各变量的隶属函数标明其对应模糊子集的模糊语言值如图 5-3 所示。

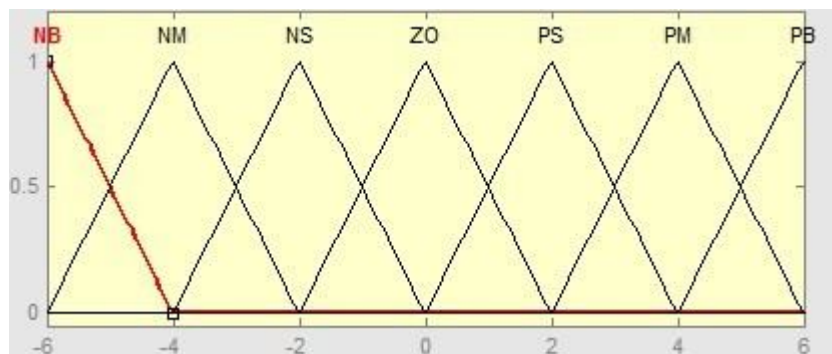


图 5-3 e 、 e_c 隶属函数图

(3) 编辑模糊控制规则在窗口中双击模糊控制规则图标或选中[View]下拉菜单[Edit rides]选项，将打开模糊规则编辑窗口，确定“If... and...Then...and...”形式的模糊控制规则，如图 5-4 所示，每条规则的加权值都缺省为 1，If and then 选择框中选中各自的语言变量，然后单击窗口下的 Edit rules，按模糊控制规则表(表 1~表 2)中规则添加到规则框中。本例共有模糊控制规则 49 条，模糊控制器编辑完成后，将其保存在一个后缀名为 FIS 的文件中，以备仿真时调用。

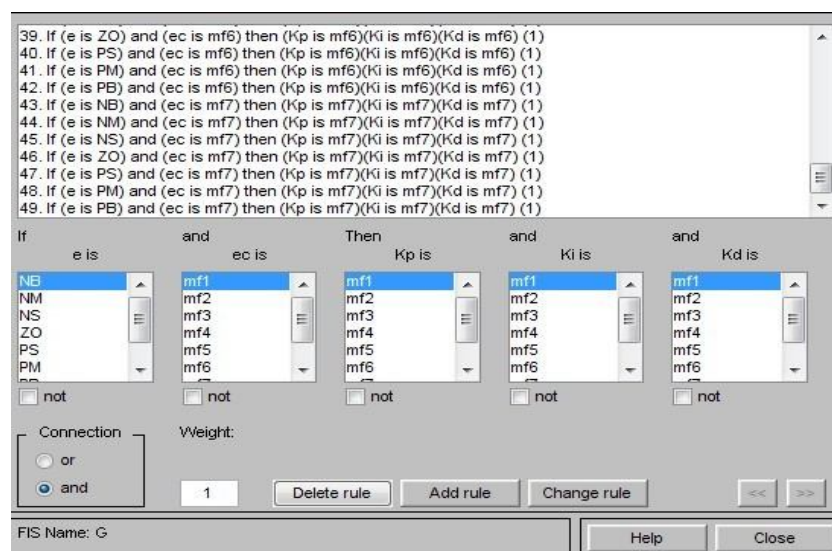


图 5-4 模糊规则编辑表

(4)如图 5-5 所示相应的模糊自整定 PID 控制器的仿真模型,其中 Fuzzy logic 子模块即为模糊自调整机构。

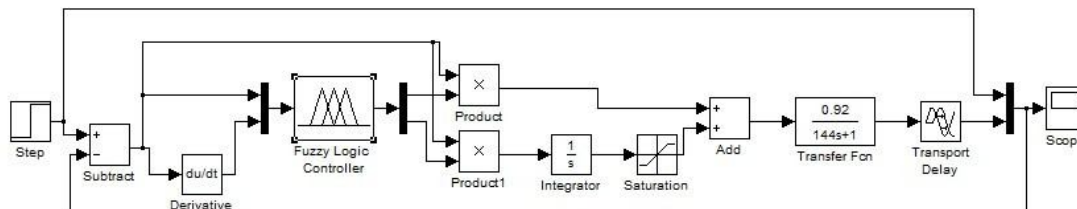


图 5-5 simulink 中构建的系统图

进行仿真前用 READFIS 命令将 K. FIS 文件加载到模糊控制器模块(Fuzzy Logic Controller)中。双击 Fuzzy Logic Controller 模块并在 Parameters 中输入 READFIS 命令,打开所建立的 K. FIS 文件。

5.4 仿真结果与分析

为了更好的研究,我们也对常规 PID 温度控制进行仿真,将所得的仿真结果进行比较。如图 5-6、5-7 分别为常规 PID 和模糊 PID 控制的仿真结果。

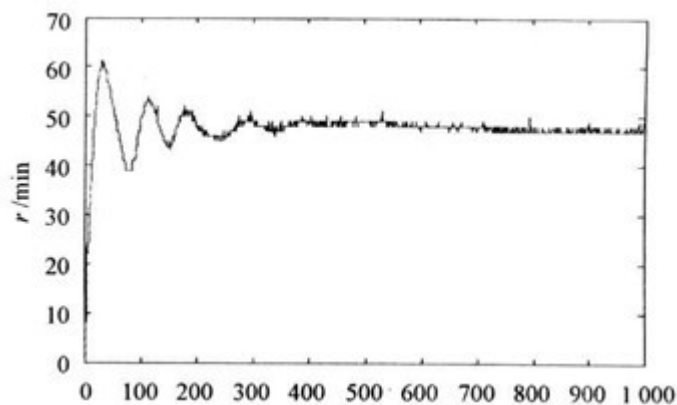


图 5-6 采用常规 PID 控制

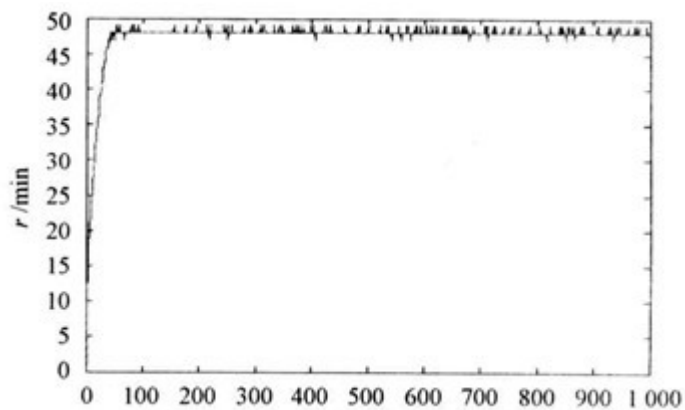


图 5-7 采用模糊 PID 控制

由仿真结果可知，基于模糊推理的 PID 控制器相比于传统 PID 控制器，由于模糊控制器能够根据系统误差 e 和误差变化率 ec 对 PID 的三个参数 K_p 、 K_I 、 K_D 进行在线修正，所以得到的系统动态响应曲线较好，响应时间短、超调量小，稳态精度高、系统遇到干扰时能很快恢复稳态，动静态性能好。而且这种方法抗干扰能力也很强，同时对一阶惯性滞后环节的适应能力很强，由于一般温控对象的数学模型可用一阶惯性滞后环节来描述，因而这一控制方法对温控场合的适用性很强。实测表明：采用模糊 PID 温度控制系统的算法系统响应快而且稳定。

结论

本文以模糊 PID 算法为基础, 构造一个能进行较复杂的数据处理和复杂控制功能的智能控制器, 使其既可与微机配合构成控制系统, 用于温度控制系统中, 解决了温控系统受大惯性和干扰的影响, 既保持模糊控制的灵活性, 又具有 PID 控制精度高的特点。

具体设计了以 AT89C51 单片机为核心, 功能全面的 DS18B20 为传感器, 通过光电耦合器驱动输出系统, 并由按键、LED 数码显示器以及报警电路等组成的控制系统。

用 MATLAB 软件对 PID 温度控制系统和模糊 PID 温度控制分别进行了仿真研究, 仿真结果表明模糊 PID 温度控制具有方法简单、控制快速、稳定的特点, 从而提高了系统性能。能满足调节时间短、超调量为零的控制要求。

参考文献

- [1] 吴为明, 王仁丽. 温度控制系统的发展概况[J]. 工业炉, 2002, 24 (20) 18-20.
- [2] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- [3] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 1-26.
- [4] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002, 9.
- [5] 王吉龙. 基于模糊 PID 的温度控制系统[J]. 电子工程师, 2008, 5.
- [6] 耿瑞. 基于 MATLAB 的自适应模糊 PID 控制系统计算机仿真[J]. 信息技术. 2007.
- [7] 汤红成, 李著信, 王正涛等. 一种模糊 PID 控制系统[J]. 电机与控制学报, 2005, 9(2): 136-138.
- [8] 赵娜, 赵刚, 与珍珠. 基于 51 单片机的温度测量系统[J]. 为计算机信息. 2007.
- [9] 张国清, 陈淑坤. 简单实用的温控电器[J]. 仪器与未来, 1992, 22(1).
- [10] 郑炳坤. 简单的温控箱温控电路[J]. 仪器与未来, 1991, 22(7).
- [11] 赵鸿图. 基于单片机的温度控制系统的设计与实现[J]. 微计算机信息. 2008.
- [12] 鲍可进. PID 参数自整定的温度控制[J]. 江苏理工大学学报, 2005, 13(3).
- [13] 王文杰. 模糊控制理论在温度控制中的应用[J]. 西北纺织工学院学报, 1995, 15(6).

附 录

附件一:部分源程序

1.DS18B20 相关子程序

```

unsigned int Read_Temperature(void)
{
unsigned char a,b,y1,y2,y3,suce;
suce=DS18B20_Detect();
if(suce==1){
WRDS18B20_byte(0xcc); //忽略 ROM 扫描
WRDS18B20_byte(0x44); //使能温度采样
delay(1000);
suce=DS18B20_Detect();
if(suce==1){
WRDS18B20_byte(0xcc); //忽略 ROM 扫描
WRDS18B20_byte(0xbe); //读取温度采样的值命令
a=RDS18B20_byte(); //读取温度的采样值(低字节)
b=RDS18B20_byte(); //读取温度的采样值(高字节)
y1=a>>4; //拼字节
y2=b<<4;
y3=y1|y2;
}
}
return y3; //返回结果
}

```

2.LED 相关子程序

```

#include<reg51.h>
void delay(int x) /*延时程序*/
{char j;
while(x--)
{
for(j=0;j<125;j++)
;
}
}
void led(k) /*输入一个整型数，并显示

```



```

{char*p;
code char table[16]={0xc0,0xf9,0xa4,0xb0,0x99,0x92,0x82,0xf8,
0x80,0x90,0x88,0x83,0xc6,0xa1,0x86,0x8e};
/*数字 0~9 字模码表*/
int i;
for(i=10;i>0;i--)
{
*/
p=table+k/10000;          /*计算千位数模码*/
P0=*p;                  /*送段码 4*/
P1=0x78;                /*送位码 4*/
delay(2);
数模码*/
/*送段码 3*/
/
ay(2);
p=table+(k/100-k/10000*100-k/1000*10); /*计算十位数模码*/
/*送段码 2*/
l=0xd8; /*送位码 2*/
delay(2);
/*送段码 1*/
table+k%10;            /*计算 0.1 位数模码*/
/*送段码 0*/
l=0xf0;                /*送位码 0*/
p=table+(k/1000-k/1000*10); /*计算百位
P0=*p;
P1=0xb8;                /*送位码 3*
del
P0=*p;
P
p=table+((k%100-k%10)/10); /*计算个位数模码*/
P0=*p;
P1=0xe8;                /*送位码 1*/
delay(2);
p=
P0=*p;
P
delay(2);
}
}

```

3. 按键相关子程序

```
count=0; /*记录扫描行线的次数*/
```

```
while(count<4)
void delay(int x){/*功能： 延时*/
{char j;
while(x--)
{
for(j=0;j<125;j++);
}
}
char kbscan(void)
{
char sccode,recode;
unsigned char count;
P2=0x0f;
if((P2&0x0f)!=0x0f){/*快速扫描是否有键按下*/
{
delay(10);
if((P2&0x0f)!=0x0f)
{
sccode=0xfe; /*记录循环置 L0、 L1、 L2、 L3 行线为低电
{44 基于单片机的温度控制器设计与研究
L0、 L1、 L2、 L3 行线之一置低电平*/
1、 R2、 R3 列线有低电平为真*/
{
code=P2&0xf0; /*读 R0、 R1、 R2、 R3 列线的电平状态*/
recode=1;
e&0x10)!=0x00)&&(recode<5))
/*寻找列线 R0、 R1、 R2、 R3 为低电平*/
{
sccode=sccode>>1;
++;
/*记录 sccode 的次数、同时也就找到了 R0、 R1、 R2、 R3 哪根为低电平*/
4)/*防止意外的情况出现*/
}
}
return(recode+count*4); /*返按键值， 范围 1~16*/
else
Lx 置高电平， 同时把列线 Lx+1 置低电平*/
}
}
/*返回错误状态*/
P2=sccode; /*把
if((P2&0xf0)!=0xf0) /*检查 R0、 R
sc
while(((sccod
recode
}
}
if(recode>
```

```
{
return(0);
ret
}
{
sccode=(sccode<<1)|0x01;
/*把列线
count++;/*记录下一次将扫描下一次*/
}
}
}
return(0);
}
```

附件二：英文文献

PID for process control Profile

A continuous process is one in which the output is a continuous flow. Examples are a chemical process, a refining process for gasoline, or a paper machine with continuous output of paper onto rolls. Process control for these continuous processes cannot be accomplished fast enough by PLC on-off control. Furthermore, analog PLC control is also not effective or fast enough by PLC on-off control. Furthermore, analog PLC control is also not effective or fast enough.

The control system most often used in continuous processes is PID (proportional-integral-derivative) control. PID control can be accomplished by mechanical, pneumatic, hydraulic, or electronic control systems as well as by PLCs. Many medium-size PLCs and all large PLCs have PID control functions, which are able to accomplish process control effectively. In this chapter, we discuss the basic principles of PID control. We then explain the effectiveness of PID control by using typical process response curves and show some typical loop control and PID functions. Loop and PID control are designations used interchangeably by different manufacturers. Actually, some loop controls are not strictly the PID type. However, assume they are the same.

PID Principles

PID (proportional-integral-derivative) is an effective control system for continuous processes that performs two control tasks. First, PID control keeps the output at a set level even though varying process parameters may tend to cause the output to vary from the desired set point. Second, PID promptly and accurately changes the process level from one set point level to another set point level. For background, we briefly discuss the characteristics of each of the PID control components: proportional, integral, and derivative.

Proportional control, also known as ratio control, is a control system that corrects the deviation of a process from the set level back toward the set point. The correction is proportional to the amount of error. For example, suppose that we have a set point of 575 cubic feet per minute (CFM) in an airflow system. If the flow rises to 580 CFM, a corrective signal is applied to the controlling air vent damper to reduce the flow back to 575 CFM. If the flow somehow rises to 585 CFM, twice the

deviation from set point, a corrective signal of four times the magnitude would be applied for correction. The larger corrective signal theoretically gives a faster return to 575 CFM. In actuality, the fast correction is not precise. You return to a new set point at the end of the correction, for example, 576.5 CFM, not 575 CPM. Proportional control does not usually work effectively by itself, resulting in an offset error.

To return the flow to the original set point, integral control, also known as reset control, is added. Note that integral control cannot be used by itself. Remember, with proportional control only, we had an output error from our original set point. We ended up at 576.5 CFM, not 575 CFM. Integral control senses the product of the error, 1.5 CFM, and the time the error has persisted. A signal is developed from this product. Integral control then uses this product signal to return to the original set point. An integral control signal can be used in conjunction with the proportional corrective signal. In the controller, the added integral signal reduces the error signal that caused the output deviation from the set point. Therefore, over a period of time, the process deviation from our original 575 CFM is reduced to minimum. However, this correction takes a relatively long period of time.

To speed up the return to the process control, point, derivative control is added to the proportional-integral system. Derivative control, also known as rate control, produces a corrective signal based on the rate of change of the signal. The faster the change from the set point, the larger the corrective signal. The derivative signal is added to the proportional-integral system. This gives us faster action than the proportional-integral system signal alone. A typical PID control system is the commonly used parallel type. The controller output signal is utilized through a control system to return the process variable to the set point.

An illustration of a system using PID control is shown in figure 23-2. In this system, we need a precise oil output flow rate. The flow rate is controlled by pump motor speed. The pump motor speed is controlled through a control panel consisting of a variable-speed drive. In turn, the drive's speed control output is controlled by an electronic controller. The electronic controller output to the drive is determined by two factors. The first factor is the set point determined by a dial setting (or equivalent device). Second, a flow sensor feeds back the actual output flow rate to the electronic controller. The controller compares the set point and the actual flow. If they differ for some reason, a corrective signal change is sent to the motor controller. The motor controller changes motor speed accordingly by changing the voltage applied to the

motor. For example, if the output oil flow rate goes below the set point, a signal to speed up the motor is sent. The controller then uses PID control to make the correction promptly and accurately to return to the set point flow. If the dial is changed to a new setting, the function of the PID system is to reach the new set point as quickly and accurately as possible.

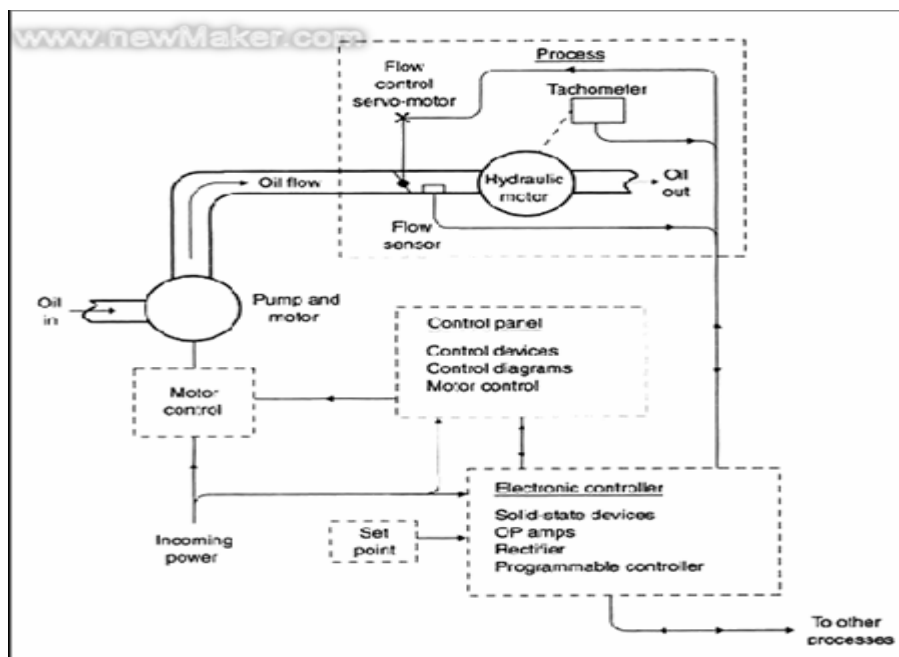


FIGURE 23-2 General Control System Diagram—Hydraulic Pump

Typical Continuous Process Control Curves

To illustrate some of the possible system response curves for process control systems, we will use the electromechanical system shown in figure 23-3. By response curves, in this example, we mean output position versus time. The curves to be shown are for various types of control, including PID.

Figure 23-3 shows a control system with a feedback loop, which can be PID. The dial is set to a position in degrees, and the output device is to take the position set on the dial. The output is to follow quickly and accurately any change from one dial setting to another.

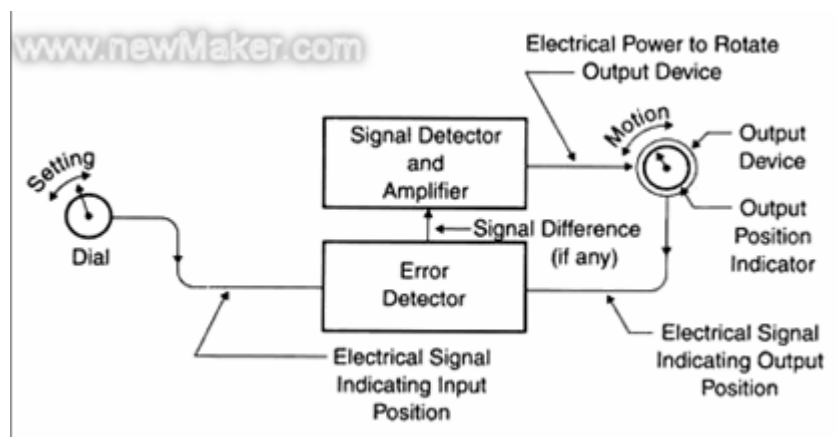


FIGURE 23-3 Position Indicator with PID Control

PID Modules

PLCs often come equipped with PID modules, used to process data obtained by feedback circuitry. Most such modules contain their own microprocessor. Since the algorithms needed to generate the PID functions are rather complex, the PID microprocessor relieves the CPU of having to carry out these time-consuming operations.

To understand the PID module, refer to figure 23-7. The PLC sends a set-point signal to the PID module. The module is made up of three elements: the proportional, integral, and derivative circuits. The proportional circuit creates an output signal proportional to the difference between the measurement taken and the setpoint entered in the PLC. The integral circuit produces an output proportional to the length and amount of time the error signal is present. The derivative circuit creates an output signal proportional to the rate of change of the error signal.

The input transducer generates an output signal from the process being controlled and feeds the measured value to the PID module. The difference between the set point coming from the PLC and the measured value coming from the input transducer is the error signal. Some sort of correcting device, such as a motor control, valve control, or amplifier, takes the error signal and uses it to control the correction sent to the process being controlled.

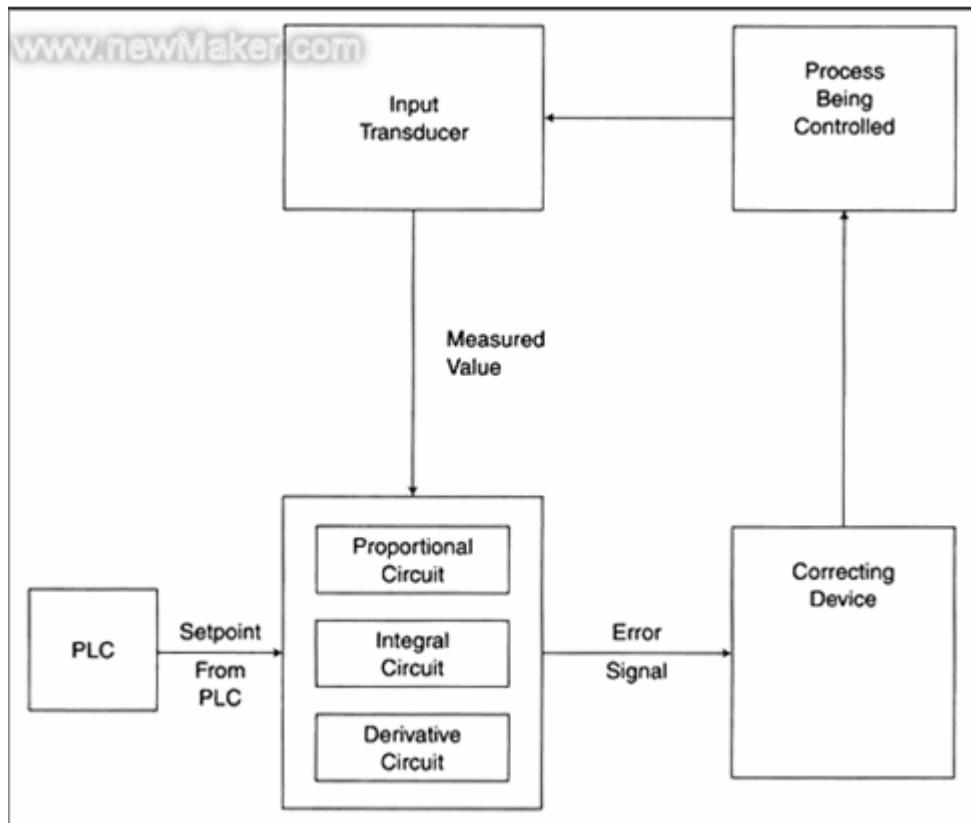


FIGURE 23-7 Block diagram of PID Module

中文翻译

连续过程中的 PID 控制简介

一个持续的过程是一个输出是一个持续不断的流动。例子是一个化学过程，精炼过程的汽油，或纸机连续输出的纸张上卷。过程控制的这些持续不断的进程不能足够快的 PLC 开关控制。此外，模拟 PLC 控制也没有有效的或不够快用 PLC 开关控制。此外，模拟 PLC 控制也没有有效的或不够快。控制系统最常用的是在持续不断的进程的 PID（比例积分微分）控制。PID 控制可以通过机械，气动，液压，或电子控制系统以及 PLC 的。许多中型 PLC 和所有大型 PLC 的 PID 控制的职能，能够有效地完成过程控制。在本章中，我们讨论的基本原则的 PID 控制。然后，我们解释的效力，PID 控制用典型的过程响应曲线，并显示一些典型的闭环控制和 PID 功能

PID 控制原理

PID（比例积分微分）是一种有效的控制系统的连续进程，执行两个控制任务。首先，PID 控制的输出保持在设定的水平，即使不同的工艺参数可能会导致输出到不同的理想设定值。其次，PID 控制及时准确的工艺水平的变化从一个设定点，以另一套点水平。为背景下，我们简要讨论的特点，每个 PID 控制部分组成：比例，积分和导数。

比例控制，也被称为比例控制，是一个控制系统，纠正偏差的一个进程的设定水平回到对设定点。这次调整比例的金额错误。例如，假设我们有一个设定点五七五立方英尺每分钟（立方英尺）在气流系统。如果流量上升到 580 立方英尺，纠正信号用于控制气孔阻尼器，以减少流回到 575 立方英尺。如果不知流上升到 585 立方英尺的两倍偏离设定点，纠正信号的 4 倍的规模将申请更正。较大的纠正信号理论上给出了更快返回 575 立方英尺。事实上，快速纠正不准确的。回到你的一套新点结束时的修正，例如，576.5 立方英尺，而不是 575 千次展示费用。比例控制通常不能有效地开展工作本身，从而抵消错误。

返回到原来的流量设定点，积分控制，也被称为复位控制，是补充。请注意，积分控制不能使用本身。请记住，只有与比例控制，我们有一个输出错误从我们原来的设定值。我们结束了在 576.5 立方英尺，而不是 575 立方英尺。积分控制产品感官的错误，1.5 立方英尺，时间错误依然存在。信号开发此产品。积分控制然后使用此产品的信号，返回到原来的设定值。一个不可分割的控制信号可以用来配合比例纠正信号。在控制器，额外的积分减少了错误信号，造成信号输出偏离设定值。因此，在一段时间内，这一进程偏离我们原来的 575 立方英尺的减少到最低限度。然而，这需要纠正相当长的一段时间。

为了加快恢复过程控制，点，导数控制添加到比例积分系统。导数的控制，也被称为速率控制，生产出的基础上纠正信号的变化率的信号。快变化的设定点，较大的纠正信号。衍生信号加到比例积分系统。这使我们更快地行动，比比比例积分系统信号的。一个典型的 PID 控制系统是常用的平行类型。该控制器的输出信号的数字是利用通过控制系统返回的过程变量的设置点。

说明系统采用 PID 控制是如图 23-2。在这一体系中，我们需要一个确切的石油产量流量。流量控制水泵电机的速度。水泵电机的速度控制通过控制面板组成的变速驱动器。反过来，驱动器的速度控制输出控制的电子控制器。电子控制器输出驱动器是由两个因素。第一个因素是确定的设置点拨号设置（或同等器件）。第二，流量传感器反馈的实际输出流量的电子控制器。该控制器的设定值比较，与实际流动。如果他们有所不同的某些原因，纠正信号改变发送到电机控制器。电机调速控制器的变化相应的改变电压适用于汽车。例如，如果石油输出流量低于设定点，一个信号，以加快汽车发送。该控制器然后使用 PID 控制，使校正及时准确地返回到设定流量。如果拨打被更改为一个新的设置，职能的 PID 控制系统，达到新的设定点尽快和尽可能准确地。

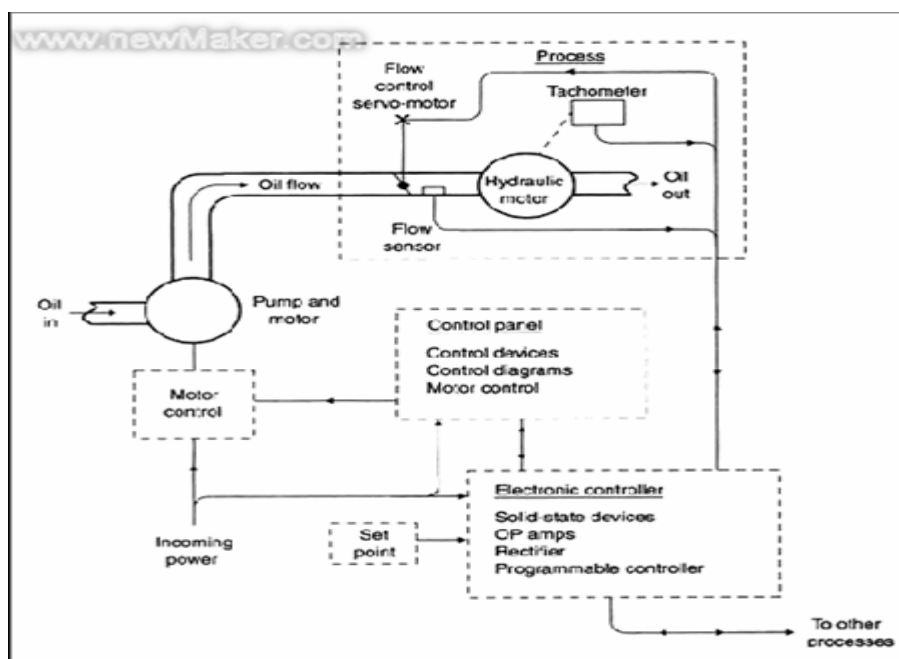


图 23-2 一般控制系统图液压泵

典型的连续过程控制曲线

为了说明一些可能的系统响应曲线的过程控制系统，我们将使用机电系统如图 23-3。的响应曲线，在这个例子中，我们的立场意味着输出随时间。该曲线显示为不同类型的控制，包括 PID 控制。

图 23-3 显示了控制系统的反馈回路，可 PID 控制。拨号设置为位置度，和

输出设备是采取的立场上，确定了拨号。输出是按照快速，准确的任何变化从一个拨号设置到另一个。

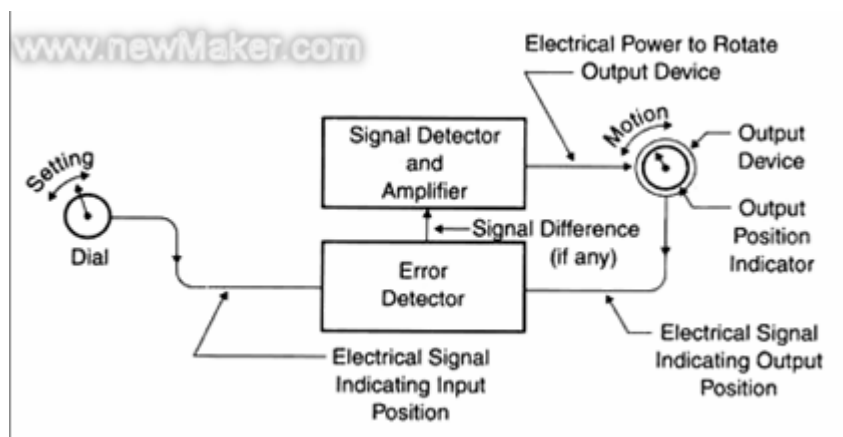


图 23-3 的位置与 PID 控制指标

PID 控制模块

PLC 的往往配备 PID 控制模块，用于处理获得的数据反馈电路。大多数这样的模块包含自己的微处理器。由于算法需要生成的 PID 功能都相当复杂，缓解的 PID 微处理器的 CPU 无需进行这些耗时的操作。

理解的 PID 模块，参见图 23-7。的 PLC 发出了一个设定点信号的 PID 控制模块。该模块是由三个要素：比例，积分和微分电路。电路的比例创造了输出信号的比例之间的差额而采取的测量和设定输入到 PLC 的。积分电路产生的输出比例的长度和大量的时间错误的信号存在。衍生电路产生输出信号成比例的变化率的错误信号。

传感器产生的输入输出信号的过程控制和饲料的测量值的 PID 控制模块。之间的差额确定点来自 PLC 和测量值从输入传感器是错误的信号。某种纠正设备，如电机控制，阀控制，或放大器，以错误的信号，并使用它来控制校正送交过程控制。

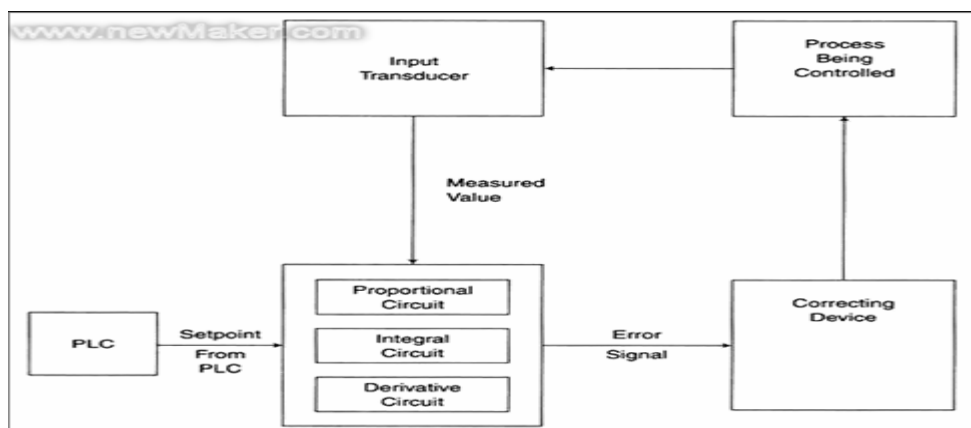
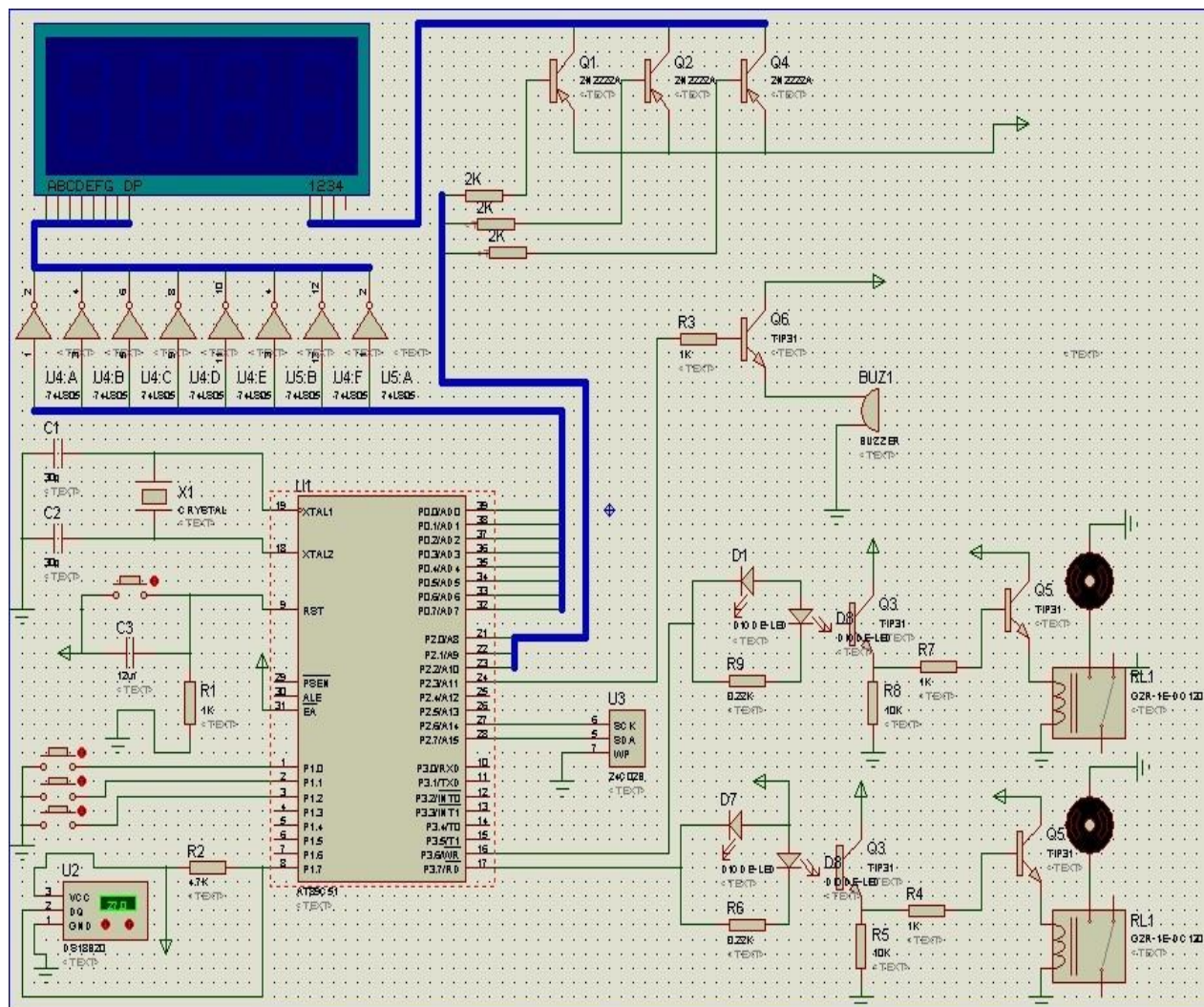


图 23-7 方框图的 PID 模块

附件三：系统总电路图



谢 辞

本论文是在导师陈红艳精心指导下完成的。从论文选题到课题难点的解决，陈老师都给予了本人悉心地指导。陈老师兢兢业业的治学态度、很深的专业造诣和顽强的敬业精神都使我收益非浅，终身难忘。在此，我首先向陈老师致以深深的敬意和衷心的感谢！

在课题完成过程中，还得到了我的同学的指导和帮助，同学给我提供了很多思路与经验，对我深入理解课题的有关知识与方法起到了重要作用。在此，我对帮助过我的同学也表示诚挚的谢意。

同时，也非常感谢学习期间的授课老师和同学在学习中的教导和帮助，谢谢！

最后，向在论文研究过程中给予我帮助的所有朋友表示衷心感谢！