

中 州 大 学 工 程 技 术 学 院

智能仪器课程设计

设计题目：室内温度测量仪

专 业：应用电子技术

班 级：09 电子（2）班

* 名：***

学 号：*****

指导教师：***

摘要

温度是工业、消费类和计算机应用中最为普遍测量的变量之一。为了实现这些应用环境中对多点温度的监控,该系统中测量网络采用热敏电阻与固定电阻直接分压方式实现,并使用 Steinhart-Hart三阶方程对热敏电阻温度——电阻特性曲线进行拟合,可同时对 4 路温度进行采样测量,温度测量范围 $-25^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$,测量精度优于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

本文从硬件和软件两方面来讲述温度自动控制过程,在控制过程中主要应用 AT89C51、ADC0809、LED 显示器、LM324 比较器,而主要是通过 DS18B20 数字温度传感器采集环境温度,以单片机为核心控制部件,并通过四位数码管显示实时温度的一种数字温度计。软件方面采用汇编语言来进行程序设计,使指令的执行速度快,节省存储空间。为了便于扩展和更改,软件的设计采用模块化结构,使程序设计的逻辑关系更加简洁明了,使硬件在软件的控制下协调运作。

而系统的过程则是:首先,通过设置按键,设定恒温运行时的温度值,并且用数码管显示这个温度值.然后,在运行过程中将采样的温度模拟量送入 A/D 转换器中进行模拟-数字转换,再将转换后的数字量用数码管进行显示,最后用单片机来控制加热器,进行加热或停止加热,直到能在规定的温度下恒温加热。

关键词: 单片机系统; 传感器; 数据采集; 模数转换器; 温度

第 1 章 绪论.....	5
1.1 课题的背景及其意义.....	5
1.2 课题研究的内容及要求.....	6
1.3 课题的研究方案.....	7
第 2 章 设计理论基础.....	10
2.1 传感器选择.....	18
2.2 放大电路.....	20
2.3 A/D 转换器.....	14
2.4 控制器.....	16
2.5 输出驱动电路.....	17
2.6 控制器软件设计.....	17
2.6.1 FPGA 程序设计.....	17
2.6.2 单片机程序设计.....	18
第 3 章 设计理论基础.....	19
3.1 单片机的发展概况.....	19
3.2 AT89C51 系列单片机介绍.....	20
3.2.1 AT89C51 系列基本组成及特性.....	20
3.2.2 AT89C51 系列引脚功能.....	30
3.2.3 AT89C51 系列单片机的功能单元.....	33
3.2.4 移位寄存器 74LS164.....	37
3.2.5 数码显示管 LED.....	38
3.2.6 数字温度计 DS18S20.....	39
第 4 章 电路设计.....	40
4.1 单片机控制单元.....	41
4.2 温度采样部分.....	41
4.3 模数转换部分.....	42
4.3.1 模数转换技术.....	43
4.3.2 积分型模数转换器.....	43

4.4 显示部分	44
4.5 调节执行单元.....	45
第5章 系统调试及结论分析	45
5.1 主程序流程图	45
5.2 中断子程序流程图	46
5.3 按键流程图	47
5.4 显示流程图	48
第6章 系统调试及结论分析	49
6.1 硬件调试.....	50
6.1.1 硬件电路故障及解决方法.....	50
6.1.2 硬件调试方法.....	50
6.2 软件调试.....	51
6.2.2 软件调试方法.....	51
6.3 结论分析.....	53
第7章 总结.....	54
总结.....	54
参考文献.....	56

第1章 绪论

1.1 课题的背景及其意义

二十一世纪是科技高速发展的信息时代，电子技术、微型单片机技术的应用更是空前广泛，伴随着科学技术和生产的不断发展，需要对各种参数进行温度测量。因此温度一词在生产生活之中出现的频率日益增多，与之相对应的，温度控制和测量也成为了生活生产中频繁使用的词语，同时它们在各行各业中也发挥着重要的作用。如在日趋发达的工业之中，利用测量与控制温度来保证生产的正常运行。在农业中，用于保证蔬菜大棚的恒温保产等。

温度是表征物体冷热程度的物理量，温度测量则是工农业生产过程中一个很重要而普遍的参数。温度的测量及控制对保证产品质量、提高生产效率、节约能源、生产安全、促进国民经济的发展起到非常重要的作用。由于温度测量的普遍性，温度传感器的数量在各种传感器中居首位。而且随着科学技术和生产的不断发展，温度传感器的种类还是在不断增加丰富来满足生产生活中的需要。

在单片机温度测量系统中的关键是测量温度、控制温度和保持温度，温度测量是工业对象中主要的被控参数之一。因此，单片机温度测量则是对温度进行有效的测量，并且能够在工业生产中得到了广泛的应用，尤其在电力工程、化工生产、机械制造、冶金工业等重要工业领域中，担负着重要的测量任务。在日常生活中，也可广泛实用于地热、空调器、电加热器等各种家庭室温测量及工业设备温度测量场合。但温度是一个模拟量，如果采用适当的技术和元件，将模拟的温度量转化为数字量虽不困难，但电路较复杂，成本较高。

1.2 课题研究的内容及要求

我本次的毕业设计的题目是温度控制系统设计。它是多种技术知识的结合，不仅涉及到软件的设计，而且还将应用电子技术与单片机的应用技术有机结合，使其具有精度高、测量误差小、稳定性好等特点。电路板的设计技术和机械加工工艺的巧妙结合，使其具备了显示直观、体积做工精细等特点，能为它在其它领域的广泛应用打下良好的基础。因为经过我们调查发现许多应用场合原来就有测温控温仪器，只是随着对生产质量与生产需要的要求在不断地提高，以往的那些测温控温的仪器根本不能满足现在的要求。其中，有部分应用场合对精度提高的幅度要求也不是特别高。因此，为了提高性价比，我所设计的系统提出在原有系统的基础上进行一些简单的改良，以此为出发点，主要阐述的是水温自动控制系统的一种实现方法。

1. 课题的主要研究的内容

本文所要研究的课题是基于单片机控制的水温控制系统的设计，主要是介绍了对水箱温度的显示、控制及报警，实现了温度的实时显示及控制。水箱水温控制部分，提出了用 DS18S20、AT89C51 单片机及 LED 的硬件电路完成对水温的实时检测及显示，利用 DS18S20 与单片机连接由软件与硬件电路配合来实现对加热电阻丝的实时控制及超出设定的上下限温度的报警系统。而炉内温度控制部分，采用一套 PID 闭环负反馈控制系统，由 DS18S20 检测炉内温度，用中值滤波的方法取一个值存入程序存取器内部一个单元作为最后检测信号，并在 LED 中显示。控制器是用 89C51 单片机，用 PID 算法对检测信号和设定值的差值进行调节后输出控制信号给执行机构，去调节电阻炉的加热功率，从而控制炉内温度。它具有微型化、低功耗、高性能、抗干扰能力强、易配微处理

器等优点，特别适合于构成多点的温度测控系统，可直接将温度转化成串行数字信号供微机处理，而且每片 DS18S20 都有唯一的产品号，可以一并存入其 ROM 中，以便在构成大型温度测控系统时在单线上挂接任意多个 DS18S20 芯片。从 DS18S20 读出或写入 DS18S20 信息仅需要一根口线，其读写及其温度变换功率来源于数据总线，该总线本身也可以向所挂接的 DS18S20 供电，而且不需要额外电源。同时 DS18S20 能提供九位温度读数，它无需任何外围硬件即可方便地构成温度检测系统。而且利用本次的设计主要实现温度测试，温度显示，温度门限设定，超过设定的门限值时自动启动加热装置等功能。而且还要以单片机为主机，使温度传感器通过一根口线与单片机相连接，再加上温度控制部分和人机对话部分来共同实现温度的监测与控制。

2. 用单片机实现其具体控制功能如下：

- (1) 能够连续测量水的温度值，用十进制数码管来显示水的实际温度。
- (2) 能够设定水的温度值，设定范围是 $30^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 能够实现水温的自动控制，如果设定水温为 85°C ，则能使水温保持恒定在 85°C 的温度下运行。
- (4) 用单片机 AT89C51 控制，通过按键来控制水温的设定值，数值采用数码管显示。

1.3 课题的研究方案

温度控制系统是比较常见和典型的过程控制系统。温度是工业生产过程中重要的被控参数之一，当今计算机控制技术在这方面的应用，已使温度控制系统达到自动化、智能化，比过去单纯采用电子线路进行 PID 调节的控制效果要

好得多，可控性方面也有了很大的提高。

温度是一个非线性的对象，具有大惯性的特点，在低温段惯性较大，在高温段惯性较小。对于这种温控对象，一般认为其具有以下传递函数形式：

$$G(s) = \frac{K}{T_s s + 1} e^{-s} \quad (1-1)$$

1. 方案一（见图 1-1）

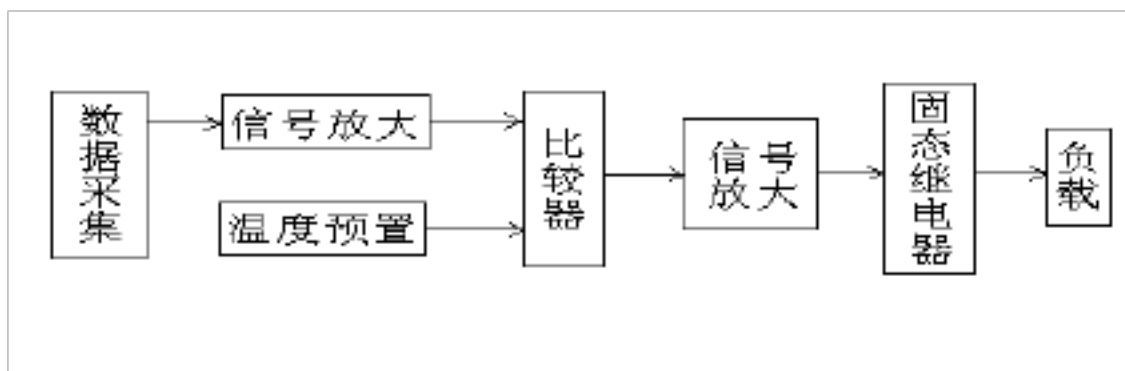


图 1-1 方案一的图

此方案是传统的一位式模拟控制方案，选用模拟电路，用电位器设定值，反馈的温度值和设定值比较后，决定加热或不加热。其特点是电路简单，易于实现，但是系统所得结果的精度不高并且调节动作频繁，系统静态差大、不稳定。系统受环境影响大，不能实现复杂的控制算法，不能用数码管显示，不能用键盘设定。

2. 方案二（见图 1-2）

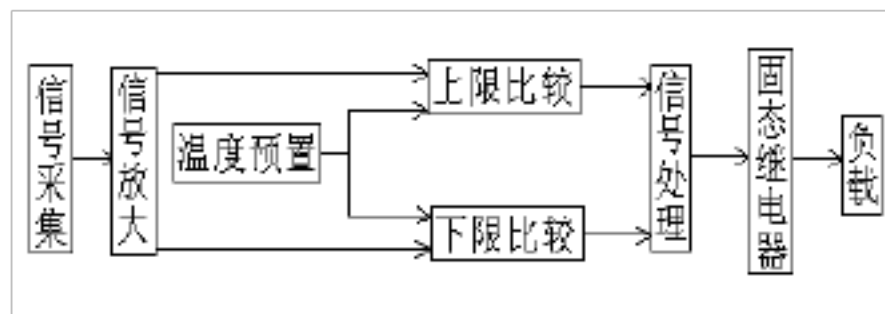


图 1-2 方案二的图

此方案是传统的二位式模拟控制方案，其基本思想与方案一相同，但由于采用上下限比较电路，所以控制精度有所提高。这种方法还是模拟控制方式，因此也不能实现复杂的控制算法使控制精度做得较高，而且不能用数码管显示，

对键盘进行设定。

3. 方案三（见图 1-3）

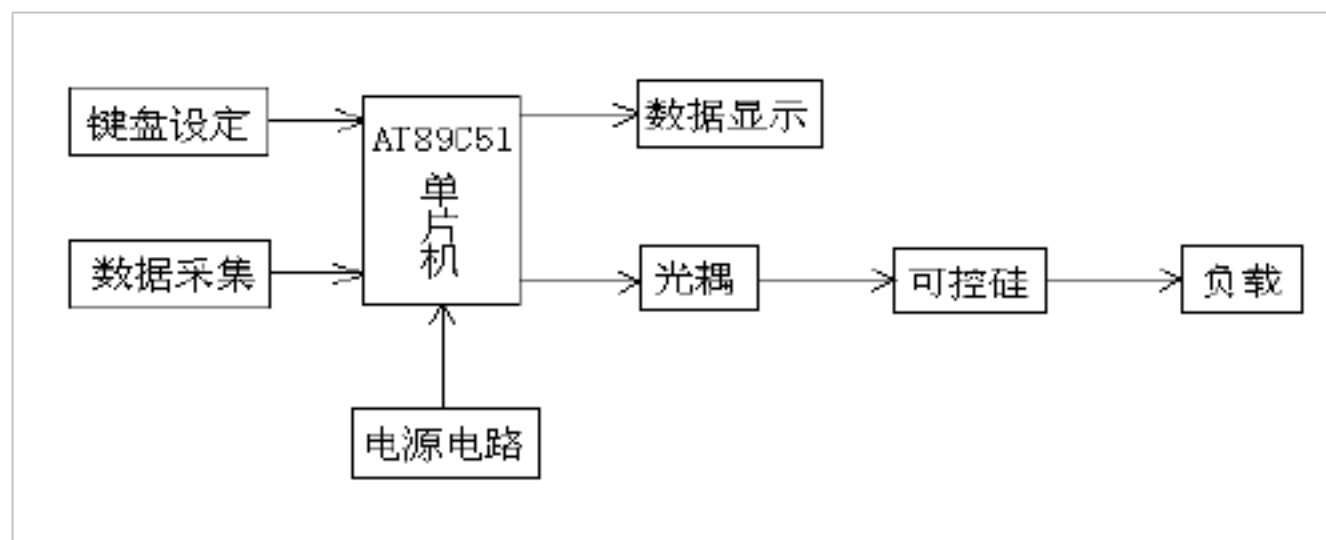


图 1-3 方案三的图

此方案采用 89C51 单片机系统来实现。单片机软件编程灵活、自由度大，可用软件编程实现各种控制算法和逻辑控制。单片机系统可以用数码管来显示水温的实际值，能用键盘输入设定值。本方案选用了 AT89C51 芯片，不需要外扩展存储器，可使系统整体结构更为简单。

结论：前两种方案是传统的模拟控制方式，而模拟控制系统难以实现复杂的控制规律，控制方案的修改也较为繁琐。而方案三是采用以单片机为控制核心的控制系统，尤其对温度控制，可达到模拟控制所达不到的效果，并且实现显示和键盘设定功能，大大提高了系统的智能化。也使得系统所测得结果的精度大大提高。所以，经过对三种方案的比较，本次毕业设计采用了方案三。

第 2 章 设计理论基础

2.1 传感器选择

常用的温度检测元件主要有热电偶、热电阻、热敏电阻等。热电偶主要是利用两种不同金属的热电效应，产生接触电势随温度变化而变化，从而达到测温的目的。测量准确，价格适中测温范围宽，线性度较好。但其输出电压受冷

端温度影响，需要进行冷端温度补偿，使电路变得复杂，在本题中并非最佳方案。

热敏电阻由金属氧化物或半导体材料制成，灵敏度高、热惰性小、寿命长、价格便宜。但其测量的稳定性和复现性差，测量精度无法满足本题发挥部分 0.2°C 的要求。而且线性度差，需要进行查表线性拟合，大大浪费控制器的资源，因此不能选用。

热电阻是利用金属的电阻率随温度变化而变化的特性，将温度量转化成电阻量。其优点是准确度高，稳定性高，性能可靠，热惯性小、复现性好，价格适中。但电阻值与温度是非线性关系，Pt100 热电阻，当 $0^{\circ}\text{C}<t<850^{\circ}\text{C}$ 时其中 $A=3.9083 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $B=-5.775 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ；由此可见，温度越高非线性误差越大，本题目要求温控范围是 $40^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ ，温度较低。经计算当温度为 90°C 时，非线性误差为 0.34% ，运用最小二乘法适当的进行零点和增益的调整，还可使此误差降低一倍，而本题要求精度为 $0.2/90=0.22\%$ ，因此在本题中可以选用Pt100 热电阻，并可近似将其电阻值与温度看作线性关系。

2.2 放大电路

热电阻所测得的是电阻量，需要转化为电压量才能被控制器采集。最基本的电阻-电压转换电路是将其与另一固定电阻串联，但这种方法，当温度为量程下限时输出不为零，这样不利于小信号的放大和提高A/D转换的精度。因此，本作品采用桥路测量

其中 $R_1 R_2$ 为 $10\text{k}\Omega$ 固定电阻， R_t 为热电阻， R_w 为调零电阻，由于，因此上下两支路电流相等，并保持恒定不变，输出电压，可调整 $R_t=0=R_w$ ，

使得由于在桥路中 R_1 很大，使得输出量 u_o 变化很小，当 R_t 从 0 到 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 变化时，输出仅有十几毫伏，因此还需要进行小信号放大。本作品所用低频增益可调放大电路

其中 R_{w1} 为增益电阻，用于调整测量满量程，运放采用低噪声 NE5532，令 $R_1=R_2, R_3=R_4, R_5=R_6$ ，则该放大电路总增益为，当 R_{w1} 从 0 到 $50\text{k}\Omega$ 变化时， A_v 的变化范围为 150 至 $+\infty$ ，满足所需增益要求。

本次设计所用的运算放大器是 LM324，而 LM324 的系列器件为价格便宜的带有真差动输入的四运算放大器。与单电源应用场合的标准运算放大器相比，它们有一些显著优点。该四放大器可以工作在低到 3 伏或者高到 32 伏的电源下，静态电流为 MC1741 的静态电流的五分之一。共模输入范围包括负电源，因而消除了在许多应用场合中采用外部偏置元件的必要性。它的性能特点是短跑保护输出、真差动输入级、底偏置电流为最大 $100\mu\text{A}$ 、每封装含四个运算放大器、具有内部补偿的功能、共模范围扩展到负电源、行业标准的引脚排列、输入端具有静电保护功能。运算放大器 LM324 的引脚图如图 2-3:

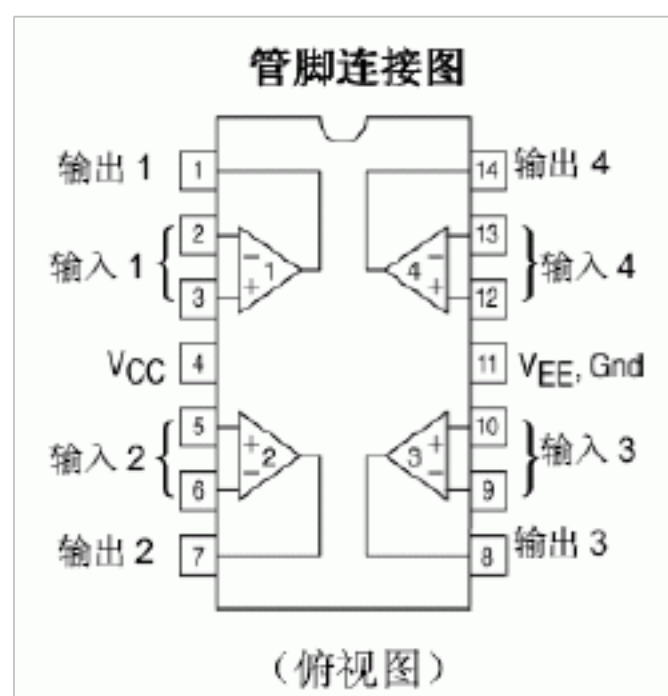


图 2-3 运算放大器 LM324 的引脚图

由于本次设计中采集电路所采集到的信号值与我们所预期的结果有时会有

很大的差距，因此信号值要被真实地反映出来，须采用放大电路进一步处理。按比例将信号放大的电路，称为比例运算放大电路，简称比例电路。对于比例电路，在实际应用中可分为以下几种，下面也做一些简单的介绍。

1. 反相比例放大器

如图 2-4 所示，集成运放的同相输入端通过电阻 R 接地，电阻 R_1 与信号源串联，另一端接到运放的反相输入端，运放的输出端与反相输入端之间接有电阻 R_f ，为保证集成运放输入级两边对称，

$$R = R_1 \parallel R_f \quad (2-2)$$

比例电路输出电压与输入电压之间的函数关系为：

$$U_0 = U_i \frac{R_f}{R_1} \quad (2-3)$$

$$A_u = \frac{U_0}{U_i} = \frac{R_f}{R_1} \quad (2-4)$$

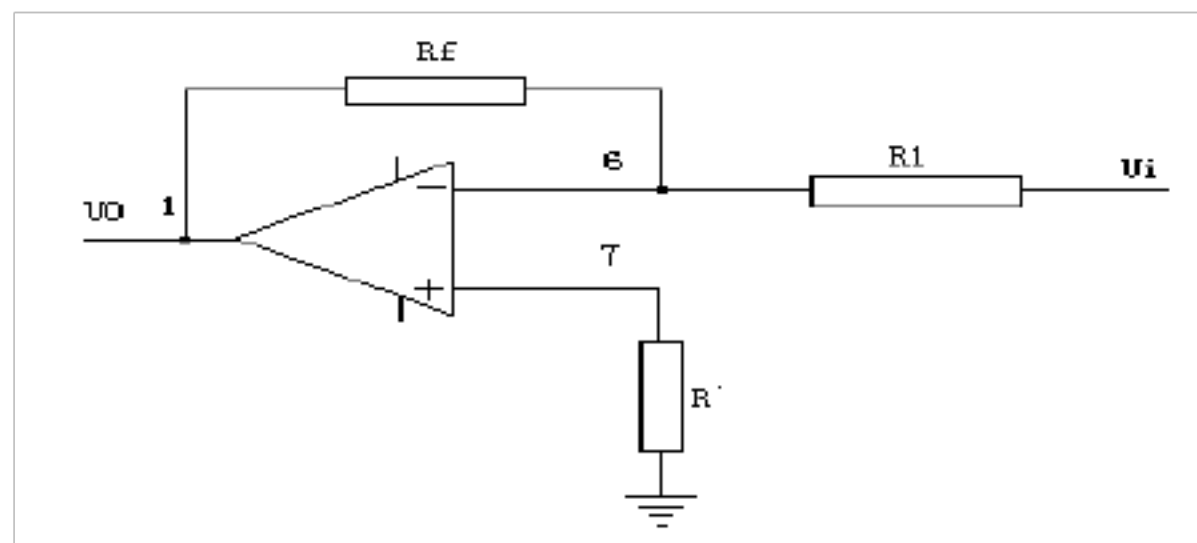


图 2-4 反向比例电路

注意：反相比例电路的特点是深度电压并联负反馈电路。因此，集成运放的反相输入端为“虚地”点，它的共模输入电压可视为零，对运放的共模抑制要求低；比例电路的输入电阻小，可视为 $r_i \parallel R_1$ ，因此对输入电流有一定要求；输出电阻 r_o 视为零，在适应不同大小负载的能力较强。

2. 同相比例放大器

如图 2-5 所示，为同相比例电路，为保证电路输入对称仍要求：

$$R_1 / R_f \quad (2-5)$$

输出电压与输入电压的函数关系为：

$$U_o = (1 + R_f / R_1) \cdot U_i \quad (2-6)$$

$$A_u = U_o / U_i = 1 + R_f / R_1 \quad (2-7)$$

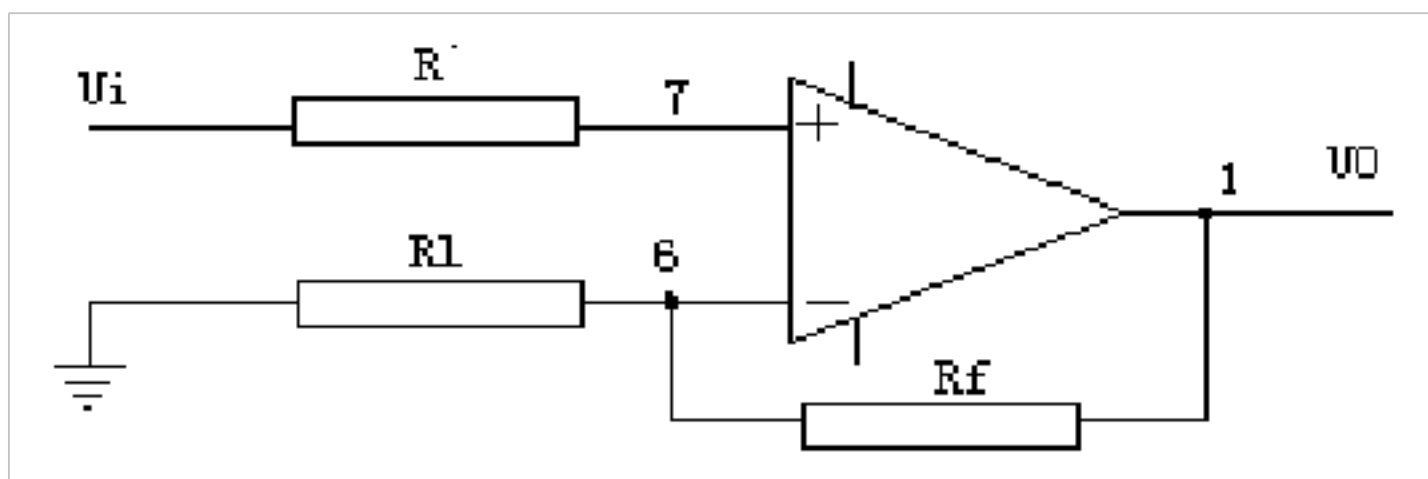


图 2-5 同相比例电路

注意：同相比例电路的特点是深度电压串联负反馈电路。电路的输入电阻很大，可达 100M 以上；输出电阻很小可视为零，因此有较强的带负载能力。由于 $U_o = U_i$ ，集成运放的共模抑制比要求较高，这是缺点。

2.3 A/D转换

题目所要求测量度精度为 0.2℃，测温的范围应该为室温到要求的最高温度，即 20~90℃，这就决定了 A/D 转换的最低分辨率不低于 $0.2 / (90 - 20) = 1/350$ ，而普通八位 A/D 转换芯片只能达到 1/256，不能满足要求。而如果选用更高位的芯片，将大大增加成本。温度是一种变化时间常数较大的物理量，对 A/D 转换速度要求不高，因此，在设计中选用了压控振荡器，先将电压信号转化为频率量，再通过控制器的计数功能转化为数字信号，这样可以大大提高精度，节约成本

电容器 C1 充电周期为 t_c ，放电周期为 t_d ，由于 $t_c \gg t_d$ ，所以其振荡频率可近似看作与输入电压 U_i 成正比。但当频率较高时，仍有较大（约为 5%）非线性误差，不能满足题目要求。因此，在作品中利用 FPGA 的优点，该测频率为测正脉冲宽度，再通过单片机求倒数，这样即可完全消除非线性误差。

ADC0809 是 8 位 A/D 转换芯片，它是采用逐次逼近的方法完成 A/D 转换的。ADC0809 由单 +5V 电源供电；片内带有锁存功能的 8 路模拟多路开关，可对 8 路 0~5V 的输入模拟电压分时进行转换，完成一次转换约需 100 μ S；片内具有多路开关的地址译码器和锁存器、高阻抗斩波器、稳定的比较器，256 电阻 T 型网络和树状电子开关以及逐次逼近寄存器。

ADC0809 是引脚双列直插式封装，引脚及其功能（图 2-2）：

1. D7 ~ D0：8 位数字量输出引脚。
2. IN0 ~ IN7：8 路模拟量输入引脚。
3. VCC：+5V 工作电压。
4. GND：接地。
5. REF（+）：参考电压正端。
6. REF（-）：参考电压负端。
7. START：A/D 转换启动信号输入端。
8. A、B、C：地址输入端。
9. ALE：地址锁存允许信号输入端。
10. EOC：转换结束信号输出引脚，开始转换时为低电平，当转换结束时为高电平。
11. OE：输出允许控制端，用以打开三态数据输出锁存器。

12. CLK : 时钟信号输入端, 译码后可选通 IN0~IN7 八个通道中的一个进行转换。

表 2-1 A、B、C 的输入与被选通道的通道关系

被选中的通道	C	B	A
IN0	0	0	0
IN1	0	0	1
IN2	0	1	0
IN3	0	1	1
IN4	1	0	0
IN5	1	0	1
IN6	1	1	0
IN7	1	1	1

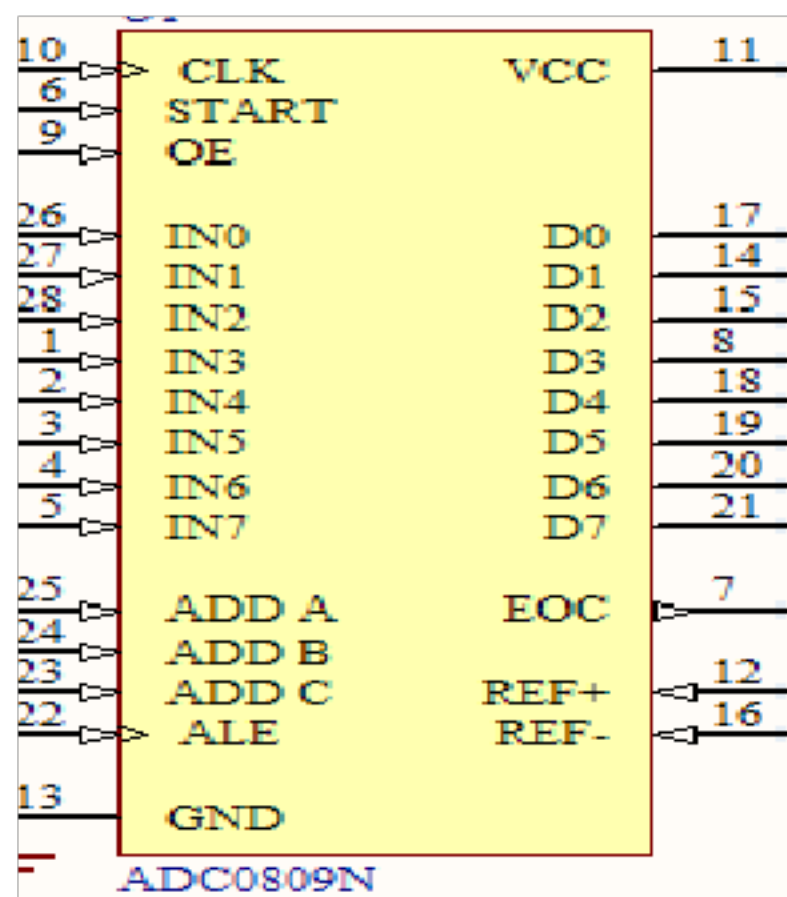


图 2-2 ADC0809 的管脚图

2.4 控制器

对温度的反馈偏差控制,就必然用到经典控制理论中的 PID (Proportional Integral and Derivative 比例积分微分) 控制,控制器可有多种选择,如模拟电路、单片机、逻辑器件等。

模拟电路控制可对偏差变化进行连续的控制,技术成熟,性能较稳定。但其缺点是不便于显示,调整 PID 参数需更换元器件,易受到外界干扰等,在现在这个数字化高度发展的时代已趋于淘汰。

单片机作为微型计算机的一个分支,已有二十多年的发展,在各控制领域都有广泛的应用。而近年以 FPGA (现场可编程门阵列) 为代表的可编程逻辑器件异军突起,其优异的性能大大弥补了单片机响应速度慢、中断源少的缺点。但 FPGA 的运算能力有限,因此,在我们的设计中采用 FPGA 与单片机相结合的控制方式,二者优势互补,性能大大提高。

在本作品中,FPGA 主要负责接收压控振荡器的信号,通过测量其正脉宽而获得电压量;单片机接收 FPGA 发送的数据,进行显示、PID 运算,和输出。

2.5 输出驱动电路

控制器将其 PID 运算的结果转化为不同占空比的脉冲信号输出,该信号作用于执行机构还需要经过驱动电路。

本作品中采用交流调功电路,即将负载与交流电源接通几个周波,再断开几个周波,通过改变开通与断开周波的比值来调节负载所消耗的平均功率。。

将 220V/50Hz 的市电,经电阻分压到 5V 以下,输入运放的同相输入端,运放作为过零比较器,当市电过零时,产生跳变,运放输出送到 D 触发器的时

钟端，D 触发器的输入接单片机输出的脉冲信号，输出接双向晶闸管的门极。这样，只有当交流电过零时，单片机的输出信号才对晶闸管产生作用，也就是说，只有当交流电过零时，晶闸管才能开通或关断。这样可以大大减小开通关断过程中对晶闸管的冲击，减少开通关断损耗。

2.6 控制器软件设计

2.6.1 FPGA 程序设计

在本作品中，FPGA 的主要功能是测量压控振荡器输出高脉宽的时间。由于压控振荡器的频率较低（ $<10\text{kHz}$ ），因此在测量中采用的方法是，提取一个高脉宽，在这个高脉宽内对标准频率（ 50MHz ）计数，计数的值即与脉宽成正比。

2.6.2 单片机程序设计

单片机在本作品中起主要的作用，其功能主要是接收 FPGA 的数据、运算、显示和输出控制脉冲。以上几部分在一个周期内顺序执行，如图 6 所示，一个周期的时间约为 0.1 秒，即为一个采样周期。对于水温这一时间常数较大的系统，0.1 秒的采样周期足够。

由于精度的要求，FPGA 发送的数据位数较高，需要多次传送，每次传 8 位，共传 8 次，放入缓冲区中。然后根据脉宽——电压——温度三者的对应关系，计算出当前温度。尽管测量的非线性误差很小，但仍会对精度产生一定影响，因此在实验中，取若干脉宽与温度对应实验数据，利用最小二乘法进行一元线性回归，如图 7 所示，将原来 a 直线，变为 b 直线，这样可以在很大程度上减小非线性误差。显示部分，采用 7 位七段 LED 数码管显示，可以显示给定

值和当前实际值，因考虑人眼的视觉暂留的影响，数码管每 5 个采样周期，即 0.5 秒刷新一次。

本作品的 PID 运算采用了当前计算机控制常用的增量 PID 算法。具体做法如下：采样 PID 控制的基本公式为 $u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$ ，其中 K_p 为比例系数， T_i 为积分时间， T_d 为微分时间， T 为采样时间。因计算中需要累加求和，不便于单片机的计算。因此算其增量式其中，软件进行 PID 运算后判断如果 $\Delta u > 0$ ，则输出脉冲的占空比增加 1%，反之减小 1% 为了确定 PID 参数，根据容器加热、传热的公式，列出加热容器的微分方程，经拉氏变换后得到一个一阶滞后环节，其传递函数约为 $\frac{K}{Ts+1}$ ，对整个控制回路用 Matlab 中的 Simulink 工具箱进行方针

第 3 章 设计理论基础

本设计系统的基本组成单元包括：主机、温度采样单元、单片机控制单元、调节执行单元四部分，本章将逐一进行介绍。

3.1 单片机的发展概况

1970 年微型计算机研制成功之后，随之即出现了单片机（即单片微型计算机）——美国 Intel 公司 1971 年生产的 4 位单片机 4004 和 1972 年生产的 8 位单片机 8008，这也算是单片机的第一次公众亮相。

1976 年 Intel 公司首先推出能称为单片机的 MCS-48 系列单片微型计算机。它以体积小、功能全、价格低等特点，赢得了广泛的应用，同时一些与单片机有关公司都争相推出各自的单片机。

1978 年下半年 Motorola 公司推出 M6800 系列单片机，Zilog 公司相继推出

Z8 单片机系列。1980 年 Intel 公司在 MCS-48 系列基础上又推出高性能的 MCS-51 系列单片机。这类单片机均带有串行 I/O 口，定时器/计数器为 16 位，片内存储容量（RAM，ROM）都相应增大，并有优先级中断处理功能，单片机的功能、寻址范围都比早期的扩大了，它们是当时单片机应用的主流产品。

1982 年 Mostek 公司和 Intel 公司先后又推出了性能更高的 16 位单片机 MK68200 和 MCS-96 系列，NS 公司和 NEC 公司也分别在原有 8 位单片机的基础上推出了 16 位单片机 HPC16040 和 μ PD783 \times \times 系列。

1987 年 Intel 公司又宣布了性能比 8096 高两倍的 CMOS 型 80C196，1988 年推出带 EPROM 的 87C196 单片机。由于 16 位单片机推出的时间较迟、价格昂贵、开发设备有限等多种原因，至今还未得到广泛应用。而 8 位单片机已能满足大部分应用的需要，因此，在推出 16 位单片机的同时，高性能的新型 8 位单片机也不断问世。

纵观这短短的 20 年，经历了 4 次更新换代，单片机正朝着集成化、多功能、多选择、高速度、低功耗、扩大存储容量和加强 I/O 功能及结构兼容的方向发展。新一代的 80C51 系列单片机除了上述的结构特性外，其最主要的技特点是向外部接口电路扩展，以实现微控制器（microcontroller）完善的控制功能为己任。这一系列单片机为外部提供了相当完善的总线结构，为系统的扩展和配置打下了良好的基础。由于 80C51 系列单片机所具有的一系列优越的特点，获得广泛使用指日可待。

3.2 AT89C51 系列单片机介绍

3.2.1 AT89C51 系列基本组成及特性

AT89C51 是一种带 4k 字节闪烁可编程可擦除只读存储器（FPEROM—Falsh Programmable and Erasable Read Only Memory）的低电压，高性能 CMOS8 位微处理器，俗称单片机。而在众多的 51 系列单片机中，要算 ATMEL 公司的 AT89C51 更实用，也是一种高效微控制器，因为它不但和 8051 指令、管脚完全兼容，而且其片内的 4K 程序存储器是 FLASH 工艺的，这种工艺的存储器，用户可以用电的方式达到瞬间擦除、改写。而这种单片机对开发设备的要求很低，开发时间也大大缩短。

1、主要特性：

- 1) 与 MCS-51 兼容
- 2) 4K 字节可编程 FLASH 存储器
- 3) 寿命：1000 写/擦循环
- 4) 数据保留时间：10 年
- 5) 全静态工作：0Hz-24MHz
- 6) 三级程序存储器锁定
- 7) 128×8 位内部 RAM
- 8) 32 可编程 I/O 线
- 9) 两个 16 位定时器/计数器
- 10) 5 个中断源
- 11) 可编程串行通道

12) 低功耗的闲置和掉电模式

13) 片内振荡器和时钟电路

2、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 P0 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 8 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。

P3 口也可作为 AT89C51 的一些特殊功能口，如下表所示：

口管脚 备选功能：

P3.0 RXD（串行输入口）

P3.1 TXD（串行输出口）

P3.2 /INT0（外部中断 0）

P3.3 /INT1（外部中断 1）

P3.4 T0（记时器 0 外部输入）

P3.5 T1（记时器 1 外部输入）

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）

P3 口同时为闪烁编程和编程校验接收一些控制信号。

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间。

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。

3、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。

4、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。

5、串口通讯

单片机的结构和特殊寄存器，这是你编写软件的关键。至于串口通信需要用到那些特殊功能寄存器呢，它们是 SCON，TCON，TMOD，SCON 等，各代表什么含义呢？

SBUF 数据缓冲寄存器这是一个可以直接寻址的串行口专用寄存器。有朋友这样问起过“为何在串行口收发中，都只是使用到同一个寄存器 SBUF？而不是收发各用一个寄存器。”实际上 SBUF 包含了两个独立的寄存器，一个是发送寄存，另一个是接收寄存器，但它们都共同使用同一个寻址地址—99H。CPU 在读 SBUF 时会指到接收寄存器，在写时会指到发送寄存器，而且接收寄存器是双缓冲寄存器，这样可以避免接收中断没有及时的被响应，数据没有被取走，下一帧数据已到来，而造成的数据重叠问题。发送器则不需要用到双缓冲，一般情况下我们在写发送程序时也不必用到发送中断去外理发送数据。操作 SBUF 寄存器的方法则很简单，只要把这个 99H 地址用关键字 sfr 定义为一个变量就可以对其进行读写操作了，如 `sfr SBUF = 0x99;`当然你也可以用其它的名称。通常在标准的 `reg51.h` 或 `at89x51.h` 等头文件中已对其做了定义，只要用 `#include` 引用就可以了。

SCON 串行口控制寄存器通常在芯片或设备中为了监视或控制接口状态，都会引用到接口控制寄存器。SCON 就是 51 芯片的串行口控制寄存器。它的寻址地址是 98H，是一个可以位寻址的寄存器，作用就是监视和控制 51 芯片串行口的工作状态。51 芯片的串口可以工作在几个不同的工作模式下，其工作模式的设置就是使用 SCON 寄存器。它的各个位的具体定义如下：

SM0 SM1 SM2 REN TB8 RB8 TI RI

SM0、SM1 为串行口工作模式设置位，这样两位可以对应进行四种模式的设置。串行口工作模式设置。

SM0 SM1 模式 功能 波特率

0 0 0 同步移位寄存器 $f_{osc}/12$

0 1 1 8 位 UART 可变

1 0 2 9 位 UART $f_{osc}/32$ 或 $f_{osc}/64$

1 1 3 9 位 UART 可变

在这里只说明最常用的模式 1，其它的模式也就一一略过，有兴趣的朋友可以找相关的硬件资料查看。表中的 f_{osc} 代表振荡器的频率，也就是晶振的频率。UART 为 (Universal Asynchronous Receiver) 的英文缩写。

SM2 在模式 2、模式 3 中为多处理机通信使能位。在模式 0 中要求该位为 0。

REN 为允许接收位，REN 置 1 时串口允许接收，置 0 时禁止接收。REN 是由软件置位或清零。如果在一个电路中接收和发送引脚 P3.0, P3.1 都和上位机相连，在软件上有串口中断处理程序，当要求在处理某个子程序时

不允许串口被上位机来的控制字符产生中断，那么可以在这个子程序的开始处加入 $REM=0$ 来禁止接收，在子程序结束处加入 $REM=1$ 再次打开串口接收。大家也可以用上面的实际源码加入 $REM=0$ 来进行实验。

TB8 发送数据位 8，在模式 2 和 3 是要发送的第 9 位。该位可以用软件根据需要置位或清除，通常这位在通信协议中做奇偶位，在多处理机通信中这一位则用于表示是地址帧还是数据帧。

RB8 接收数据位 8，在模式 2 和 3 是已接收数据的第 9 位。该位可能是奇偶位，地址/数据标识位。在模式 0 中，RB8 为保留位没有被使用。在模式 1 中，当 $SM2=0$ ，RB8 是已接收数据的停止位。

TI 发送中断标识位。在模式 0，发送完第 8 位数据时，由硬件置位。其它模式中则是在发送停止位之初，由硬件置位。TI 置位后，申请中断，CPU 响应中断后，发送下一帧数据。在任何模式下，TI 都必须由软件来清除，也就是说在数据写入到 SBUF 后，硬件发送数据，中断响应（如中断打开），这时 $TI=1$ ，表明发送已完成，TI 不会由硬件清除，所以这时必须用软件对其清零。

RI 接收中断标识位。在模式 0，接收第 8 位结束时，由硬件置位。其它模式中则是在接收停止位的半中间，由硬件置位。 $RI=1$ ，申请中断，要求 CPU 取走数据。但在模式 1 中， $SM2=1$ 时，当未收到有效的停止位，则不会对 RI 置位。同样 RI 也必须要靠软件清除。常用的串口模式 1 是传输 10 个位的，1 位起始位为 0，8 位数据位，低位在先，1 位停止位为 1。它的波特率是可变的，其速率是取决于定时器 1 或定时器 2 的定时值（溢出速率）。AT89C51 和 AT89C2051 等 51 系列芯片只有两个定时器，定时器

0 和定时器 1，而定时器 2 是 89C52 系列芯片才有的。

波特率在使用串口做通讯时，一个很重要的参数就是波特率，只有上下位机的波特率一样时才可以进行正常通讯。波特率是指串行端口每秒内可以传输的波特位数。有一些初学的朋友认为波特率是指每秒传输的字节数，如标准 9600 会被误认为每秒种可以传送 9600 个字节，而实际上它是指每秒可以传送 9600 个二进位，而一个字节要 8 个二进位，如用串口模式 1 来传输那么加上起始位和停止位，每个数据字节就要占用 10 个二进位，9600 波特率用模式 1 传输时，每秒传输的字节数是 $9600 \div 10 = 960$ 字节。51 芯片的串口工作模式 0 的波特率是固定的，为 $f_{osc}/12$ ，以一个 12M 的晶振来计算，那么它的波特率可以达到 1M。模式 2 的波特率是固定在 $f_{osc}/64$ 或 $f_{osc}/32$ ，具体用那一种就取决于 PCON 寄存器中的 SMOD 位，如 SMOD 为 0，波特率为 $f_{osc}/64$ ，SMOD 为 1，波特率为 $f_{osc}/32$ 。模式 1 和模式 3 的波特率是可变的，取决于定时器 1 或 2（52 芯片）的溢出速率。那么我们怎么去计算这两个模式的波特率设置时相关的寄存器的值呢？可以用以下的公式去计算：

$$\text{波特率} = (2\text{SMOD} \div 32) \times \text{定时器 1 溢出速率}$$

上式中如设置了 PCON 寄存器中的 SMOD 位为 1 时就可以把波特率提升 2 倍。通常会使用定时器 1 工作在定时器工作模式 2 下，这时定时值中的 TL1 做为计数，TH1 做为自动重装值，这个定时模式下，定时器溢出后，TH1 的值会自动装载到 TL1，再次开始计数，这样可以不用软件去干预，使得定时更准确。在这个定时模式 2 下定时器 1 溢出速率的计算公式如下：

$$\text{溢出速率} = (\text{计数速率}) / (256 - \text{TH1})$$

上式中的“计数速率”与所使用的晶体振荡器频率有关，在 51 芯片中定时器启动后会在每一个机器周期使定时寄存器 TH 的值增加一，一个机器周期等于十二个振荡周期，所以可以得知 51 芯片的计数速率为晶体振荡器频率的 1/12，一个 12M 的晶振用在 51 芯片上，那么 51 的计数速率就为 1M。通常用 11.0592M 晶体是为了得到标准的无误差的波特率，那么为何呢？计算一下就知道了。如我们要得到 9600 的波特率，晶振为 11.0592M 和 12M，定时器 1 为模式 2，SMOD 设为 1，分别看看那所要求的 TH1 为何值。代入公式：

$$11.0592\text{M}$$

$$9600 = (2 \div 32) \times ((11.0592\text{M}/12) / (256 - \text{TH1}))$$

$$\text{TH1} = 250$$

$$12\text{M}$$

$$9600 = (2 \div 32) \times ((12\text{M}/12) / (256 - \text{TH1}))$$

$$\text{TH1} \approx 249.49$$

上面的计算可以看出使用 12M 晶体的时候计算出来的 TH1 不为整数，而 TH1 的值只能取整数，这样它就会有一定的误差存在不能产生精确的 9600 波特率。当然一定的误差是可以在使用中被接受的，就算使用 11.0592M 的晶体振荡器也会因晶体本身所存在的误差使波特率产生误差，但晶体本身的误差对波特率的影响是十分之小的，可以忽略不计。

AT89C51 是功耗小、高性能、CMOS 八位微处理器，而且在其片种还有 4k 字节的在线可重复编程快擦快写程序存储器，能重复写入/擦除 1000 次，数据

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/285212112030012011>