

本科毕业设计（论文）诚信承诺书

1. 本人郑重地承诺所呈交的毕业设计（论文），是在指导教师的指导下严格按照学校和学院有关规定完成的。
2. 本人在毕业设计（论文）中引用他人的观点和参考的资料均加以了注释和说明。
3. 本人承诺在毕业设计（论文）选题和研究内容过程中没有抄袭他人研究成果和伪造相关数据等行为。
4. 本人在毕业设计（论文）中对侵犯任何方面知识产权的行为，将由本人承担一切相应的法律责任。

作者签名： 谷创业

2019 年 11 月 4 日

安徽信息工程学院 2020 届本科毕业设计（论文）成绩评定表

学生姓名	谷创业	专业班级	自动化 1601 班	学号	316207010104
课题名称	恒温烤箱系统的设计				
<p>指导教师评语：（不少于 100 字）</p> <p>设计的恒温烤箱系统，该控制系统能对温度进行准确的恒温控制。相对于传统温度控制系统，本系统采用增量式 PID 控制技术对温度进行控制，温度将更快接近目标值，达到目标值后温度能保持恒定，具有一定抗干扰性能。全文结构符合要求，逻辑思路清晰，论据充分，重难点突出，语言流畅，观点论证充分，格式规范。</p>					
<p>评定成绩： 88 是否同意答辩： 同意 指导教师（签名）：张松林</p> <p style="text-align: right;">日期：2020-05-20</p>					
<p>评阅教师评语：（不少于 100 字）</p> <p>该系统采用增量式 PID 控制技术对温度进行控制，温度将更快接近目标值，达到目标值后温度能保持恒定。恒温烤箱系统的恒温控制内容充实，有阶段性成果，仿真过程完整，仿真结果合理，数据正确。PID 的参数整定合理，图纸设计合理，语句通顺，思路清晰，但部分语句表达较差。</p>					
<p>评定成绩： 89 是否同意答辩： 同意 评阅教师（签名）： 王冠凌</p> <p style="text-align: right;">日期：2020-05-22</p>					
<p>答辩小组评语：</p> <p>该课题恒温烤箱系统的设计整体内容尚可，论文结构基本清晰。毕业设计基本上涵盖了系统的软件设计和硬件结构。答辩过程基本上能够回答老师的提问，组织和表达能力尚可、论点基本正确，能够初步的将自动化专业知识与设计内容相结合。</p>					
<p>评定成绩： 82 答辩组长（签名）：张松林</p> <p style="text-align: right;">日期：2020-05-25</p>					
<p>毕业设计（论文）成绩及等级：</p>					
<p style="text-align: center;">成绩： 85.9 等级：优秀</p> <p style="text-align: right;">学院负责人（签名）：张敏凤</p> <p style="text-align: right;">日 期：2020-5-26</p>					



安徽信息工程学院

Anhui Institute of Information Technology

2020 届本科生毕业设计（论文）

题 目 恒温烤箱系统的设计

学 生 姓 名 谷创业

学 号 316207010104

专 业 班 级 自动化 1601 班

学 院 安徽信息工程学院

指 导 老 师 张松林

完 成 日 期 2020 年 6 月 5 日

教务处 制

摘 要

温度控制在工业生产过程中一直以来都是一个重要的目标之一，有些生产工艺对温度的控制要求极高。在生产的过程中如果未能对温度施行准确的控制，生产出来的产品质量可能不达标，所以设计一款温控精准的控制器是具有重要意义的。

本项目将设计一款恒温烤箱系统，该控制系统能对温度进行准确的恒温控制。相对于传统温度控制系统，本系统采用增量式 PID 控制技术对温度进行控制，温度将更快接近目标值，达到目标值后温度能保持恒定，具有一定抗干扰性能。

该系统将以 PID 控制算法的设计为着重点，叙述控制算法的对比、选择以及实现。在系统的硬件与软件的设计采用低内聚、高耦合的设计方法，不同的软件模块与相应硬件相对应，同时由软件将所有模块组合到一起，共同组成恒温烤箱系统。

关键词：PID； 恒温控制系统； 烤箱

ABSTRACT

Temperature control has always been one of the important goals in the industrial production process, and some production processes have extremely high requirements for temperature control. If the temperature is not accurately controlled during the production process, the quality of the produced product may not meet the standards, so it is of great significance to design a temperature-controlled and accurate controller.

This project will design a constant temperature oven system, which can accurately control the temperature. Compared with the traditional temperature control system, this system uses incremental PID control technology to control the temperature, the temperature will be closer to the target value faster, after reaching the target value, the temperature can be kept constant, with certain anti-interference performance.

The system will focus on the design of the PID control algorithm, describing the comparison, selection and implementation of the control algorithm. The design of the system's hardware and software uses a low cohesion and high coupling design method. Different software modules correspond to the corresponding hardware. At the same time, the software combines all the modules together to form a constant temperature oven system.

Key words: PID; thermostatic control system; oven

目 录

插图清单.....	V
表格清单.....	VII
引言.....	- 1 -
1 概述.....	- 2 -
1.1 研究的背景.....	- 2 -
1.2 研究的意义.....	- 2 -
1.3 研究的内容.....	- 2 -
2 PID 控制算法.....	- 4 -
2.1 PID 介绍.....	- 4 -
2.2 位置式 PID.....	- 5 -
2.3 增量式 PID.....	- 7 -
3 硬件设计.....	- 9 -
3.1 系统总体设计.....	- 9 -
3.2 控制器最小系统设计.....	- 9 -
3.3 温度检测模块.....	- 14 -
3.4 温度控制驱动模块.....	- 16 -
3.5 显示模块.....	- 17 -
3.6 按键模块.....	- 18 -
3.7 声光报警模块.....	- 19 -
4 软件设计.....	- 21 -
4.1 主程序设计.....	- 21 -
4.2 PID 算法程序设计.....	- 22 -
4.3 温度检测程序设计.....	- 23 -
4.4 温度控制程序设计.....	- 24 -
4.5 按键程序设计.....	- 25 -
4.6 LCD 显示程序设计.....	- 26 -

4.7 声光报警程序设计	27 -
5 系统仿真与实验调试	28 -
5.1 仿真设计	28 -
5.2 参数整定	29 -
5.3 仿真结果	30 -
结论与展望	33 -
致 谢	34 -
参考文献	35 -
附录 A 硬件原理图	37 -
附录 B PCB	38 -
附录 C 程序	39 -
附录 D 主要参考文献的题录及摘要	43 -

插图清单

图 2-1 PID 控制原理框图	- 4 -
图 3-1 系统总体方案框图.....	- 9 -
图 3-2 STM32F103C8T6 封装引脚图	- 10 -
图 3-3 电源电路.....	- 10 -
图 3-4 时钟电路.....	- 11 -
图 3-5 启动电路.....	- 12 -
图 3-6 CH340G 电路	- 12 -
图 3-7 SWD 电路.....	- 13 -
图 3-8 复位电路.....	- 14 -
图 3-9 MAX6675 引脚图	- 15 -
图 3-10 数据格式.....	- 15 -
图 3-11 温度检测电路.....	- 16 -
图 3-12 温度控制驱动电路.....	- 17 -
图 3-13 LCD1602 电路图.....	- 18 -
图 3-14 按键电路图.....	- 19 -
图 3-15 声光报警电路图.....	- 20 -
图 4-1 主程序流程图.....	- 22 -
图 4-2 增量式 PID 控制算法程序流程图	- 23 -
图 4-3 温度检测流程图.....	- 24 -
图 4-4 温度控制流程图.....	- 25 -
图 4-5 按键流程图.....	- 26 -
图 4-6 显示程序流程图.....	- 27 -
图 4-7 声光报警程序流程图.....	- 27 -
图 5-1 PROTUES 仿真图.....	- 29 -
图 5-2 50℃温度-时间变化折线图	- 31 -
图 5-3 60℃温度-时间变化折线图	- 31 -

图 5-4 70°C温度-时间变化折线图 - 31 -

表格清单

表 3-1 启动模式.....	- 11 -
表 3-2 LCD1602 引脚功能.....	- 17 -

恒温烤箱系统的设计

（电气与电子工程学院 20 届自动化 1601 班） 指导教师：张松林

引言

随着社会的发展，烤箱进入了越来越多的家庭中，人们可以使用恒温烤箱加热食物做出美味的熟食。本设计恒温烤箱系统主要的工作内容是对温度进行检测和控制，对温度控制的准确性将直接表明了恒温烤箱系统的性能。温度具有很强的滞后性，想要完成对温度的准确控制需要采取一套表现优异的温控算法，这对系统的工作性能表现和能源节约都具有现实意义。本设计采用 STM32 微控制器作为恒温烤箱系统的控制核心，使用单片机作为系统控制的核心，有着操作简单、工作速度快、电量消耗小、体积小等方面的优点，很适合应用在类似烤箱这类家用电器中。

在恒温烤箱系统的设计过程中，系统的控制算法是本设计中最为重要的部分，因此对于自动化专业的学生来说，学习并掌握自动控制方面的相关知识是特别重要的。在本次的设计中，采用增量式 PID 作为恒温烤箱控制系统的温控算法，此算法可以将烤箱的温度恒定保持在设定温度允许误差范围之内。本次的毕业设计要求我完成产品开发的整套工作,这对我来说是一次很好的锻炼机会。

本次设计的主要内容有：

- （1）设计系统控制算法；
- （2）设计系统硬件；
- （3）设计系统软件；
- （4）设计系统仿真；

在本次的毕业设计中，需要仔细分析选择不同的电子器件、设计各模块的功能，并绘制具体的硬件电路图，在这个过程中大大提升了个人的设计能力。

1 概述

1.1 研究的背景

现在人们对生活品质的追求越来越高，恒温烤箱已成为现代家庭中经常使用的电器。使用恒温烤箱制作各种食物，需要恒温烤箱对温度的控制比较准确，否则就无法制作出美味的食物。这也就需要烤箱产品的开发人员能够开发出温控性能较好的温控系统，使烤箱对箱内温度控制更加准确。

21 世纪科学技术高速的发展，电力电子技术和单片机的应用空前广泛，自动控制技术越来越成熟，带动了相关生产工艺的取得了巨大的进步。虽然在近年来，温度检测和控制方面的理论基础发展的已经很成熟了，但是在实际应用中，怎样能保证快速地、实时地对现场温度进行精准采样，又要确保温度数据在传输过程中不会发生改变，并且能根据所测量到的实时温度数据对现场温度进行比较精确的控制，仍然是当前需要解决的问题。

1.2 研究的意义

在我们的日常生活中，经常能接触到的一个名词就是温度。相应地，温度的测量与控制也常被人们在生活和生产中的所提起，它在各行各业中都发挥着非常重要的作用。温度是一个基本的物理名词并且很常见的，它所表示的是周围物体的冷度与热度。在生活中，任何物理、化学过程和都与温度有着密切关联的，这些物理、化学过程又与生活和生产相关。

在生产的过程中，需要对生产中各个环节的温度进行精准的检测与控制，对温度测量与控制的准确性，与生产的产品质量、安全性、生产效率和节能指标相关联，温度的测量和控制已在各个领域引起了相当大的关注。

随着智能化、自动化时代的到来，现在都追求设备操作简单、无需人过多的干预，设备就能按照人们的预期进行运行。温度的测量与控制如果是由人工进行操作，那么温度的恒定控制很难达到要求。智能化和自动化的温度控制系统的研究设计，将对节约人力、降低消耗方面会有很大的帮助。

因此，对于温度控制系统的设计与研究具有极其现实的重要意义。

1.3 研究的内容

本课题将设计一款适用于恒温烤箱的温控系统，本系统设计的重点是恒温控制，它需要可以适应环境温度的变化并能精确调节、保持温度。该控制系统以增量式 PID 为控制器的控制算法，此算法原理非常简单并且有着非常优秀的控制性能。在温度控制领域，使用具有 PID 算法的温度控制器来控制温度，具有结构简易、成本低以及高精度等优点，可以达到精准测温控温的要求。同时配合温度的数据采集单元和控制执行单元，共同完成对温度的恒定控制。

2 PID 控制算法

2.1 PID 介绍

PID 控制系统是被控对象与 PID 控制器共同构成的，控制器的 PID 控制算法是由三个部分组成：比例、积分、微分部分，它的工作原理框图如图 2-1 所示。比例部分的作用是系统存在偏差可以立即产生调节效果，迅速减小被控对象的偏差。引入积分的部分作用消除系统存在的稳态误差，使被控对象可以达到目标值。通过引入微分部分可以预测到系统偏差变化趋势并对偏差变化迅速做出响应，可以解决控制系统的响应滞后的问题，从而对发生偏差变化时，系统的响应速度有所提高。PID 算法不仅考虑控制对象的当前状态数值，而且还考虑控制对象最近一段时间的状态数值变化与过去一段时间的状态数值，从三个方面共同确定当前输出的控制信号。仅需对比例部分系数、积分部分系数、微分部分系数三个参数的数值通过调整，大多数控制系统的闭环控制就能够获得较好的效果。将比例部分、积分部分、微分部分的运算控制结果进行累加求和，得出最终控制量 $u(t)$ ，使用这个控制量对被控制对象进行控制，能够实现良好的控制效果。采用此算法可极大改善恒温烤箱的控制效果，就像有经验的控制领域专家手动操作一样。

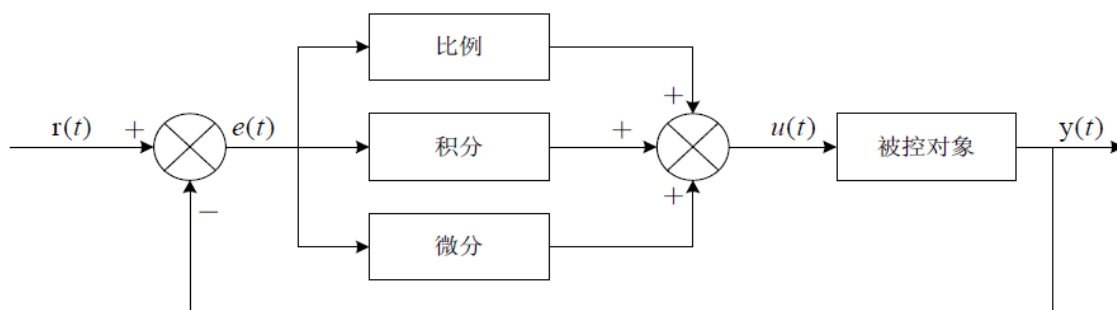


图 2-1 PID 控制原理框图

一般来说 PID 控制具有以下优点：

1. 控制算法简单、使用方便，它很容易以各种方式实现。非常合适对机械、流体、电子等执行机构的控制，方便各种工业控制应用，因此 PID 控制算法常被各种标准的控制装置和模块的所采用。
2. PID 控制参数相对较少，其参数的整定易完成。各参数的控制效果明显且相互干扰少，这使 PID 控制参数的整定更加方便，其参数整定有一套固定的方法，按照整定步骤进行整定，很容易就能整定出合适的 PID 参数。

3. PID 控制的鲁棒性非常强，此算法具有很强的适应能力，在被控对象工作环境发生变化或者出现干扰时，它也能适应这种变化。该系统是一个带有闭环反馈的控制系统，不用像前馈控制那样为每一个干扰扰动都设计出单独的控制措施，这样还能简化系统结构。被控对象自身的时变性和非线性属性也都对控制的结果影响相对比较小，系统控制质量对被控对象的特性变化不太敏感。

4. PID 控制算法具有简单的智能控制思想，PID 控制中的比例控制根据当前值与设定值偏差的立即产生控制作用，会对偏差进行消减；积分控制是基于目标值与当前值偏差的不断连续积累，积分部分可以将偏差变化较为缓慢的、偏差幅度较小的，但是偏差仍然存在没有消退的偏差给消除掉；当被控对象有偏差变化时微分部分控制便能感知到，并可以提前对未来的偏差做出调整，有一定的预见性。

基于这些优点，PID 反馈控制系统被广泛用于各个行业的自动控制系统中。现在大型现代化的生产工厂控制回路都多达一百到两百条，这其中大多数的控制都是使用 PID 控制算法来进行控制的。仅当被控对象使用 PID 控制无法满足生产的要求，才去考虑使用更高级的控制方法来代替 PID 控制。

PID 控制算法是通过原先的设定数值和测量到的被控对象的当前状态数值进行相减，进而获得到系统当前存在的偏差数值 $e(t)$ ，然后通过不断的比较来实现偏差值对比例、积分和微分部分的不断调整，再将调整后得到的输出值 $u(t)$ 作用于被控对象，经过一段时间持续的采集和控制，使其能稳定保持在输入值允许误差范围内，PID 控制算法的连续形式如下式(2-1)所示：

$$u(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2-1)$$

其中： Kp ——PID 的比例系数。

T_i ——PID 的系数，也称积分时间。

T_d ——PID 的微分系数，也称微分时间。

PID 控制算法分为两种，分别是位置式 PID 和增量式 PID，这两种算法只是在形式上有所不同，但是它们的控制思想和控制效果都是相同的。

2.2 位置式 PID

模拟控制不仅可以对被控对象的反馈进行连续的采样，而且还能对控制对象进行连续的控制。计算机控制器无法做到对被控对象的反馈进行连续采样，它都是以间隔采样

的方式对反馈进行采样，只能根据控制器在采样时刻被控对象的目标值和当前值的差值，然后经过控制器的运算获得合适的输出控制量，无法做到连续采样和控制。由于计算机控制器的这个特性，连续 PID 控制式(2-1)中存在连续的积分项、微分项，因此不能直接在计算机控制器中应用。需要将连续 PID 控制式(2-1)进行近似转换，转换为离散公式，才能在计算机控制器中应用。具体的转换过程为，将 k 表示计算机采样的序数，将 T 表示计算机控制器采样的周期时间，于是 kT 就为采样的时间，用矩形法数值积分来替换积分，用一阶向后差分来替换微分，这样便能完成离散化的转换，参与转换的公式如下式(2-2)所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} t \approx kT (k = 0, 1, 2, 3 \dots) \\ \int_0^t e(t) dt \approx T \sum_{j=0}^k e_j \\ \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \end{array} \right\} \quad (2-2)$$

然后把公式(2-2)中的相关转换公式代入(2-1)中，经过整理便可以得到离散化形式的 PID 公式，表达式如式(2-3)或式(2-4)所示。

$$u_k = k_p \left[e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e_j + T_d \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \right] \quad (2-3)$$

或

$$u_k = k_p * e_k + k_i \sum_{j=0}^k e_j + k_d (e_k - e_{k-1}) \quad (2-4)$$

其中： k ——采样序号， $k=0, 1, 2, \dots$ ；

u_k ——第 k 次采样时刻控制输出量；

e_k ——第 k 次采样时刻偏差；

e_{k-1} ——第 $k-1$ 次采样时刻偏差；

k_p ——比例系数；

k_i ——积分系数， $k_i = k_p * \frac{T}{T_i}$ ；

k_d ——微分系数， $k_d = k_p * \frac{T_d}{T}$ ；

如果离散系统采样的周期足够小，那么式(2-3)或式(2-4)的计算结果就已经非常的接近连续系统的计算结果，并且离散控制系统的控制过程也是非常接近连续控制系统的控制过程。

PID 式(2-3)或式(2-4)控制算法的运算结果给出了所有控制量的大小，所以此 PID 算法被称为位置式 PID。这种算法的缺点是：因为它的输出控制量都是全量输出的，所以每个输出的控制量都与系统过去的工作状态相关，目标值与当前值的偏差 e_k 在计算的过程中不停的积累，系统的运行时间越长，控制器的计算量将会却越来越大。并且由于控制器输出的控制量 u_k 与被控对象的工作量相同，在控制器出现故障或者运算数值已经超出了计算机的运算范围，则输出 u_k 将会发生很大变化，这将导致执行器工作状态发生较大变化，从而可能导致严重的生产事故，在实际生产中绝对要避免出现的。

2.3 增量式 PID

控制系统使用增量式 PID 进行系统的控制时，它每一次输出的控制数值仅是前一个输出控制数值的增加量 $\Delta u_{(k)}$ 。由于运算后得到输出的控制量 $\Delta u_{(k)}$ 对应于本次被控对象控制量的增量，并不是被控对象的实际控制量。因此，执行器的控制算法中还需增加控制量累加的功能，将增量值与上次实际控制量相加得到的实际控制量便是本次被控制的实际控制量。

采用增量式 PID 的控制系统只需要知道本次偏差、上次偏差、上上次偏差数据就能计算出控制增量，不需要计算大量的历史偏差累积数据，计算工作相对比较简单。控制器输出是每个实际控制量的增加量，防止了实际控制量误差的累加，它的控制效果要好于使用位置式 PID 控制的控制效果。

增量式 PID 公式可以从式(2-2)中进行推导出来，第 k-1 采样时刻式(2-2)的控制输出值：

$$u_{k-1} = k_p \left[e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e_j + T_d \frac{e_{k-1} - e_{k-2}}{T} \right] \quad (2-5)$$

将式(2-2)和式(2-5)两式相减，再对相减后的数值进行整理便得到增量式 PID 的表达式，具体的运算过程如下所示：

$$\begin{aligned} \Delta u_k &= u_k - u_{k-1} \\ &= k_p \left(e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_i} e_k + T_d \frac{e_{k-2} - e_{k-1} + e_{k-2}}{T} \right) \\ &= K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e_k - k_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) e_{k-1} + k_p \frac{T_d}{T} e_{k-2} \\ &= K1 * e_k - K2 * e_{k-1} + K3 * e_{k-2} \end{aligned}$$

其中 $K1 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right)$

$$K_2 = k_p \left(1 + \frac{2Td}{T} \right)$$

$$K_3 = k_p * \frac{T_d}{T}$$

增量式 PID 有以下三点优点：1 在算法的运算过程中没有出现累加，输出增量 Δu_k 的数值仅和最后三个偏差数值相关，很容易通过加权获得更好的控制效果；2 控制器的输出仅是实际输出量的增量，即执行对象控制量的相应变化，当机器出现了故障时，所影响的范围比较小，不会产生影响到生产的严重事件；3 当控制器手动和自动相互切换到，可以进行无干扰切换影响较小。

从以上两种控制算法的对比中可以看出，增量式 PID 在温控方面是要比位置式 PID 更具优势的，所以本设计采用增量式 PID 作为烤箱系统的控制算法。

3 硬件设计

3.1 系统总体设计

本硬件系统需要具备温度数据的采集和温度控制的功能，还需具备显示、设定温度和报警的功能。此系统主要以温度恒定控制为主，系统使用单片机作为控制的核心器件，与显示电路模块、温度的控制驱动电路模块、声光报警电路模块、温度的检测电路模块、按键电路模块进行互相配合使用，共同组成恒温烤箱系统，完成对烤箱温度的准确测量与控制，系统总体方案框图如图 3-1 所示：

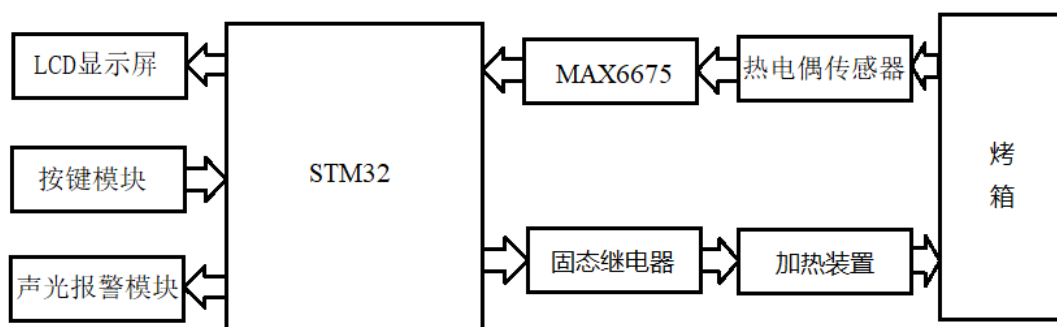


图 3-1 系统总体方案框图

系统运行时，通过 K 型热电偶传感器采集恒温烤箱内的实时温度，然后通过 MAX6675 芯片将采集到的温度数据传递给 STM32 微控制，STM32 微控制将读取到的数据通过 PID 算法对数据进行处理后，通过输出 PWM 控制波形来实现固态继电器的接通与关断，进而控制烤箱内的温度，同时在 LCD 显示屏上显示当前目标温度数值、设定温度数值和加热时间，通过按键模块可以改变设定温度与加热时间。在系统运行异常时，声光报警模块能够发出报警提示。

3.2 控制器最小系统设计

3.2.1 MCU

本设计的控制芯片采用 ARM 公司所设计的，32 位高性能 STM32C8T6 微控制器，该控制器使用的是 Cortex-M3 内核。工作电压为 2~3.6V，工作频率最高可以达到 72MHz。IO：其中有 37 个引脚为 IO 端口，存储：芯片内部自带 20K 字节的 SRAM 与 64K 字节的 FLASH，模拟端口：2 个 16 位的 ADC，通信接口：2 个 I2C、3 个 USART、2 个 SPI、1 个 USB 和 1 个 CAN，计时器：2 个高级定时器、3 个普通定时器、2 个基本计时器、2 个看门狗、2 个 RTC，STM32F103C8T6 封装引脚图如图 3-2 所示：

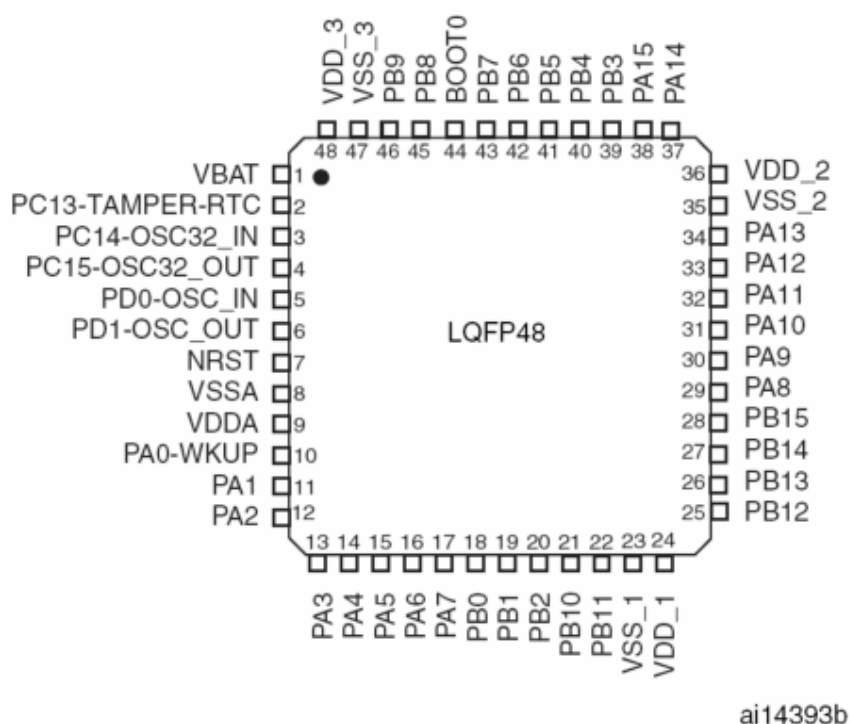


图 3-2 STM32F103C8T6 封装引脚图

3.2.2 电源电路

该款 MCU 采用 3.3V 电压供电，因此采用常见的由 Micro USB 提供 5V 电压，通过 EM6211 稳压芯片实现将 5V 电压降至 3.3V 为微控制芯片提供工作电压，5V 电压与降压后的 3.3V 同时也为其它器件提供所需的工作电压。Micro USB 接口的 D+、D-引脚配合 CH340 芯片，连接到 STM32C8T6 单片机的 USART 引脚，还能实现程序的下载。ME6211 稳压芯片可以输出 3.3V 电压，输出 100mA 电流，静态功耗只有 50uA，此芯片是降压需求的理想之选。

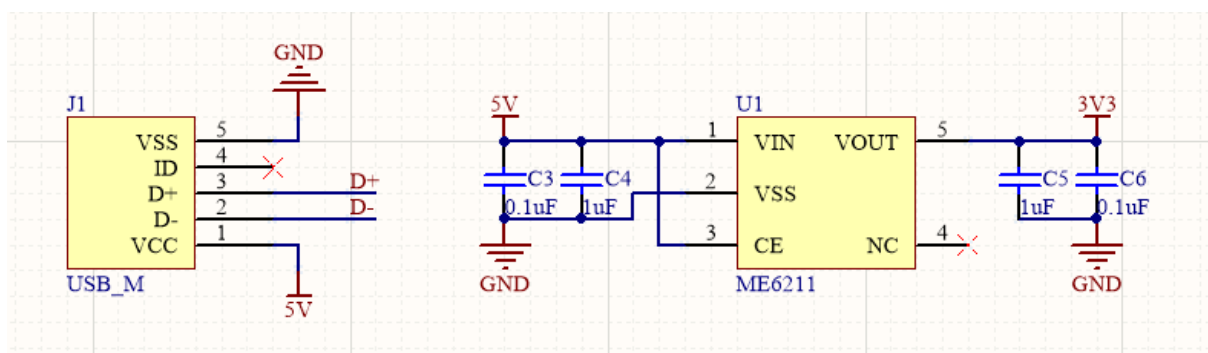


图 3-3 电源电路

3.2.3 时钟电路

STM32 微控制器内部自带两个晶振时钟，但容易不稳定，使用外置的时钟电路可为微控制器提供的时钟信号更为精准。时钟电路的设计采用由两个 22pF 的电容器和一个 8MHz 晶振的组成，控制器能将此 8MHz 晶振倍频到 72MHz，供自身使用，时钟电路硬件设计电路图如下图 3-4 所示：

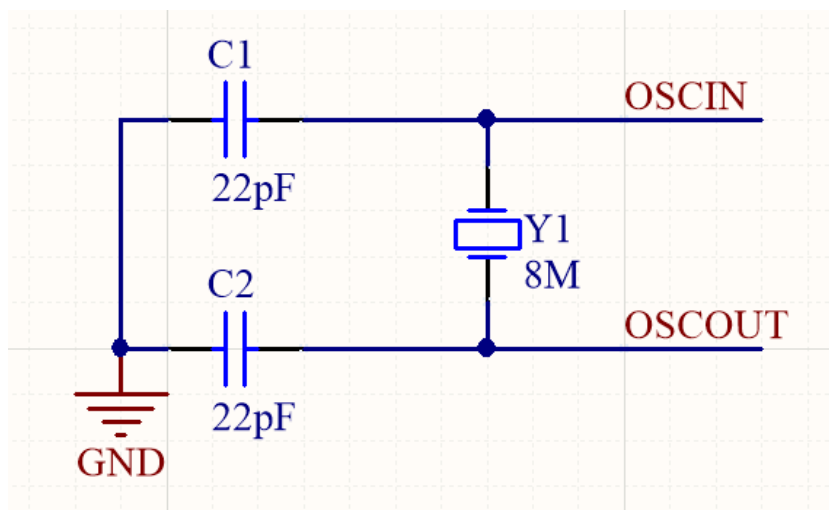


图 3-4 时钟电路

3.2.4 启动电路

STM32 微控制器定义的系统启动模式如表 3-1 中所示，它是由 STM32 微控制器的 BOOT0 和 BOOT1 引脚控制的，可以配置 BOOT0 和 BOOT1 引脚的高低电平，将微控制器设置为不同的启动模式。

表 3-1 启动模式

启动模式选择引脚		启动模式
BOOT1	BOOT0	
X	0	以主闪存存储器作为启动区域
0	1	以系统存储器作为启动区域
1	1	以内置 SRAM 作为启动区域

该方案提供了两种程序下载的方法：串行下载和 SWD 下载。在使用串口下载程序时，程序下载前先将启动引脚配置成 BOOT0=1，BOOT1=0，下载完成后再将 BOOT0 配置为 1，然后进行复位程序运行。在使用 SWD 下载调试程序时，直接将 BOOT0 配置为 0 就可以了。通过 BOOT 启动模式选择的电路被设计为 3×2 排针连接器，以实现启动模式的选择。如图 3-5 所示。由于串口下载使用了 CH340 芯片，完成了程序下载、运行时 BOOT 引脚的自动配置，因此，只需将 3-5、4-6 排针引脚进行短接即可。

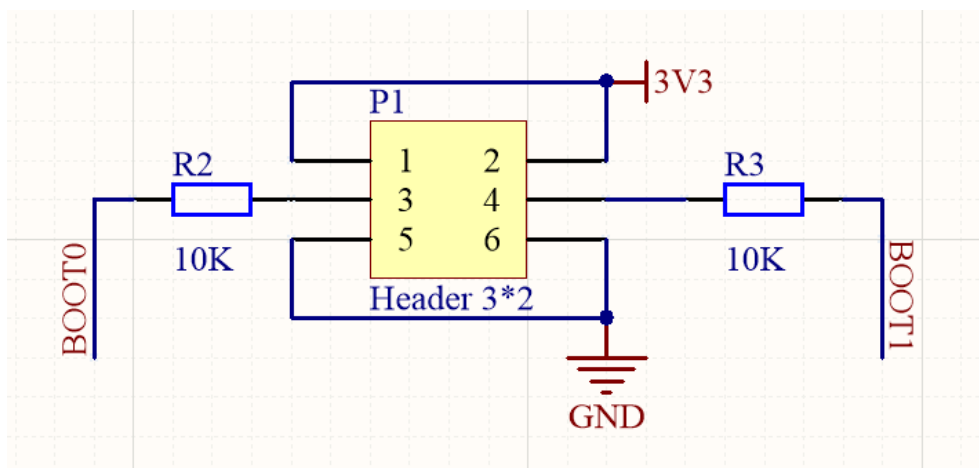


图 3-5 启动电路

3.2.5 下载调试电路

为了避免下载程序时还需手动切换 BOOT，过程比较繁琐，减少开发人员工作量。通过串口转 USB 芯片 CH340G 的 DTR# 与 RTS# 芯片引脚，可以实现使用串口进行程序下载时自动控制 BOOT 引脚的电平变化，完成程序的下载。通过 CH340G 芯片间接的控制 STM32 微控制器的 BOOT0、BOOT1 引脚电平变化，达到一键下载并运行程序的效果，CH340G 芯片的连接电路图如下图 3-6 所示。

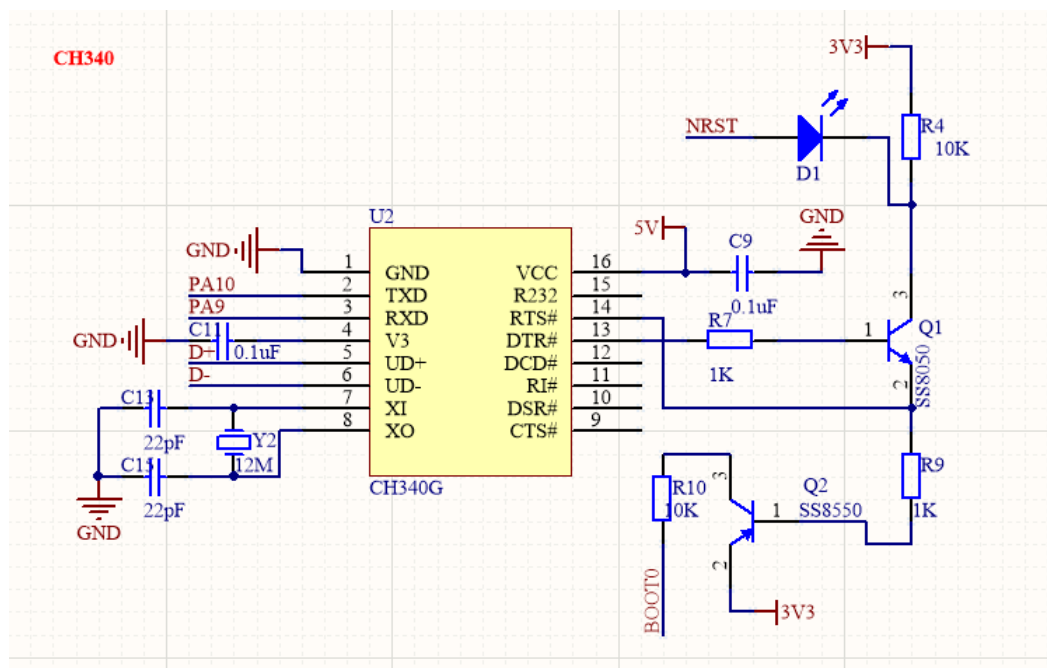


图 3-6 CH340G 电路

应用中，最常见的调试接口是 JTAG 与 SWD 接口，但是 JTAG 接口使用多达 20 个接口引脚，而 SWD 接口仅使用 4 个接口引脚：VCC、SWDCLK、SWDIO、GND，就可以实现。高速模式下使用 SWD 比 JTAG 更为稳定，下载程序的速度能够高达 10M/s，

同样也可以进行下载与调试程序。本方案的下载电路使用 SWD 接口，其电路如图 3-7 所示。

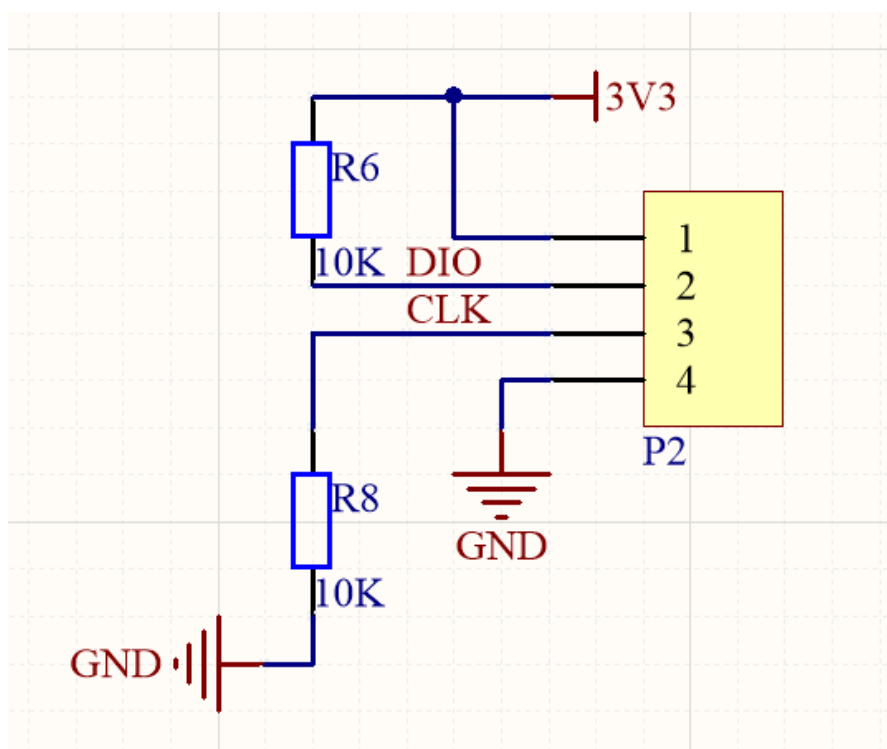


图 3-7 SWD 电路

3.2.6 复位电路

将控制器的 RESET 管脚保持 20us 的低电平状态，控制器的复位便可以完成。该复位电路方案设计可以实现上电复位与按键复位，其工作原理为上电时电容开始持续充电，电容充电到 3.3V 的时间为 0.1s，此电容充电过程中复位引脚缓慢的从低电平变为高电平，完成上电复位。在按下复位键时，同时电容开始放电，复位引脚变为低电平，抬起时充电，复位引脚又慢慢变为高电平，完成按键复位，其复位电路的硬件电路图如图 3-8 所示：

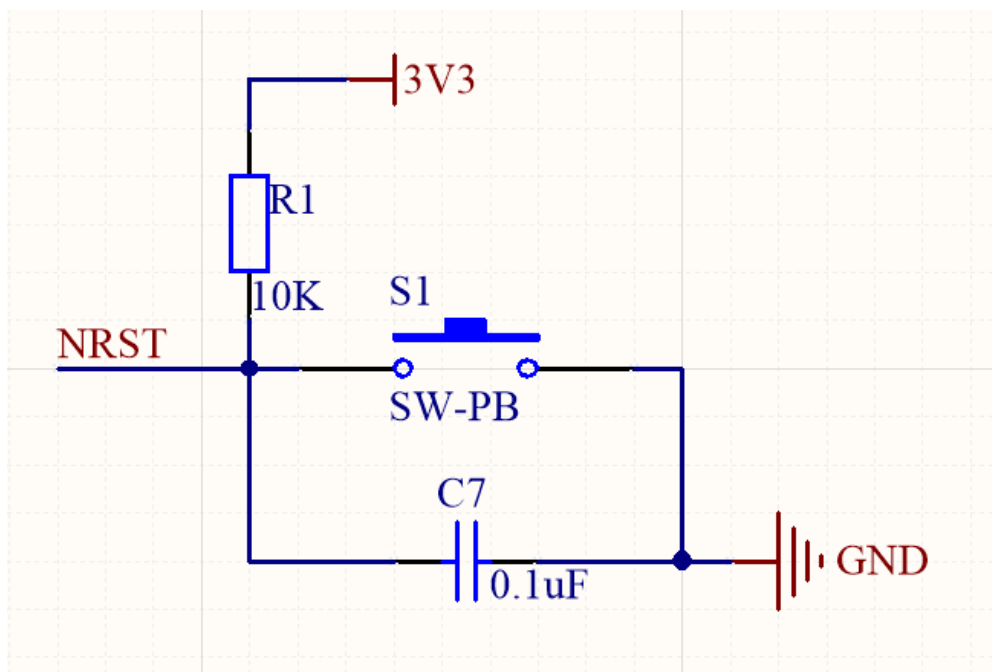


图 3-8 复位电路

3.3 温度检测模块

温度检测模块由 K 型热电偶与 MAX6675 共同构成温度检测单元。

K 型热电偶是一种温度检测元件，K 型热电偶一般与其它仪表：显示型仪器、电子调节型仪器和记录型仪器相配合使用。K 型热电偶的检测精度较高，这是因为 K 型热电偶和被测量对象直接进行接触采集的，由于没有中间介质的影响，所以采集到的数据更加可信。温度测量的范围非常广，从 -200°C ~ 1300°C 范围内的温度均可以进行测量。K 型热电偶使用非常的方便，其结构构造也很简单，它是两种不同的金属丝所组成，在热电偶的外部有保护热电偶的套管，热电偶的形状与细棒相似。由于其外形较小，采集温度时不受被测对象的大小和开头限制，安装与使用起来非常的方便。K 型热电偶具有灵敏度高、线性度好、抗氧化能力强、热电动势大、稳定性和均匀性都较好的优点，并且其价格较为低廉。K 型热电偶为工业中的许多项目带来了极大的方便与用途，被用户所广泛使用。

使用 MAX6675 芯片对将 K 型热电偶所采集到的烤箱内部温度数据进行传递，再将温度数据传递给 STM32 微控制器进行运算。MAX6675 是美信公司推出的一款支持 K 型热电偶接口的 12 位 ADC 转换芯片，SPI 数据输出格式，带有温度补偿功能，冷端集成在芯片的内部，测量范围为 0°C ~ $+1023.75^{\circ}\text{C}$ 。配合微控制器，可直接用于热电偶输出量的读取，其芯片引脚图如图 3-9 所示。

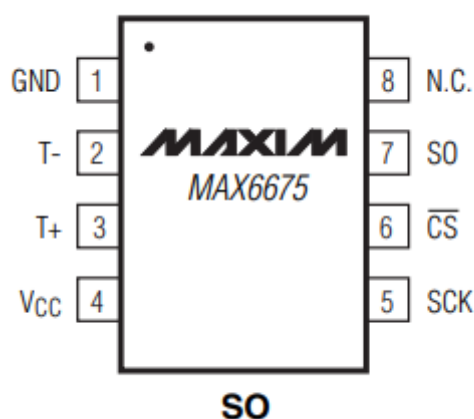


图 3-9 MAX6675 引脚图

各引脚定义如下：

GND, VCC: 电源端

T-, T+: 热电偶的冷端和热端，T-应该始终接地。

SO: SPI 数据输出端。

SCK: SPI 时钟信号端。

CS: SPI 片选端。

数据输出格式如图 3-10 所示：

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three- state

图 3-10 数据格式

其中 D15 固定为 0，D14~D3 对应 12bit 数据位，高位在前；D2 数据位指示热电偶是否断开。在正常运行期间，D2 = 0，当热电偶输入端开路时，D2=1，可以凭次位判断系统是否正常工作；D1 为芯片 ID，固定为 0；D0 为三态端。

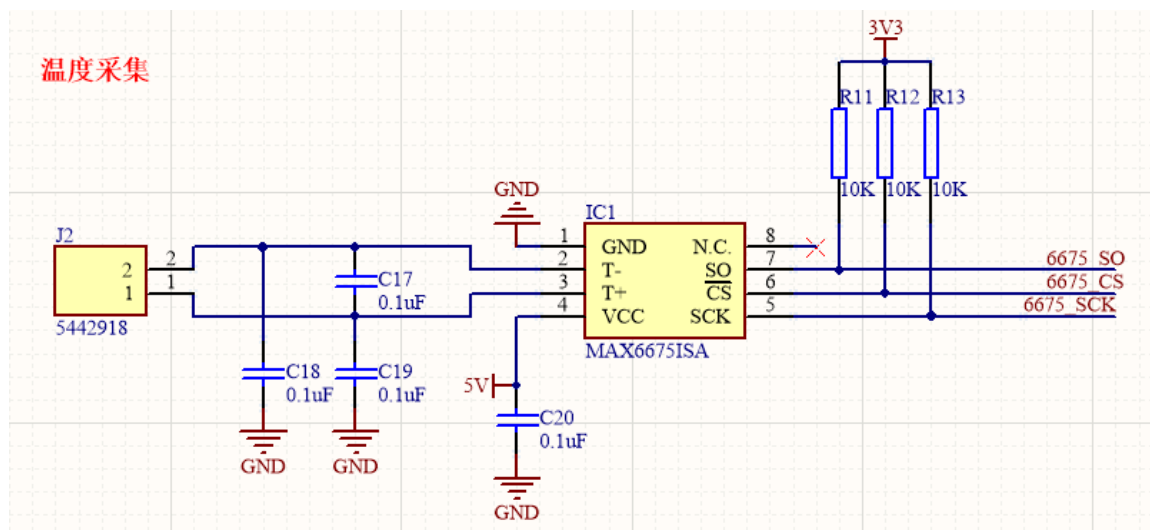


图 3-11 温度检测电路

3.4 温度控制驱动模块

温度驱动模块使用固态继电器来驱动交流电路的接通与关断，固态继电器是非接触式无触点新型开关设备，利用电子元器件（例如双向可控硅、晶闸管、三极管等半导体电子器件）的开关设备特性，可以做到电路的连接和断开没有接触和火花产生的，所以也被称为“无接触开关”。固态继电器是有四个连接端子的有源器件，其中的两个连接端子是输入控制端子，另外两个连接端子是输出控制端子。它有着放大驱动电流的功能，具有隔离装置用来实现控制端子与输出控制端子之间的隔离，固态继电器可通过输入端子的微小的控制信号来直接驱动负载的大电流，非常适合用作大功率装置的驱动开关。与普通的电磁继电器相比较，它有着工作寿命长、接通无触点、安全性高、可靠性强、对外界无干扰、响应速度快等等优点，已被广泛使用。

将固态继电器、保险丝和电阻发热丝串接在 220V 的电路回路中，微控制器的控制端口控制着光电耦合器的接通与断开，光电耦合器的接通与断开控制着三极管的接通与断开，三极管接通与断开控制着固态继电器的接通与断开，进而达到微控制器通过控制引脚间接实现控制发热丝的工作。由于执行端使用 220V 强电压，因此在执行端的 220V 强电压电路中串联一个保险丝，控制端电路中串联一个短接端子，防止危险事件的发生。

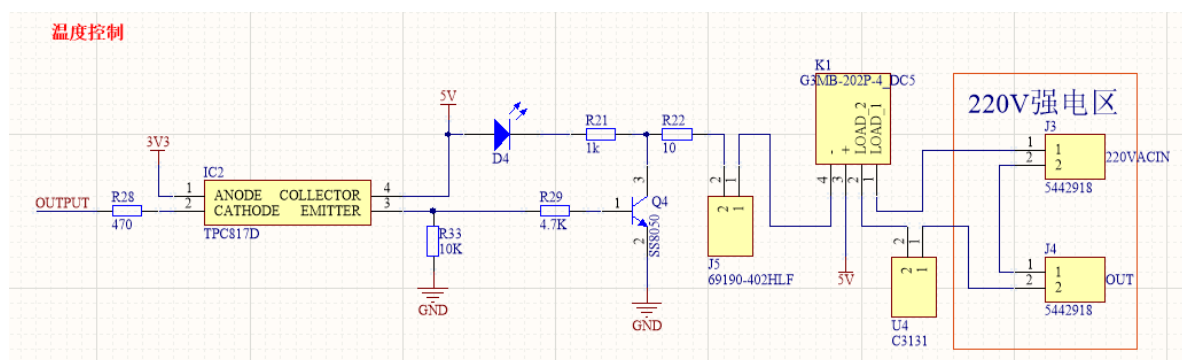


图 3-12 温度控制驱动电路

3.5 显示模块

显示模块使用的显示器件为 LCD1602 显示器，该显示器的共有 16 个连接引脚，能够显示出 32（2 行 16 列）个字符，各个引脚的功能如表 3-2 所示：

表 3-2 LCD1602 引脚功能

序号	符号	说明	序号	符号	说明
1	VSS	电源地	9	D2	数据位
2	VDD	电源正极	10	D3	数据位
3	VL	液晶显示偏压	11	D4	数据位
4	RS	数据/命令选择	12	D5	数据位
5	R/W	读/写选择	13	D6	数据位
6	E	使能信号	14	D7	数据位
7	D0	数据位	15	BLA	背光正极
8	D1	数据位	16	BLK	背光负极

LCD1602 显示模块的硬件连接图如下图 3-13 所示。

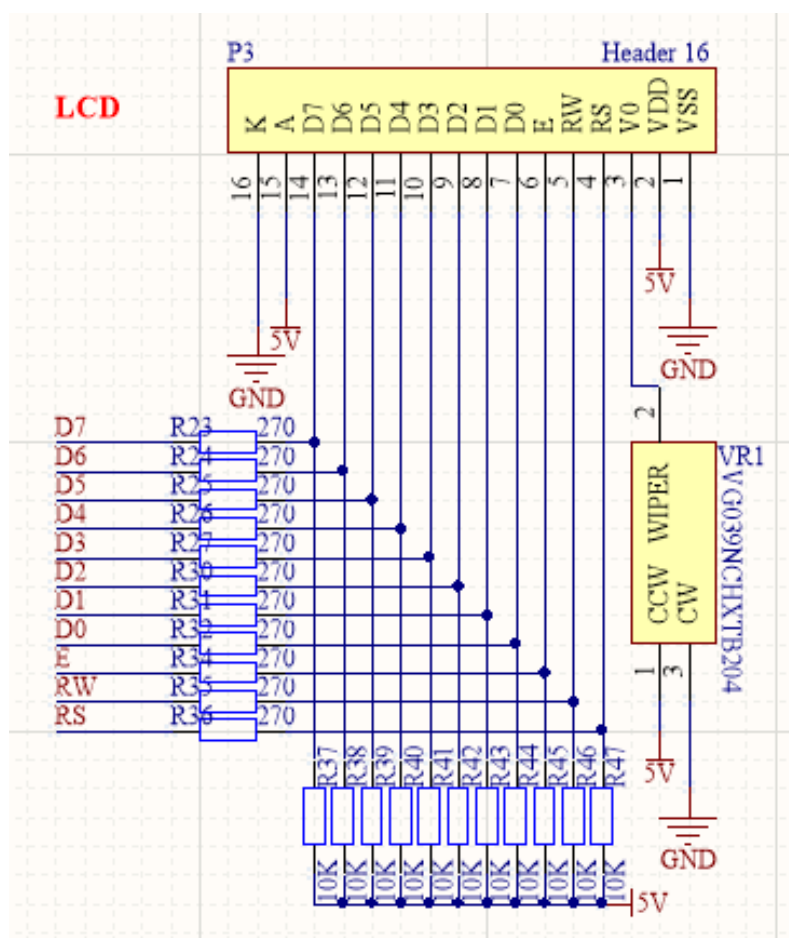


图 3-13 LCD1602 电路图

3.6 按键模块

按键模块采用独立式按键接法，共使用 4 个按键，分别是 K_STAR、K_STOP、K_UP、K_DOWN。按键 K_STAR 控制恒温烤箱的开始进行温度调节，K_STOP 控制恒温烤箱的退出温度调节，K_UP 按钮用于在设置温度时提高温度值、K_DOWN 按钮用于在设置温度时降低温度值。

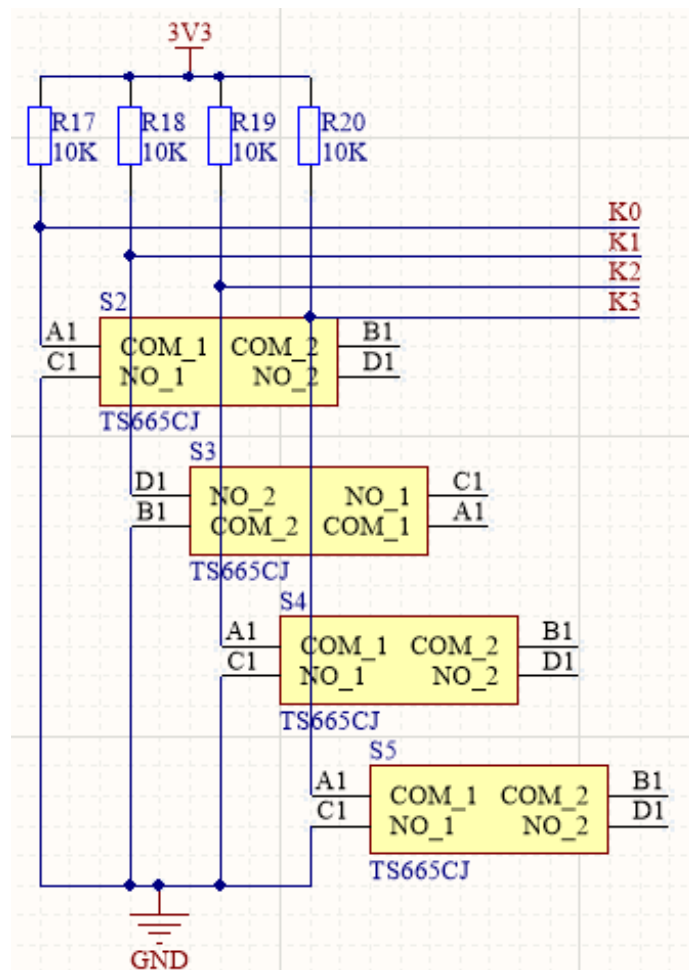


图 3-14 按键电路图

3.7 声光报警模块

声光报警模块使用 LED 灯和无源蜂鸣器，在恒温烤箱发生异常时，系统的蜂鸣器持续发出刺耳响声，LED 灯不停的闪烁，用来提醒用户烤箱此时工作出现了异常状况。具体的硬件连接图如下图 3-15 所示：

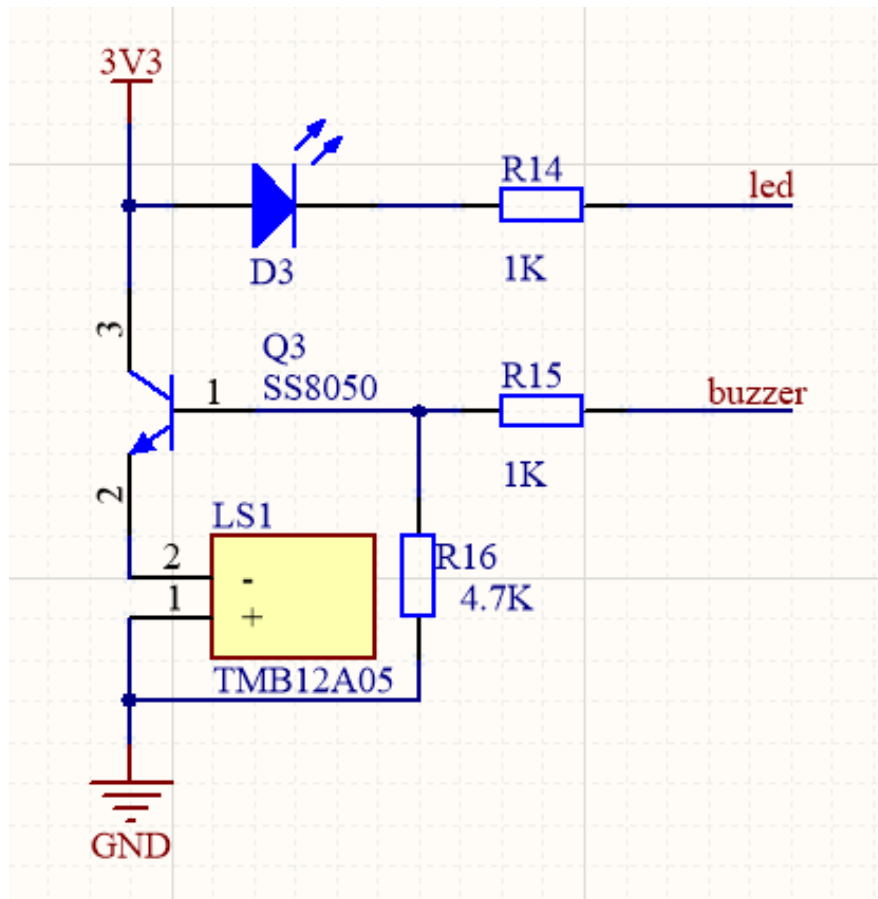


图 3-15 声光报警电路图

4 软件设计

系统的软件设计体现了控制系统的技术要求，也体现了各个模块的工作内容和模块间的相互配合，本设计恒温烤箱控制系统的软件有显示功能、温度检测功能、温度控制功能、声光报警功能、按键功能。

软件使用模块化的设计方式，在系统的各个软件模块中，屏蔽某一软件模块与其它软件模块共享使用的少量变量后，这个模块便可以单独地运行，而无需其它模块参与，这样的设计在系统软件的进行修改、调试以及移植时比较方便。即使将来根据需要扩展系统功能，也很容易编写相应的功能模块并在独立调试后将其添加到系统中。

4.1 主程序设计

主程序是整个程序的核心，它体现了整个系统的运行时工作流程。系统首先对外设和相关模块进行初始化，如 PID 参数、定时器、显示器、MAX6675、执行引脚等，然后系统执行按键程序来设置温度大小与执行时间，直到按下启动键，系统开始执行后续的程序。控制器驱动 MAX6675 采集温度数据，并将采集到温度数据显示到 LCD1602 显示屏上，同时使用该输入值进行 PID 运算，使用运算结果对执行器件进行 PWM 控制之后程序一直这样重复运行。

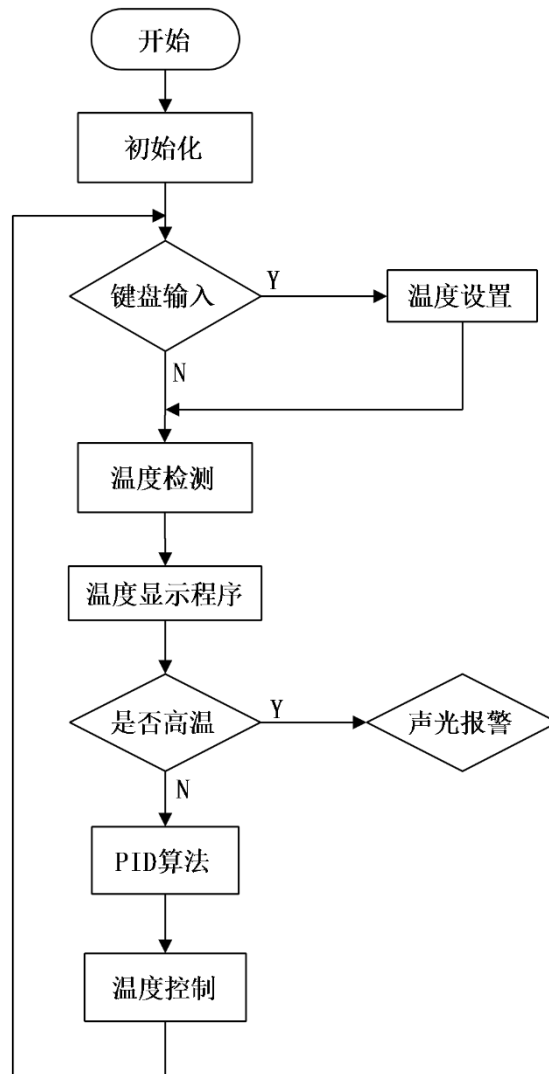


图 4-1 主程序流程图

4.2 PID 算法程序设计

根据先前对其基本思想、具体操作、公式推导的描述，实现基于积分分离的 PID 算法。首先需要对相关参数进行初始化时，根据系统性能要求选择合适的参数设定：采样周期 T 、PWM 控制周期 pwmcycle 、比例系数 K_p 、积分时间 T_i 、微分时间 T_d ，这几个参数便就可以确定系数 K_1 、 K_2 、 K_3 的数值。然后根据控制器采集到的输入值计算每次的偏差数值，便可以通过此算法计算出输出增量。由于此执行机构是加热装置，控制量不能为负值，因此还需要对实际量进行处理。若实际控制量超出 PWM 控制周期，则令实际控制量等于 PWM 周期值；若实际控制量是负值，则令实际控制量等于最小控制量数值，程序流程图如图 4-2 所示。

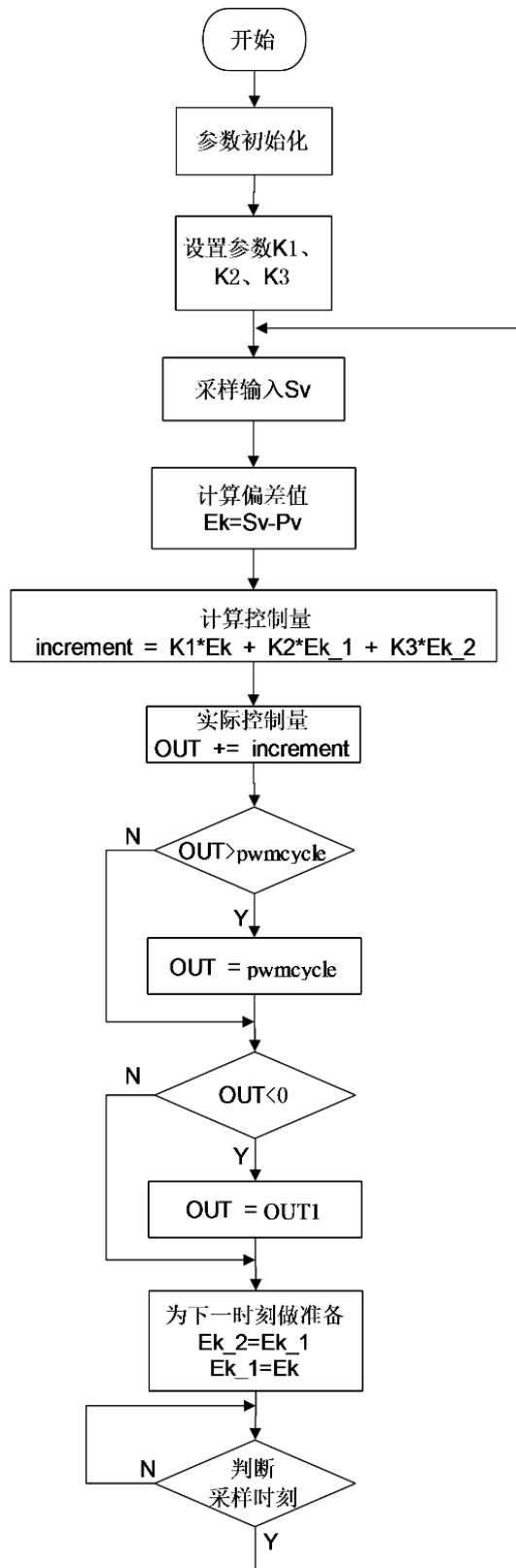


图 4-2 增量式 PID 控制算法程序流程图

4.3 温度检测程序设计

温度检测程序是整个系统的关键部分，只有正确测量到当前温度，才能对控制量数值的进行准确的运算，进而输出所需的控制信号，确保系统温度恒定。由 K 型热电偶测量的模拟量数值将通过 MAX6675 转化为 12 位二进制数字量，通过单片机去读取 MAX6675 对应数据就能获取到温度值。

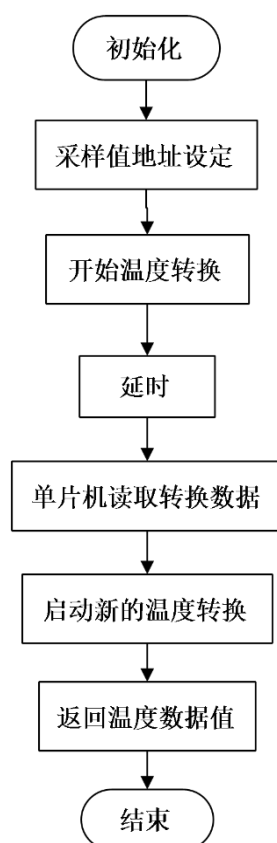


图 4-3 温度检测流程图

4.4 温度控制程序设计

温度控制使用单片机内部的定时器的输出比较功能，来输入 PWM 波形就能控制加热丝的通断时间。首先对 PWM 进行初始化，然后将 PID 算法结果，装入比较寄存器中，就能控制 PWM 波形中高低电平所占时间比，进而达到控制烤箱温度的目的，温度控制程序的具体实现如图 4-4 所示：

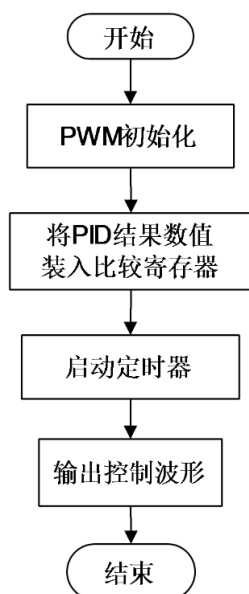


图 4-4 温度控制流程图

4.5 按键程序设计

本设计使用了 4 个按键：开始键、升温键、降温键、停止键。系统刚上电时，需要设定温度、时长，温度、时长设定完成后，按下开始键，系统便开始系统运行。短按升、降温键，设定温度能增、减 5 度，长按升、降温键，设定温度能每隔 1s 增、减 5 度，按键程序的具体实现如图 4-5 所示：

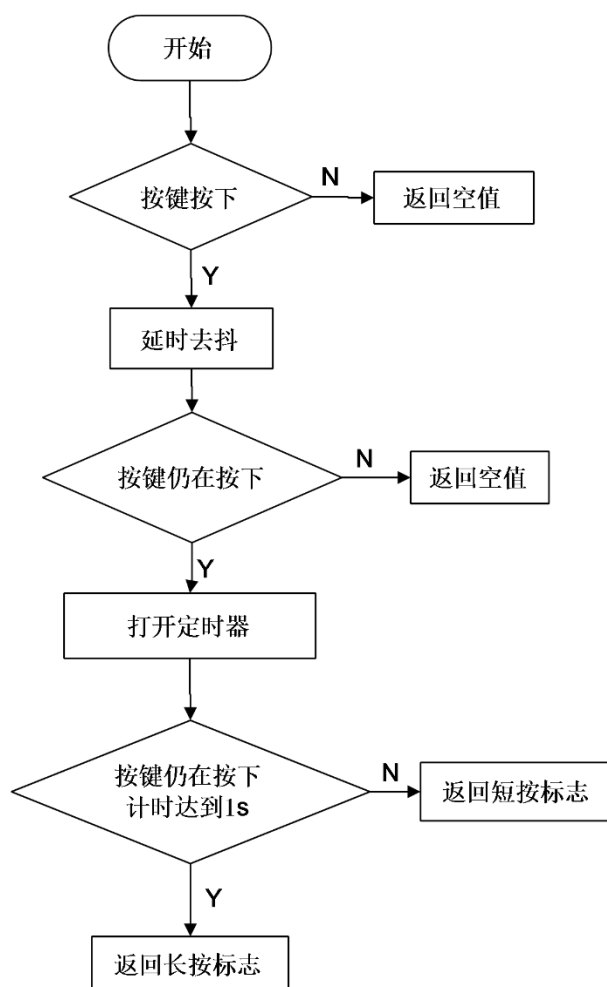


图 4-5 按键流程图

4.6 LCD 显示程序设计

由于 LCD1602 显示单元是慢速显示设备,在执行每个命令之前要先确保该模块已经初始化,在每次写入显示字符还需进行忙检测,当检测到有低电平返回信号就表示它不忙,否则输入的命令都将无效。如果要从显示屏显示字符,需要先把显示字符的地址输入,然后再告诉 LCD1602 显示器要显示的字符,显示程序的具体实现如图 4-6 所示:

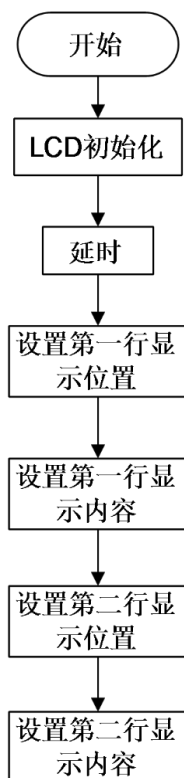


图 4-6 显示程序流程图

4.7 声光报警程序设计

当检测到实时温度高于设定值温度 10 度时，立即停止加热，并使 LED 灯不断闪烁、蜂鸣器持续发出刺耳响声，报警程序的具体实现如图 4-7 所示：

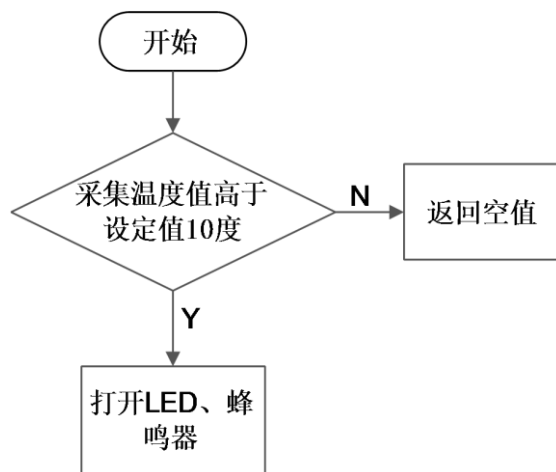


图 4-7 声光报警程序流程图

5 系统仿真与实验调试

5.1 仿真设计

该设计的仿真部分主要由仿真软件 Proteus 实现。Proteus 仿真软件可以实现 stm32 控制器和外围设备的电路和软件的仿真与设计。Proteus 提供许多仿真器件，使用者可以根据仿真需求在该仿真软件上自由添加组合。在制作硬件实物前，开发者可以先在该仿真软件上进行仿真验证，发现问题及时修改，避免损失。在使用 Proteus 进行仿真的前，可以将编译后的程序加载到仿真 MCU 中，在仿真运行时，MCU 可以根据输入信号做出相应的响应，并在显示器上的显示响应处理结果，整个仿真的过程接近于实际硬件的工作过程。

本次设计的加热装置采用 OVEN 作为系统的加热源，对 OVEN 的控制端施加电压便可以控制其加热，它能够通过其 T 端电压变化反应其温度状态。测温元件采用 TCK 进行采集温度，TCK 将采集到的温度数据通过与单片机的连接管脚，将数据传递给 STM32 微控制器，在单片机内进行 PID 算法运算，根据运算的数值对加热装置进行加热，使 OVEN 的温度可以达到设定值并保持恒定，恒温烤箱系统的仿真设计图如图 5-1 所示。

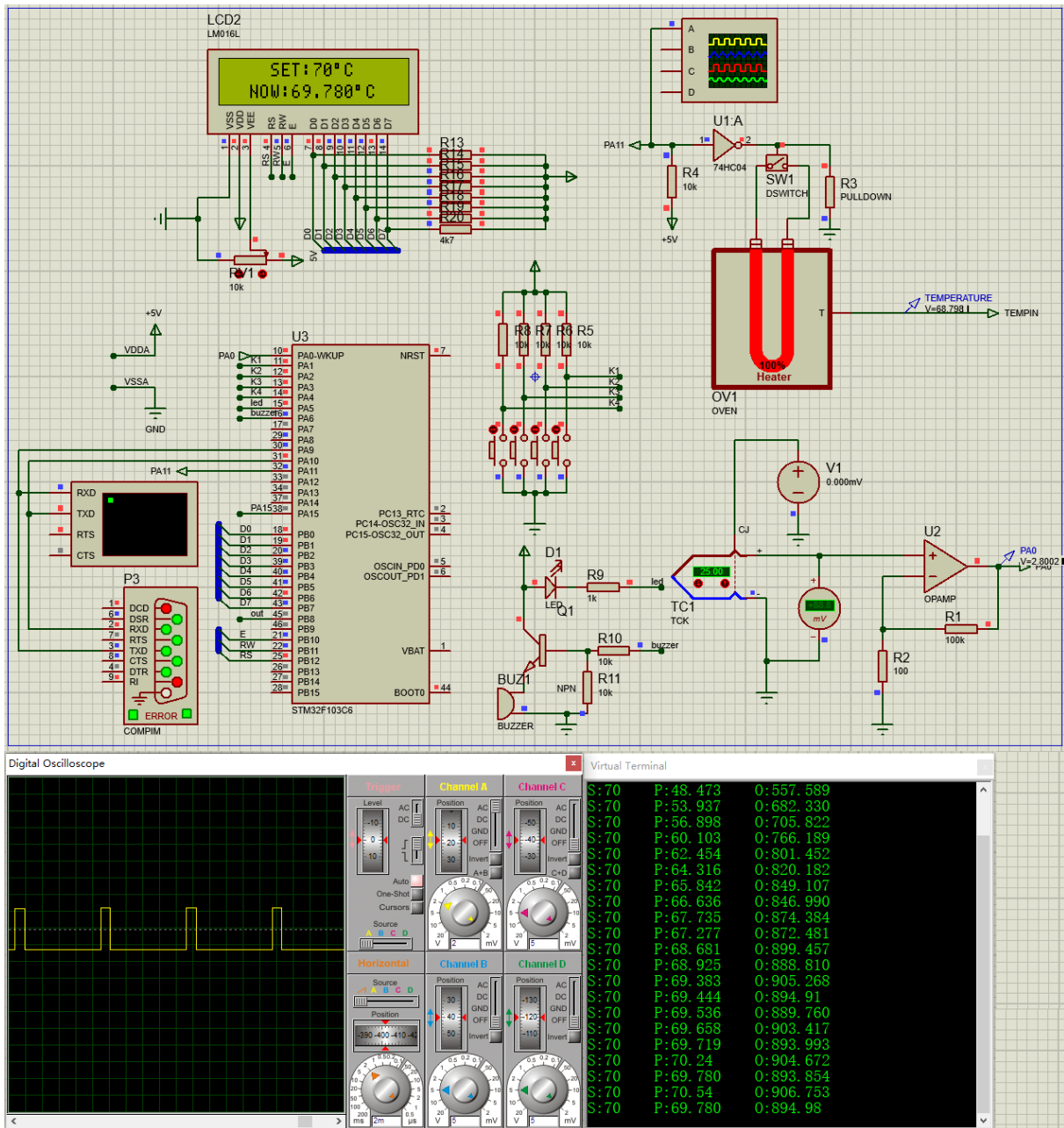


图 5-1 PROTUES 仿真图

5.2 参数整定

(1)时间部分整定

采样与计算时间设置为相同的数值 200us，PWM 控制周期时间设置为 1000us。使用 STM32 内部定时器中断异常处理函数完成温度的采样、计算并输出 PWM 控制信号，保证三个任务可以同时计时、准时执行。

(2)比例部分整定

比例部分参数整定前，需要将积分和微分项消除掉，只使用纯比例进行系统控制。把积分部分系数 T_i 设为一个极大的值再把微分部分系数 T_d 设为 0，积分部分和微分部分就会被消除。然后由小到大的改变 K_p 的数值，并观察系统的响应速度是否够快，直到响应速度可以很快接近目标值并且还会出现一定范围的超调为止。如果仅使用比例部分，系统的静态误差就已经在设计的要求指标的范围以内，而且系统响应的曲线也可以满足设计的要求，则只使用纯比例部分的调节器就可以了，如果不能满足在进行积分和微分参数的整定。经过多次整定最终确定比例参数 K_p 数值为 5。

(3)积分部分整定

如果此系统仅仅只使用纯比例控制进行输出量的控制，系统静态误差不能够满足设计的要求，这时需要添加积分项来进行控制。调整积分部分的系数时，把积分系数 T_i 由很大的数值逐渐的减小（积分控制的作用将会逐渐增大），并能观察到输出的系统静态误差也应是逐渐减小的，直到消除为止（根据性能指标要求）。重复多次实验，直到对消除静差的大小感到满意为止。需要注意的是，此时的过冲量可能会出现大于原始量，这时需要适当减小一些比例系数 K_p 。经过多次整定最终确定积分时间参数 T_i 数值为 4000。

(4)微分部分整定

若系统经上面积分控制和微分控制进行调节后仍无法达到设计要求，此时考虑加入微分控制作用。调整微分部分的系数时，将微分项系数 T_d 从小到大进行整定（积分控制的作用将会逐渐增大），观察超调量与稳定性是否良好。比例项系数 K_p 和积分项系数 T_i 也要进行略微的调整，直到系统的静态和响应速度能够达到设计的要求为止。经过多次整定最终确定微分时间参数 T_d 数值为 2000。

5.3 仿真结果

将控制器目标温度分别设置为 50°C、60°C 和 70°C，通过串口打印出实时温度变化数据，绘制温度-时间变化折线图，观察增量式 PID 对温度的控制是否有效，系统是否存在静态、响应的速度是否够快、误差是否在允许范围内。目标温度分别设置为 50°C、60°C 和 70°C 时的温度-时间变化折线图分别如图 5-2、图 5-3、图 5-4 所示。

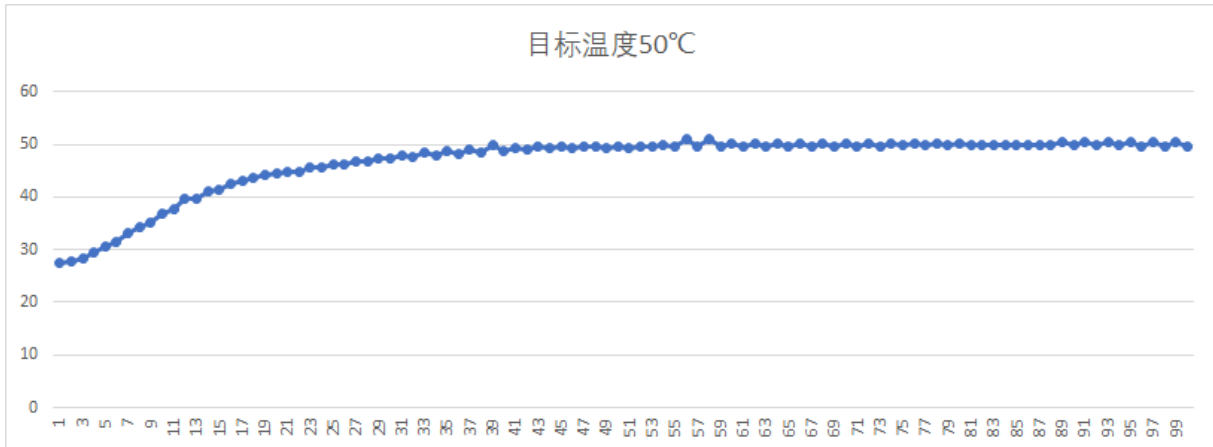


图 5-2 50°C温度-时间变化折线图

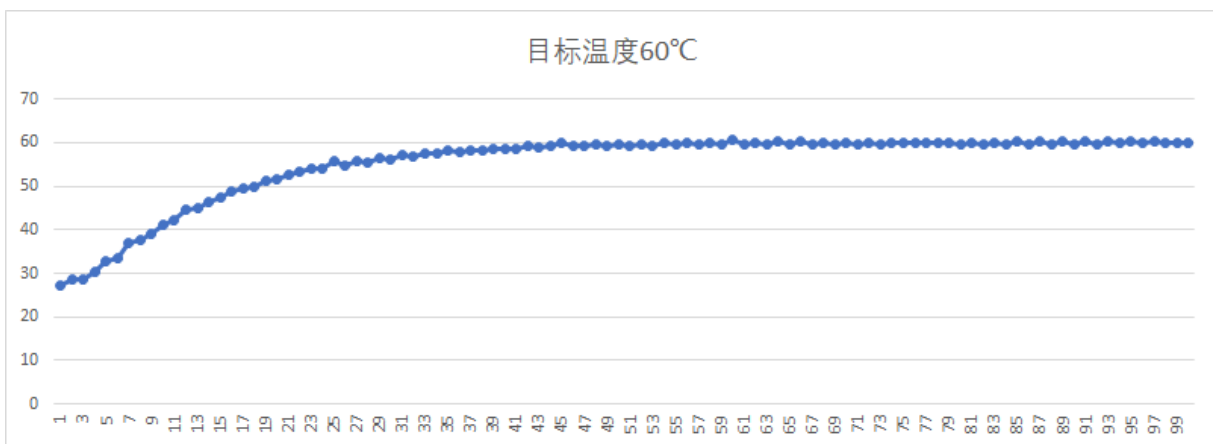


图 5-3 60°C温度-时间变化折线图

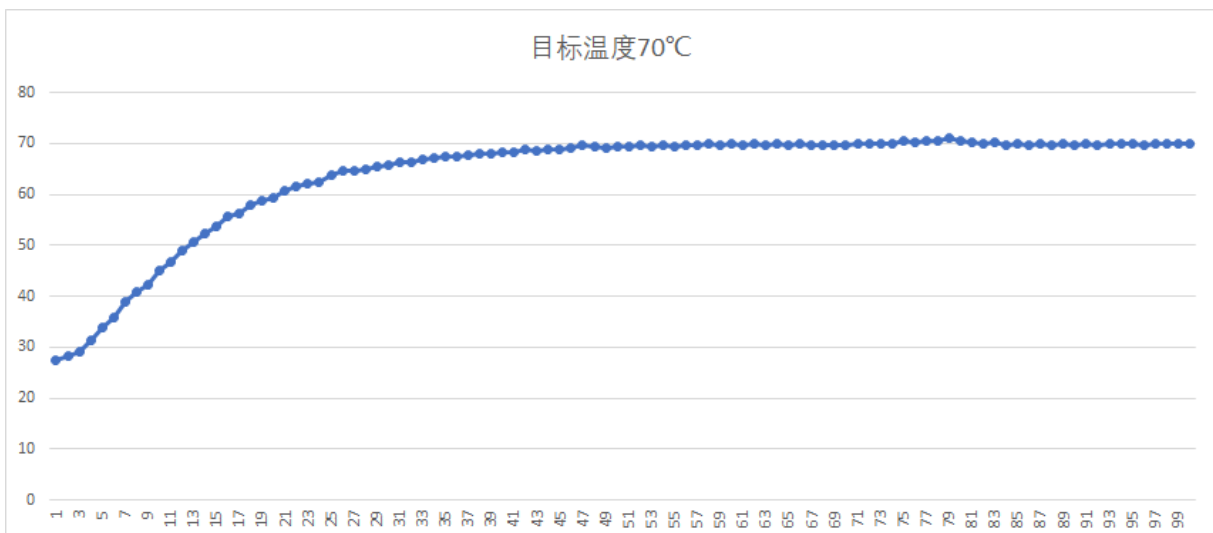


图 5-4 70°C温度-时间变化折线图

通过观察各不同目标温度的温度-时间变化折线图可以看出，此增量式 PID 算法得到的温度控制的变化曲线是完美的，温度能够迅速达到目标温度值，没有出现很大的过

冲，并且温度能保持恒定，因此本设计采用增量式 PID 及以上参数的整定是可以满足恒温烤箱系统要求的。

结论与展望

根据本次课程设计的要求，并且通过认真分析了设计课题的需求和要求指标，在学习 PID 控制算法、硬件的设计、单片机工作原理与使用方法后，我独立完成了温度恒温烤箱控制系统设计和开发的工作。在设计过程中通过多次的理论推导和仿真验证，进一步表明了数字 PID 控制系统的动态性能指标是非常有优越性，特别合适于滞后对象的控制，因此对进行温度控制采用 PID 算法是较好的选择。

在恒温烤箱控制系统的设计中对系统的抗干扰能力方面的考虑较少，系统对干扰的抵抗能力较低，导致系统在出现干扰时，响应速度较慢，并且系统恢复所需的时间较长。本设计仅验证了仿真结果，未做出实物，仿真与实物运行结果差异较大。

本次毕设，虽然我只使用到很简单的控制算法，但在设计过程中我从算法的选择到算法的实践完整的参与、投入其中，让我真正的意识到算法之美与算法的神奇，它在我的心中留下了种子，在以后我会学习更多关于算法方面的知识，了解更多算法的应用场景。

毕业设计是大学的最后一门课程，花费我近半年时间也付出了很多的努力，通过本次的毕业设计不仅是对我大学期间所学知识的检验，同时也是对我的资料收集能力、自学能力、实践能力的检验。同时在本次毕业设计中我也学习到了一定的知识，使我对项目的总体设计有了初步的了解，可以独立设计一些简单电路，然后对电路板的生产有一定的了解，并学会了使用 Altium Designer 进行硬件电路、PCB 的设计。在硬件的设计和软件调试过程中，出现了很多问题，最后通过分析、实验的方式解决了这些问题。通过本次学校安排的毕业设计，这对我思考和分析问题的能力有了极大地锻炼。

致 谢

至此毕业论文完成之际，谨向给予我指导的张老师表示诚挚的感谢！

从论文的开题，到系统的分析、设计、实现，以至论文的成稿，张老师给了我诸多的帮助和悉心的指导，其严谨的作风和认真的分析态度感染了我，使我认识到，学习不仅要注重方法，更要有严谨、主动的态度，这将对我以后的工作学习产生深远的影响！再次向我的指导老师张老师致以最诚挚的谢意！

另外，我还要感谢所有在我毕业设计期间给予我帮助的我的家人和同学。最后我要感谢安徽信息工程学院，我为能成为这所学校的学生感到自豪和骄傲！而我也要尽我所能将我从母校学到的知识应用于实际工作当中。

衷心的感谢所有帮助我的指导老师和同学！

由于自己的水平有限，论文中可能还存有诸多不足，恳请老师、同学批评指正。

作者：谷创业

2020年6月5日

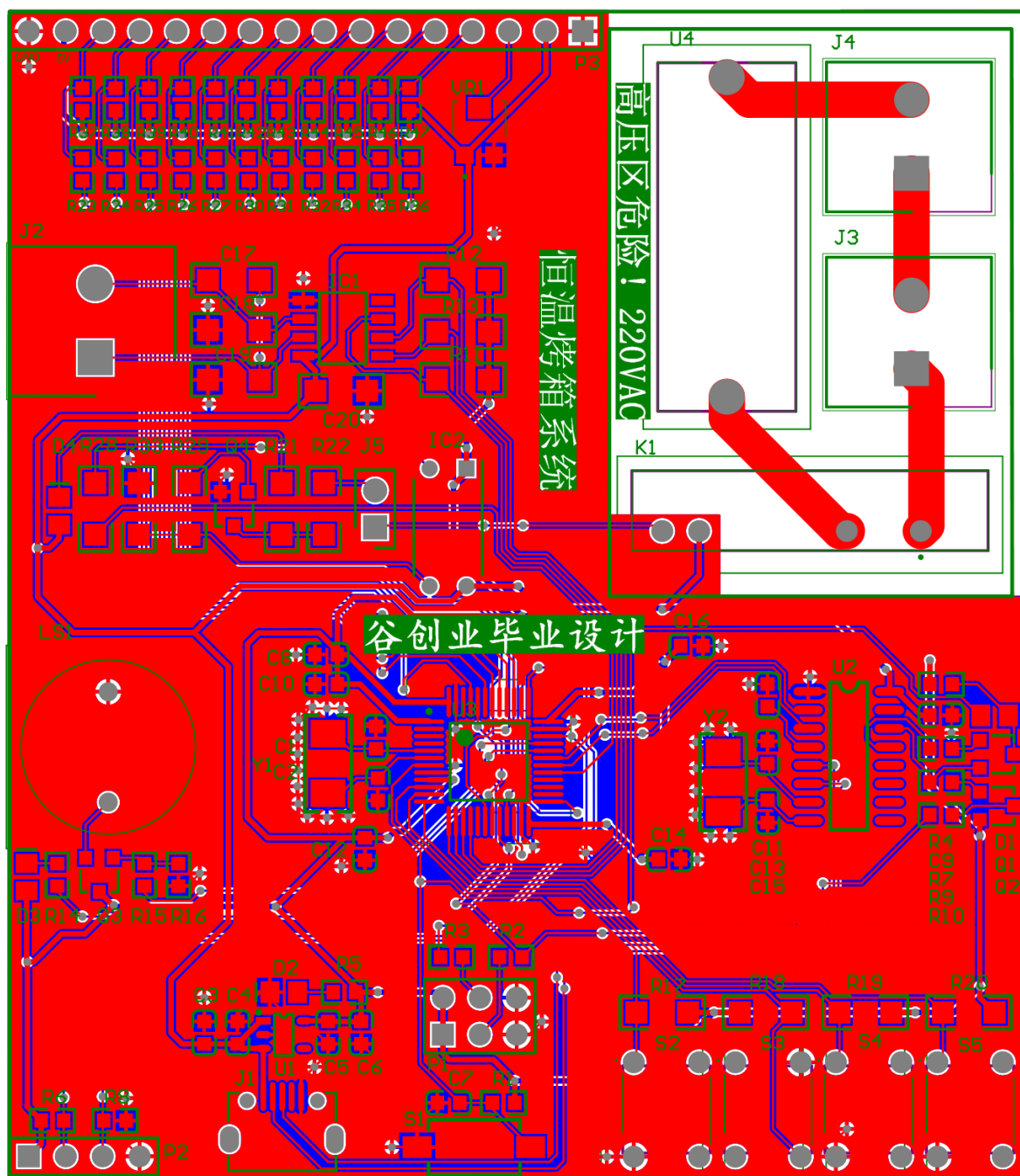
参考文献

- [1]梁剑平.基于 STM32 单片机的汽车防盗系统设计与实现[J].玉林师范学院学报,2015,36(05):128-134.
- [2]张仲俊,汪材印.基于 STM32 单片机的四轴飞行器飞行系统设计[J].集宁师范学院学报,2017,39(06):27-32.
- [3]陈东升,高俊侠,胡科堂.基于 STM32 的远程温控系统设计[J].电子产品世界,2011,18(05):30-32.
- [4]高立兵,康雁林.基于 AVR 单片机的 PID 温控系统设计[J].工业控制计算机,2010,23(04):91-92.
- [5]王桔,洪梅.基于 STM32 单片机的恒温箱系统设计[J].长春大学学报,2015,25(08):13-16+21.
- [6]杨伟,肖义平.基于 STM32F103C8T6 单片机的 LCD 显示系统设计[J].微型机与应用,2014,33(20):29-31+34.
- [7]李曦,周冬梅.基于 STM32 的无刷直流电机驱动板设计[J].科技传播,2015,7(17):139-140.
- [8]孙艳波,苏凤,刘美丽.基于 STM32 的车载酒精检测系统的设计[J].电子技术与软件工程,2015(24):112-113.
- [9]雷慧杰.基于 STM32 的直流电机 PID 调速系统设计[J].现代电子技术,2016,39(08):165-167+170.
- [10]林森,刘志东,吕庆军.基于 STM32 的 PID 算法控制直流电机系统设计[J].产业与科技论坛,2017,16(02):78-79.
- [11]张宝峰,张耀,朱均超,豆梓文,符烨.基于模糊 PID 的高精度温度控制系统[J].传感技术学报,2019,32(09):1425-1429.
- [12]徐湏基,肖城钢,李婷,龚明,陈芳.串级 PID 算法在滚球控制系统中的应用[J].现代电子技术,2020,43(09):122-125.
- [13]杨娜,武昆.基于双模糊 PID 的食品包装机热封温度控制研究[J].包装工程,2019,40(17):187-193.

- [14]Haibo Liang,Bo Ma,Kai Zuo,Jiangna Cao. Fuzzy immune algorithm based remote wireless transmission for Throttled PID control strategy[J]. Elsevier B.V.,2020.
- [15]S. F. Toha,M. O. Tokhi. PID and inverse-model-based control of a twin rotor system[J]. Cambridge University Press,2011,29(6).



附录 B PCB



附录 C 程序

PID 算法程序

```
void PID_Init()
```

```
{
```

```
    pid.T=200;    //采用周期
```

```
    pid.pwmcycle=1000;    //控制周期
```

```
    pid.Kp=5;
```

```
    pid.Ti=4000;
```

```
    pid.Td=2000;
```

```
    pid.OUT=0;
```

```
    pid.K1=pid.Kp*(1+pid.T/pid.Ti+pid.Td/pid.T);
```

```
    pid.K2=pid.Kp*(1+2*pid.Td/pid.T);
```

```
    pid.K3=pid.Kp*pid.Td/pid.T;
```

```
}
```

```
void PID_Calc( )
```

```
{
```

```
    static u16 calc;
```

```
    calc++;
```

```
    float t1,t2,t3;
```

```
    if(calc<pid.T) return ;    //判断计算时间
```

```
    pid.Ek=pid.Sv-pid.Pv;    //偏差
```

```
    t1=pid.K1*pid.Ek;
```

```
    t2=pid.K2*pid.Ek_1;
```

```
t3=pid.K3*pid.Ek_2;

pid.increment=t1+t2+t3; //增量
pid.OUT+=pid.increment; //实际控制量
if(pid.OUT>pid.pwmcycle)
{
    pid.OUT=pid.pwmcycle; // 全量控制
}
if(pid.OUT<0)
{
    pid.OUT= pid.OUT1; //最小控制量
}

pid.Ek_2=pid.Ek_1;
pid.Ek_1=pid.Ek;

calc=0;
}
```

温度采集程序

```
void read_temper()
{
    static u16 samtim;

    samtim++;

    if(samtim<pid.T) //判断采样时刻
        return ;

    pid.Pv=adc_get_temp(); //adc 采样
    samtim=0;
```

```
}  
  
double adc_get_temp()  
{  
    int i;  
    double temp;  
    uint32_t sum;  
    sum = 0;  
    for (i = 0; i < ADC_BUFFER_SIZE; i++) //读取采样数值  
    {  
        sum += adc_buffer[i];  
    }  
    sum *= 25; //数值转换  
    temp = sum / 819.0;  
    temp /= ADC_BUFFER_SIZE;  
    return temp;  
}
```

控制程序

```
void PID_out() //每 1us 调用一次  
{  
    static u16 pw;  
    pw++;  
    if(pw>=pid.pwmcycle) //PWM 周期超出判断  
    {  
        pw=0;  
    }  
    if(pw<pid.OUT) //加热  
    {
```

```
        pwmout_0;  
    }  
    else    //不加热  
    {  
        pwmout_1;  
    }  
}
```

附录 D 主要参考文献的题录及摘要

[1]梁剑平.基于 STM32 单片机的汽车防盗系统设计与实现[J].玉林师范学院学报,2015,36(05):128-134.

【摘要】本系统使用 STM32 单片机作为控制器。中央模块控制器产生随机码作为密码地址，通过无线方式发送到钥匙模块，钥匙模块根据地址发回加密信息，中央模块对加密信息进行解密并校验，返回校验结果，同时根据校验结果判断是否要进行声光报警；在解锁后中央模块可以更改加密方法和密码；随机密码用 EEPROM 储存，系统掉电时密码信息不丢失，密码信息也不能通过无线遥控方式进行更改或泄露，提高了汽车防盗系统的安全性。本系统经过多次试验，性能稳定，取得很好的效果，在汽车防盗方面有重要的研究意义。

[2]张仲俊,汪材印.基于 STM32 单片机的四轴飞行器飞行系统设计[J].集宁师范学院学报,2017,39(06):27-32.

【摘要】针对现阶段四轴飞行器飞行中存在的稳定性问题，通过对互补滤波、四元数、串级 PID 等技术的研究，设计了一种基于 STM32 的四轴飞行器飞行系统。该系统采用 STM32 作为主控芯片，利用 9 轴传感器(3 轴加速度计、3 轴陀螺仪、3 轴磁力计)GY-86 测得原始数据，经过四元数姿态解算得到飞行器的姿态信息，再通过遥控器和主控板进行通信，利用串级 PID 控制算法驱动无刷电机实现四轴飞行器的稳定飞行。实验测试结果表明：该系统能够保证四轴飞行器的稳定飞行，有很好的实用价值。

[3]陈东升,高俊侠,胡科堂.基于 STM32 的远程温控系统设计[J].电子产品世界,2011,18(05):30-32.

【摘要】本文介绍了一种基于 STM32 的远程温控系统的设计与实现。系统的硬件部分由工控机和以 STM32F103 为微控制器的温控单元组成,在此基础上设计了基于模糊 PID 的控制算法及其软件实现。最后，将此系统应用于高温高压水流体-固体相互作用实验装置中，取得了令人满意的控制效果。

[4]高立兵,康雁林.基于 AVR 单片机的 PID 温控系统设计[J].工业控制计算机,2010,23(04):91-92.

【摘要】设计了一种基于 Atmega16 单片机的温控系统。该系统采用单片机为控制器，温度传感器 DS18B20 完成对温度信号的采集,并把采集的信号送入单片机进行处理，实时显示温度值，根据系统设定完成相应的数字 PID 控制，并论述了其程序实现方法。

[5]王桔,洪梅.基于 STM32 单片机的恒温箱系统设计[J].长春大学学报,2015,25(08):13-16+21.

【摘要】设计以 STM32F103VET 单片机作为系统控制处理器，设计过程中使用温度传感器 PT1000，STRVE TFT(400×240)彩色液晶显示屏，PTC 加热片，半导体制冷片，风扇，状态指示灯及声光报警电路。系统采用 PID 控制算法进行温度控制，当箱体内气温低于设定值时，加热片开始加热，当箱内温度高于设定值时制冷片开始工作。

[6]杨伟,肖义平.基于 STM32F103C8T6 单片机的 LCD 显示系统设计[J].微型机与应用,2014,33(20):29-31+34.

【摘要】基于 Keil for ARM 集成开发环境,设计了一种以单片机 STM32F103C8T6 为核心的 LCD12864 液晶显示系统，可以在屏幕任意位置实现字符显示和图形显示，同时实现了贪吃蛇游戏的功能。该系统操作便捷，界面友好，具有功耗低、速度快、性价比高等优点。

[7]李曦,周冬梅.基于 STM32 的无刷直流电机驱动板设计[J].科技传播,2015,7(17):139-140.

【摘要】无刷直流电机因体积小，转速高等特点因此应用十分广泛，并且工业控制领域中，直流电机作为执行元件得到了广泛的应用。设计基于 STM32 的直流电机驱动系统，驱动系统集成了电机控制、电源、通讯、驱动电路，驱动 24V 直流电机工作。

[8]孙艳波,苏凤,刘美丽.基于 STM32 的车载酒精检测系统的设计[J].电子技术与软件工程,2015(24):112-113.

【摘要】该系统主控制器选用微控制器 STM32F103ZET6，半导体酒精传感器 MQ-3 和电化学酒精传感器 ME3A-C2H5OH 为该系统的传感器，采用 TFTLCD 为显示模块，SIM900A 作为 GPRS 模块,设计了一个自行检测并实时上传酒驾车辆相关信息的车载酒精检测系统。

[9]雷慧杰.基于 STM32 的直流电机 PID 调速系统设计[J].现代电子技术,2016,39(08):165-167+170.

【摘要】设计一种基于单片机的直流电机调速系统，该系统以基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32 微控制器为核心，利用软件产生 PWM 控制信号，采用增量式 PID 算法控制直流电机的起动、制动、正反转和速度调节,简单友好的上位机界面可实时监测电机的各种运行信息。实验结果表明,该系统具有稳态误差小，控制精度高，响应速度快，能耗低、效率高等优点，对上肢康复机器人的研究具有一定的借鉴价值。

[10]Haibo Liang,Bo Ma,Kai Zuo,Jiangna Cao. Fuzzy immune algorithm based remote wireless transmission for Throttled PID control strategy[J]. Elsevier B.V.,2020.

【ABSTRACT】 Pressure control drilling technology (MPD) an effective solution to the problems of low efficiency and high drilling risk of conventional drilling technology. Based on the current working environment of the oil well site, this paper introduces a data acquisition system based on the well field wireless transmission network, studies and analyzes the factors affecting the bottom hole pressure and the characteristics of the various components of the throttle manifold. Based on the mathematical model of the control system and the remote wireless transmission of data, this paper proposes an improved fuzzy immune PID control model. The model uses fuzzy rules to adjust the parameters of the PID controller in adaptively, which keeps the controlled object in a good dynamic and static stable state, reduces the overshoot of the traditional PID and makes the controlled variable approach the control target quickly. The control system simulation results show that the fuzzy immune PID control algorithm has a fast dynamic response, no overshoot, no static error, and strong self-adaptability when the algebraic model parameters of throttle valve change.



安徽信息工程学院

Anhui Institute of Information Technology

本科毕业设计（论文）任务书

题 目	恒温烤箱系统的设计
	Design of constant temperature oven system
学 生 姓 名	谷创业
学 号	316207010104
专 业 班 级	自动化1601班
学 院	电气与电子工程学院
指 导 老 师	张松林
教研室负责人	陆华才
下 达 日 期	2019年11月30日

题目	恒温烤箱系统的设计	
论文研究背景及意义、内容、成果形式	<p>研究背景及意义</p> <p>随着经济、科技的发展，人们对生活品质的追求越来越高，恒温烤箱已成为现代家庭的经常使用的电器。使用恒温烤箱制作各种食物，需要恒温烤箱对温度的控制比较准确，否则就无法制作出美味的食物。除了温度控制外，现在的家电产品都在往智能方向发展，因此还要求恒温烤箱具有显示、定时、远程操作等功能。使用单片机实现对温度控制的控制，不仅具有方便、灵活等特点，而且可以大幅度地提高被控温度的技术指标，从而实现对恒温烤箱温度的有效控制。</p> <p>研究内容</p> <p>本课题主要以家用恒温烤箱为研究对象，采用以单片机为控制核心，使用温度采集传感器对温度进行实时采集，结合自动控制技术完成对恒温烤箱内温度的准确控制。</p> <p>具体研究内容如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、控制器的设计 2、系统的硬件设计方案 3、控制算法的设计 4、升降温的研究 <p>成果形式</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 外文资料译文一篇 2) 毕业设计论文一份 	
工作进度	<ol style="list-style-type: none"> (1) 完成选题 (2) 完成任务书下达 (3) 完成开题报告 (4) 完成中期检查 (5) 完成论文定稿 (6) 完成相似比检测 (7) 完成答辩 (8) 完成成绩录入 (9) 完成材料归档 	<p>2019 年 11 月 4 日 —2019 年 11 月 11 日</p> <p>2019 年 11 月 12 日—2019 年 11 月 30 日</p> <p>2019 年 12 月 1 日—2020 年 1 月 5 日</p> <p>2020 年 2 月 24 日 —2020 年 2 月 28 日</p> <p>2020 年 3 月 1 日—2020 年 5 月 1 日</p> <p>2020 年 5 月 2 日 —2020 年 5 月 10 日</p> <p>2020 年 5 月 16 日 —2020 年 5 月 26 日</p> <p>2020 年 5 月 27 日 —2020 年 5 月 31 日</p> <p>2020 年 6 月 17 日 —2020 年 6 月 18 日</p>

参 考 文 献	<p>[1]张洪润, 博瑾新. 传感器技术大全, 航空航天大学出版社, 2006。</p> <p>[2]王淑珍, 王立萍. 单片机系统设计, 科学出版社, 2008。</p> <p>[3]涂时亮. 单片机软件设计技术, 科学文献出版社重庆分社, 1987。</p> <p>[4]何立民. 单片机应用技术选编, 航空航天大学出版社, 1993。</p> <p>[5]张德江. 计算机控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社. 2010. 1</p> <p>[6]丁元杰. 单片微机原理及运用 (第 3 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005. 7</p> <p>[7]梅丽凤. 单片机原理及接口技术清华大学出版社 2009. 7</p> <p>[8]于海生. 微型计算机控制技术清华大学出版社 2003. 4</p> <p>[9]张福学. 传感器应用及其电路精选北京电子工业出版社 1991</p> <p>[10]马净, 李晓光. 常用温度传感器的原理及发展中国电力出版社 2004</p> <p>[11]王红萍. 铂电阻温度传感器测温研究北京航空航天大学出版社 2003</p> <p>[12]吴金戌. 单片机实践与应用[M]清华大学出版社 2002</p> <p>[13]李广弟. 单片机基础[M]北京航空航天大学出版社 1999. 10</p>
------------------	--



安徽信息工程学院

Anhui Institute of Information Technology

本科毕业设计(论文)开题报告

题 目	恒温烤箱系统的设计		
	Design of a constant temperature oven system		
课 题 类 型	<input checked="" type="checkbox"/> 工程设计类	<input type="checkbox"/> 软件设计类	<input type="checkbox"/> 艺术设计类
	<input type="checkbox"/> 实验研究类	<input type="checkbox"/> 经济、管理及文科类	
学 生 姓 名	谷创业		
学 号	316207010104		
专 业	自动化		
学 院	电气与电子工程学院		
指 导 老 师	张松林		
开 题 时 间	2020年1月5日		

题 目	恒温烤箱系统的设计
<p>一、研究背景、研究意义、研究现状及发展趋势</p> <p>1、研究背景</p> <p>随着经济、科技的发展，人们对生活品质的追求越来越高，恒温烤箱已成为现代家庭的经常使用的电器。使用恒温烤箱制作各种食物，需要恒温烤箱对温度的控制比较准确，否则就无法制作出美味的食物。除了温度控制外，现在的家电产品都在往智能方向发展，因此还要求恒温烤箱具有显示、定时等功能。使用单片机实现对温度控制的控制，不仅具有方便、灵活等特点，而且可以大幅度地提高被控温度的技术指标，从而实现对恒温烤箱温度的有效控制。</p> <p>2、研究意义</p> <p>温度与我们生活中很多现象息息相关，包括工业、农业、实验研究以及日常生活都会涉及到的这个常见物理量，如：在冶金、机械、纺织服装等加工生产中的温度控制。过程温度测量准确和有效性是保证产品优质、能量低耗以及工厂安全生产的重要条件，时时跟踪加工生产温度的测量，是对产品的质量保障，人们生活中的电水壶、电烤箱、电饭煲等家用电器一样需要温度测量和反馈。可见温度测量与控制控制存在于社会各个方面，因此研究对温度进行控制是非常具有现实意义的。温度的测量与控制一般使用的还是传统仪器，以单台仪器独立工作、手工操作、人工记录和分析判断信息为主要设计思想，其功能和规格一般被厂家所固定，使用时需要通过硬件或者固化的软件来实现，用户没有办法改变其固有结构和属性。但随着科学水平的不断发展人们的要求不断增高，不单单需要在线监测系统，还希望与其他设备和软件能够通用，能适应大部分平常科研和生活的使用要求，可以立即修改被控对象、完成测试任务或者软件升级更新，能建立起一个可信，控制优化，可随谁加入人工干预的优异测控系统。</p> <p>3、研究现状</p> <p>当今社会随着科技的发展越来越智能化，因此当前智能化温度控制系统的发展越来越趋向主流。电烤箱是越来越被年轻消费者喜爱，其原理主要是利用电加热丝辐射热量来加工食物，方便大家的日常生活，但由于烤制实物种类繁多，且烤制温度的高低、稳定将直接影响烤制食物的品质。因此，研制高精度、智能化温度控制器，设计低成本温度控制系统对提高电烤箱的市场竞争能力具有现实意义。</p>	

根据数据显示当前设计的温度控制器中仍有 80%左右在使用位式控制算法,电烤箱温度是一种非线性变化、时变性大且温度的变化往往有滞后性,温度变化往往向单边方向发展,采用位式控制都存在温度偏差大、精度低等问题,难以达到较好的控制效果。针对传统控制方法的不足,本文提出了一种基于 PID 控制电烤箱温度控制系统。

PID 算法是一种具有预见性的控制算法,其核心思想是:PID 算法不但考虑控制对象的当前状态值,而且还考虑控制对象过去一段时间的状态值和最近一段时间的状态值变化,由这三方面共同决定当前的输出控制信号。PID 控制算法可根据运算结果来控制被控对象的多种工作状态,一般的输出信号形式为 PWM 波,基本上满足了按需输出控制信号,根据情况随时改变输出的目的。采用此算法可极大改善恒温烤箱的控制效果。

4、发展趋势

温度控制是烤箱最重要的部分,随着智能化时代的到来,温度控制系统的应用也逐渐趋向于智能化。温度控制应用于生活生产中的方方面面,尤其是某些对生产环境要求较高的工业,实现温度控制智能化将会大大节约人力资源,降低社会消耗,因此,实现温度控制在未来将变得越来越重要。

二、研究内容

本课题围绕此 STM32 单片机为核心,根据烤箱设备对温度的控制严格要求,利用 PID 控制技术对产品的加工工艺参数和过程进行准确的控制。主要完成的工作有以下几个方面:

1. CPU 选型及外围相关电路设计。包括程序/数据存储及 RTC 方案选择及电路设计。
2. 精确度较高的温度测量及控制,包括传感器选择、信号变换及 A/D 转换电路等。
3. 大量参数的按键输入和 LCD 显示屏电路。
4. 多路开关量的输入/输出控制硬件电路及线路板设计。
5. 有大量数据处理且实时性要求高的监控软件设计。

三、研究方法

观察、实验、文献研究、网上查询。

四、国内外文献综述 (500 字左右)

目前,国外恒温烤箱的控制系统正在向着高精度、高智能化发展。温烤箱的控制技术在我国应用虽然已经很普遍了,可是从国内生产的温度控制器来看,总体发展水平还是落后与先进国家,同先进国家相比,还是有着很大的差距。在高端、高精度的温度控制方面,我国的恒温烤箱的控制技术受到了很大的局限性,我国的恒温控制技术在温度采集的准确性与温

度控制的有效性上与西方的技术上还有很大一段差距。在这方面有待与我们这代人的努力，同时在这方面我国还潜藏着巨大的潜力，有许多我们伸展的空间。

由于市场的需求，国内以信息化时代的到来，带动了恒温烤箱控制技术产业的迅速发展。由于恒温烤箱控制技术发展，这些技术也被应用到了其他的领域，并且带动了其他相似产业的发展。在化工工业、冶金工业、机械工业、电力工业、食品工业等等领域，温度也是生产对象控制中一个最重要的参数，都需要对温度进行精确的控制，这些产业的发展呈现一种技术上互补的关系。

随着我国的信息产业不断的发展，传统的恒温烤箱控制方式已满足不了高精度、高速度的控制要求了，必须不断的开发研究创造出新型的恒温烤箱控制系统。近几年，国内外对温度控制系统都进行了大量的研究。在各国，温烤箱的控制技术都已经被列为未来重要的研究方向，具有广阔的应用、市场前景。

五、研究方案及工作计划

1、研究方案

1.1、系统架构和工作原理

本文所设计的烤箱温控系统主要由以下几个模块组成：温度测量模块、控制器、LCD 显示屏、按键模块、声光报警模块。温度测量模块主要负责采集、转换烤箱实时温度并将数据传入控制器，控制器控制最终温度并将显示数据传入 LCD 显示屏，按键模块设定温度与时间，声光报警模块提示实时状态，并在异常时发出报警信号，其系统总体方案框架如图 1 所示。

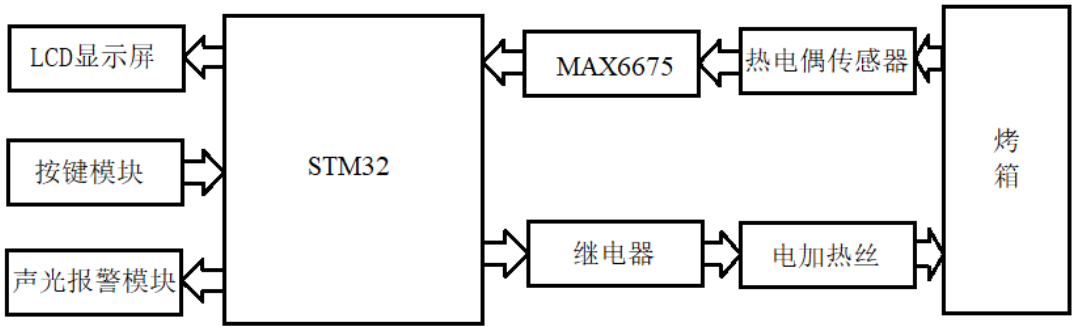


图 1 系统总体方案框图

1.2 系统硬件设计

1.2.1、温度测量模块

通过 K 型热电偶测量烤箱实时温度，由 MAX6675 完成温度信息的 AD 转换和传递。K

型热电偶可以直接测量各种生产中从 0℃到 1300℃范围的温度。K 型热电偶具有线性度好，热电动势较大，灵敏度高，稳定性和均匀性较好，抗氧化性能强，价格便宜等优点，能用于氧化性惰性气氛中广泛为用户所采用。MAX6675 具有冷端温度补偿、热电偶数字转换功能，可以将 K 型热电偶采集到的模拟量信号进行冷端温度补偿，并数字信号。数据输出为 12 位分辨率，转换器温度分辨率为 0.25° C，可读取温度达+1024° C，热电偶在 0° C 至+700° C 温度范围内，精度为 8LSB。

1.2.2、控制器（STM32F103ZET6）

控制器选择的是 STM32F103ZET6，该芯片的配置非常强大的了,它拥有的资源包括：64KB SRAM、512KB FLASH、2 个基本定时器、4 个通用定时器、2 个高级定时器、2 个 DMA 控制器（共 12 个通道）、3 个 SPI、2 个 IIC、5 个串口、1 个 USB、1 个 CAN、3 个 12 位 ADC、1 个 12 位 DAC、1 个 SDIO 接口、1 个 FSMC 接口以及 112 个通用 IO 口。控制器在作用是完成相应命令的传递、处理以及信息的存储。

1.2.3、LCD 显示屏（TFT）

采集到的恒温烤箱箱体内的实时温度，通过 AD 转换显示到 LCD 液晶显示屏，除此之外，还会显示设定的温度值与计时的倒计时时间。

1.2.4、按键模块

通过按键模块设定预置温度与计时时间，温度进行设定后按启动键，便可以启动系统工作。按键硬件采用上拉矩阵式型方式进行连接，通过四个行 IO、三个列 IO 判断是哪个按键被按下。通过高低电平状态来判断键是否闭合，若高电平就表示断开的話，低电平则是表示了闭合。 还需要对按键进要进行防抖处理，采用软件防抖，即延时 10—20ms 的时间，待电压稳定后，再进行状态检测。

1.2.5、声光报警模块

将当前温度与预置温度作比较，当前温度高于预置温度 5℃时，打开报警器，发出报警信号；当前温度低于预置温度时，报警器一直处于关闭状态。

2.3、系统软件设计

本系统设计的是一个恒温烤箱控制系统，其软件结构采用模块化方式来组合，其应用程序包括由主程序、报警程序、温度采集程序和系统子程序构成。主程序包含堆栈设置，初始化以及标志和子程序调用的设置。设置与硬件电路相对应的温度的采集、比例转换、温度设定与显示、高温报警等程序，PID 控制算法等功能的运行均由各子程序执行，其软

件流程如图 2 所示。

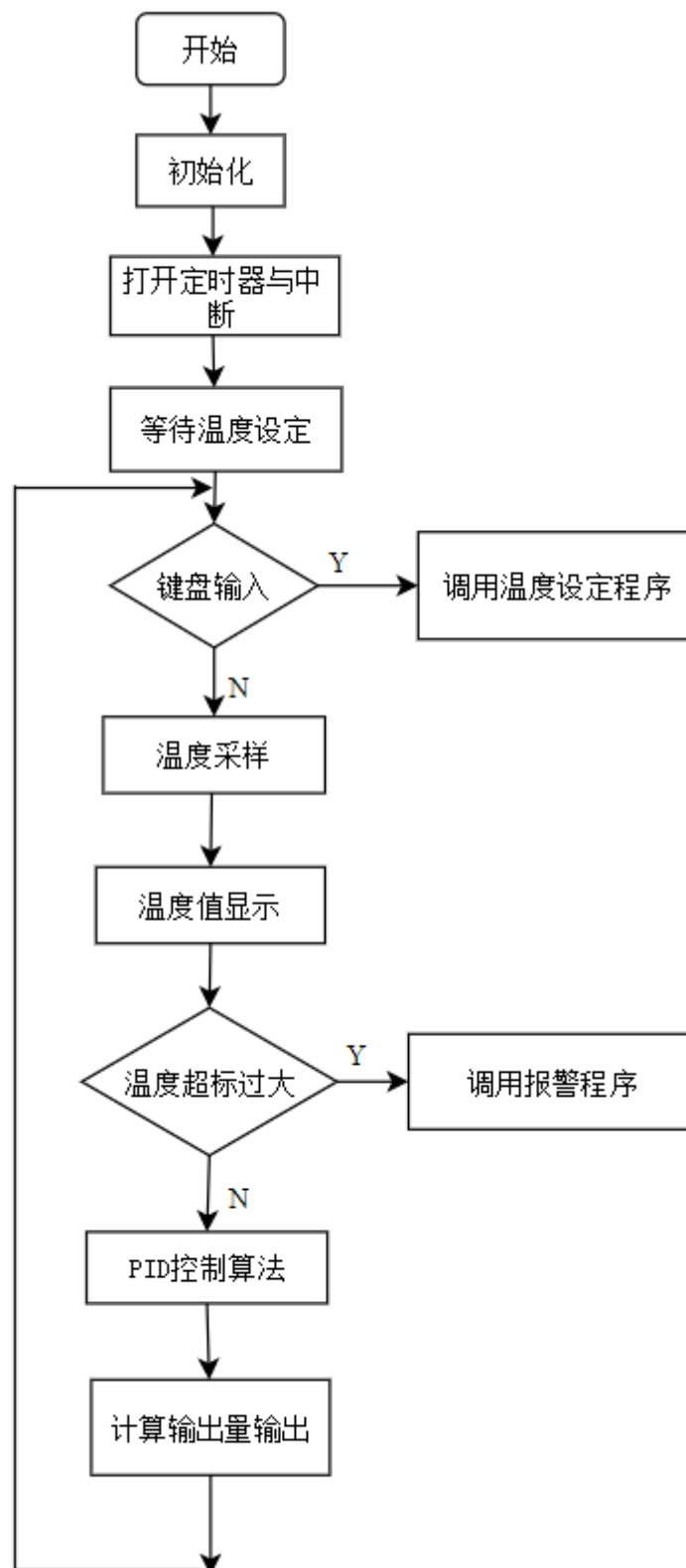


图 2 系统主程序框图

2、工作计划

第 1-2 周：将系统分解为各个模块，对比方案，选择最优方案；

第 3-4 周：根据方案，比较选择合适的硬件；

第 5-6 周：根据题目要求，设计硬件，并进一步优化；

第 7-8 周：编写各个模块软件代码；

第 9-10 周：总体系统调试；

第 11-13 周：撰写论文；

第 14-15 周：修改论文，定稿；

第 16 周：完成答辩；

六、参考文献

- [1]梁剑平. 基于 STM32 单片机的汽车防盗系统设计与实现[J]. 玉林师范学院学报,2015, 36(5).
- [2]张仲俊,汪材印. 基于 STM32 单片机的四轴飞行器飞行系统设计[J]. 集宁师范学院学报, 2017,39(6).
- [3]陈东升,高俊侠,胡科堂. 基于 STM32 的远程温控系统设计[J]. 电子产品世界,2011,18(5): 30-32.
- [4]高立兵,康雁林. 基于 AVR 单片机的 PID 温控系统设计[J]. 工业控制计算机,2010,23(4): 91-92.
- [5]王桔,洪梅. 基于 STM32 单片机的恒温箱系统设计[J]. 长春大学学报（自然科学版）,2015, 25(4):13-16,21.
- [6]杨伟,肖义平. 基于 STM32F103C8T6 单片机的 LCD 显示系统设计[J]. 微型机与应用,2014, (20):29-31,34.
- [7]李曦,周冬梅. 基于 STM32 的无刷直流电机驱动板设计[J]. 科技传播,2015,0(17).
- [8]丁泽源,吴传秀,何军平,宋永献,王经卓,毕训银. 基于 STM32 单片机的车载酒精检测系统设计[J]. 传感器技术与应用,2018,6(03):103-111.
- [9]雷慧杰. 基于 STM32 的直流电机 PID 调速系统设计[J]. 现代电子技术,2016,39(8):165-167, 170.

<p>[10]林森,刘志东,吕庆军. 基于 STM32 的 PID 算法控制直流电机系统设计[J]. 产业与科技论坛,2017,16(2):78-79.</p> <p>[11]J. LIN, Z.-Z. HUANG. A novel PID control parameters tuning approach for robot manipulators mounted on oscillatory bases[J]. Robotica: International journal of information, education and research in robotics and artificial intelligence,2007,25467-477.</p> <p>[12]S. F. TOHA, M. O. TOKHI. PID and inverse-model-based control of a twin rotor system[J]. Robotica: International journal of information, education and research in robotics and artificial intelligence,2011,29(Oct. Pt.6):929-938.</p>	
指导教师 审核 意见	<p>该毕业设计选题与专业结合较紧密，选题比较合理，研究内容计划安排合理。该生的毕业设计选题具有一定的实用价值。所准备的资料能够较好的符合任务书的要求，对设计的开始具有较好引导作用。该生准备工作充分。从报告内容可以看出该生具备较扎实的专业知识以及分析和解决问题的能力。报告内容充分，思路清晰。</p> <p>在下一阶段写作中，要注意恒温控制的系统响应时间。该开题报告符合要求，同意该同学开题，并进入下一阶段的论文写作。</p> <p style="text-align: right;">指导教师(签名)： 张松林 2020 年 1 月 5 日</p>
教研室 负责人 批阅 意见	<p style="text-align: center;">同意开题</p> <p style="text-align: right;">教研室负责人(签名)： 张松林 2020 年 1 月 5 日</p>

安徽信息工程学院毕业设计（论文）中期检查总结表

姓 名	谷创业	学 院	电气与电子工程学院
专 业	自动化	学 号	316207010104
题 目	恒温烤箱系统的设计	课题类型	工程设计类
<p>课题主要任务：</p> <p>使用自动控制技术，设计基于 stm32 单片机恒温烤箱控制系统，并完成毕业设计论文的编写，细分任务有以下几条： 1.总体构思，结合要实现的功能，构思系统框架； 2.将系统分解为各个模块，硬件模块与软件模块； 4.设计硬件，并进一步优化； 5.设计各模块软件，制定通信规则； 6.编写各个模块软件代码； 7.编写毕业设计论文；</p>			
<p>简述开题以来所做的具体工作和取得的进展或成果：</p> <p>目前以完成总体架构的构思、硬件系统设计、软件系统设计都已完成，毕业论文打算分为三大章节：绪论、硬件部分、软件部分。目前前两章节都已完成，还有软件部分论文没有完成；</p>			
<p>下一步的主要任务及进度安排：</p> <p>完成软件章节论文的编写；</p>			
指导教师填写	学生开题情况	正常	
	学生调研及查阅文献情况	正常	
	毕业设计（论文）原计划有无调整	无	
	学生是否按计划执行工作进度	是	
	学生是否能独立完成工作任务	是	

	学生每周接受指导的次数及时间	1		
	毕业设计（论文）过程检查记录情况	正常		
	学生的工作态度在相应选项划“√”	<input checked="" type="checkbox"/> 认真	<input type="checkbox"/> 一般	<input type="checkbox"/> 较差
	尚存在的问题及采取的措施： 注意 STM32 的恒温控制算法的设计。			
指导教师签字：张松林 2020 年 2 月 26 日				
教研室负责人意见： 基本符合要求，检查结果良好。				
负责人签字：张松林 2020 年 2 月 28 日				

注：1. 课题类型指设计性课题、实验研究性课题、论文性课题；

课题名称	恒温烤箱系统的设计		
学生姓名	谷创业	学生学号	316207010104
学 院	电气与电子工程学院	专业班级	自动化 1601 班
评分内容	具体要求	总分	评分
报告内容	①思路清新、自述清楚、重点突出； ②组织和表达能力强，概念清楚，论点正确； ③方法、方案正确，分析归纳合理； ④结论严谨，设计（论文）有应用价值。	35	28
报告过程	①准备工作充分，具备必要的报告资料； ②报告在规定的时间内完成。	10	8
答 辩	①回答问题论据充分，基本概念清楚；主要问题回答简明、扼要、准确； ②能用所学基础知识和专业知识分析问题和解决设计中的有关问题。	45	38
创 新	对前人工作有改进或突破，有独特见解。	10	8
答辩成绩	82		
教师提问	1. 详细介绍温度采集方案如何进行的？ 2. PID 三个字母分别代表是什么？ 3. 如何通过 PID 运算结果控制温度的？		
学生答辩情况记录	1. K 型热电偶将温度数据传入 MAX6675 中，与 STM32 采用 SPI 通信，微控制器将 CS 端拉低并提供 SCK 时钟信号，在时钟信号的下降沿，通过 S0 端读取到 16 位数据，其中 D3-D14 位数据位为温度数据值。 2. P 为比例；I 为积分；D 为微分。 3. 将增量与实际控制量相加，若结果超出 PWM 周期，则让控制量为 PWM 周期；若结果为负值或 0 时，让控制量为最小控制量 1。在控制周期中，若当前时间小于实际控制量，则输出低电平，驱动加热丝加热，否则加热丝不工作。		
答辩小组意见及签名	该课题恒温烤箱系统的设计内容整体尚可，论文结构基本清晰。毕业设计基本上涵盖了系统的软件设计和硬件结构。答辩过程基本上能够回答老师的提问，组织和表达能力尚可，论点基本正确，能够初步的将自动化专业知识与设计内容相结合。		
签名： 张松林 朱卫东 刘传柱		2020 年 5 月 24 日	

安徽信息工程学院本科毕业设计（论文）

装档材料验收单

检查内容	是否齐备
1、诚信承诺书	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2、成绩评定表	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3、论文定稿	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
4、任务书	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
5、开题报告	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
6、指导记录	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
7、中期检查表	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
8、答辩记录表	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
9、相似性检测报告（简洁版）	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
10、图纸及其他	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
学生 自查	<p>学生本人承诺：本人谨在此承诺，所有毕业设计装档材料与本人所提交材料一致，若有差错，本人愿意承担由此产生的所有责任。</p> <p>学生签名： 谷创业 日 期：2020 年 6 月 5 日</p>
指导老 师检查	<p>经审查，学生所有毕业设计装档材料，符合学校要求，材料齐全。</p> <p>指导老师签名： 张松林 日 期：2020 年 6 月 5 日</p>
学院审 查意见	<p>经审查，以上材料目录齐全，符合存档要求。</p> <p style="text-align: center;">同意存档。</p> <p>学院负责人签章：张敏凤 日 期： 2020 年 6 月 5 日</p>

（备注：毕业设计装档材料验收单作为“图纸及其他”放入毕业设计档案盒存档）