



北京航空航天大学

模拟电子技术基础（实训项目）中期报告

题目：可设定的恒温温度控制器设计

学院名称 高等理工学院

专业名称 自动化

学生姓名 李谨杰 杨曼鑫 雷彤彤 赵谦

学生学号 16231235 16231261 16231229 16231059

指导教师 唐瑶、肖瑾

目录

目录.....	2
一、课题背景及意义.....	3
二、研究目标及研究内容.....	3
2.1 研究目标.....	3
2.2 具体研究内容:	4
2.2.1 核心控制系统.....	4
2.2.2 测温系统.....	4
2.2.3 通讯、显示模块和手机端控制部分.....	4
2.2.4 加热与冷却系统.....	4
2.2.5 漏电检测与失控保护部分.....	4
三、开题报告的论文工作计划	5
3.1 任务分工.....	5
3.2 时间节点.....	5
四、目前已完成的研究内容:	6
4.1 核心控制系统.....	6
4.2 测温系统.....	9
4.4 通讯、显示模块和手机端控制部分.....	12
4.5 加热与冷却系统.....	15
4.6 实物设计部分.....	17
五、后续研究内容	18
5.1 目前需要完成的任务.....	19
5.2 未来计划.....	19
参考文献.....	20

一、课题背景及意义

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、化学过程都紧密地与温度相联系。恒温温度控制器在日常生活中应用广泛。在普通百姓的生活中，冰箱、空调、恒温箱、智能洗衣机等，都需要一套恒温控制系统来控制温度。以此满足人们的需求。在工业方面，温度是工业生产中主要的被控参数之一，与之相关的各种温度控制系统广泛应用于冶金、化工、机械、食品等领域。温度控制是工业生产过程中经常遇到的过程控制，有些工艺过程对其温度的控制效果直接影响着产品的质量，因而设计一种较为理想的温度控制系统是非常有价值的。

所以，合适的温度控制系统在社会中有着重要的意义。以此项目目标为参考，本产品可能有如下用途：在婴幼儿领域，给婴幼儿冲泡奶粉时，需要将奶粉调试到适合幼儿饮用的温度。人们可能希望在照看孩子的同时远程控制奶粉温度，或者希望只冲泡一次，就可以定量多次给幼儿摄入固定温度的奶粉；在基础生命科学领域，需要远程操控恒温箱的温度，以此来保证箱中培养皿细菌的生长条件。

温度控制类型的产品在行业内一般设计为在机器上操作，无法远程控制，不能很好满足上述要求。本产品既可以精确调节液体温度在 50-100 度之间，又可以用手机远程控制且实时监控温度，很适合上述使用情境。还有很多生活中的事件可以用本产品来完成，因此本产品前景广阔，很有研究的意义。

二、研究目标及研究内容

2.1 研究目标

设计一个可以保持恒定温度的恒温控制系统，并且具有以下功能：

1. 可以实现温度的无级调节（以 1℃ 为单位）。
2. 可以使恒温箱在 50~100℃ 内保持恒温，并且误差不超过 1℃。
3. 可以用微信小程序显示并控制恒温温度。
4. 具有漏电和失控保护功能，具有一定的安全性。
5. 以 220V 交流电为电源。

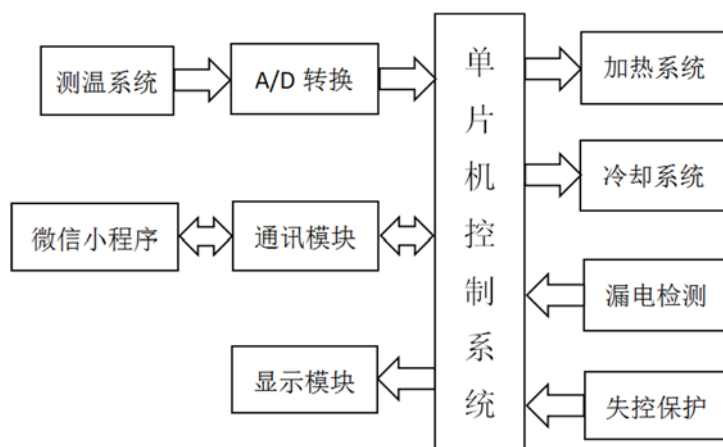


图 1 恒温控制系统硬件结构框图

2.2 具体研究内容：

2.2.1 核心控制系统

由 STM32F103C8T6 单片机连接各个部分，包括实现 PID 控制，蓝牙接收与控制数码管显示等。

2.2.2 测温系统

选择铂电阻 Pt100 测温，铂热电阻可将温度信号转化为模拟电压信号，再通过 A/D 转换，转化为可供单片机处理的数字信号。

2.2.3 通讯、显示模块和手机端控制部分

本项目中采用了蓝牙通讯模块（hc-05，hc-08）进行单片机与手机端之间的通讯，采用 LED 数码管配合译码器，由单片机驱动进行温度显示。本项目的手机端通过小程序实现显示并控制恒温箱温度的功能。

2.2.4 加热与冷却系统

我们采用电阻丝进行加热，选用半导体制冷片进行制冷。

2.2.5 漏电检测与失控保护部分

失控保护模块是由单稳态电路和限温开关组成的双层保护电路。单稳态电路的数据输入控制端直接与单片机的 I/O 口连接，输出端与限温开关共同控制恒温控制系统的电源总开关。当程序在运行过程中失去控制，导致单稳态电路的数据输入端长期不变时，单稳态电路的输出端将输出低电平信号；或者当温度检测电路检测不正常，导致恒温箱内温度上升太高时，限温开关将断开。这两者只要发

生其中之一，恒温控制系统的总电源就会断开，从而保护系统的安全。

三、开题报告的论文工作计划

3.1 任务分工

由

Stm32 单片机配置与编程：李谨杰和雷彤彤

小程序设计：杨曼鑫

电路设计及焊接：赵谦 杨曼鑫 李谨杰 雷彤彤

实物设计（箱子尺寸 材质）：赵谦 李谨杰

调整为：

Stm32 单片机配置与编程：李谨杰

小程序设计：杨曼鑫

电路设计及焊接：赵谦 雷彤彤

实物设计（箱子尺寸 材质）：赵谦 李谨杰

3.2 时间节点

第一到二周（3.5-3.18） 查询资料 完成开题报告

第三周（3.19-3.25） 各队员对之后自己的工作如何开展列出计划，并与电路设计同期进行。

第四到五周（3.26-4.8） 电路设计完成，并进行仿真。

第六周（4.9-4.15）明确所有型号，并买齐所有元件。

第七周（4.16-4.22）完成单片机的配置与读取程序的编写

小程序做完

实物设计图纸完成

第八周（4.23-4.29）准备中期答辩

第九周到第十周（4.30-5.12）实物制作完成（包括保温箱的制作，电路搭接，小程序、单片机之间的通信与连线等）

第十一周到十三周（5.14-6.3）进行测试、改进，完成设计。

第十四周（6.4-6.10）拓展新功能，试验新算法，优化产品。

第十五周（6.11-6.17）准备期末答辩和产品展示

第十六周（6.18-6.24）答辩 产品展示

四、目前已完成的研究内容：

4.1 核心控制系统

单片机方面，我们购置了 STM32F103C8T6 核心板进行初期功能实现。我们采用 STMCUBEMX 进行引脚分配和相关设置的初始化，同时通过 keil4 进行编译实现。引脚分配如图 2。

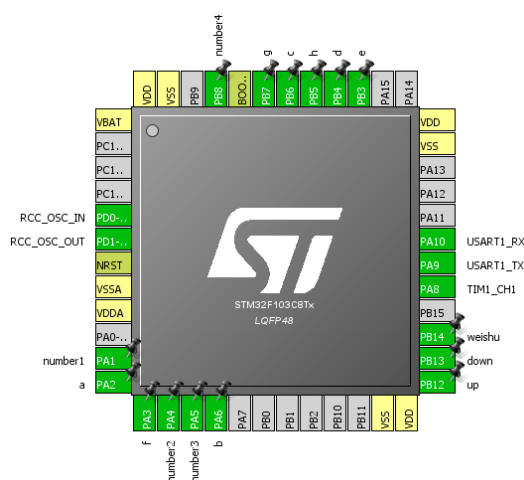


图 2 引脚分配图

单片机主要实现：1.蓝牙收发功能 2.数码管显示功能 3.按键调整温度功能。

最开始实现的是数码管显示与按键控制功能。由于元件购买失误，译码器买成了贴片元件，所以目前是直接将数码管的各个管脚直接接到单片机上，通过控制单片机 IO 口输出高低电平显示数字。下图是 LG3641 的原理图。

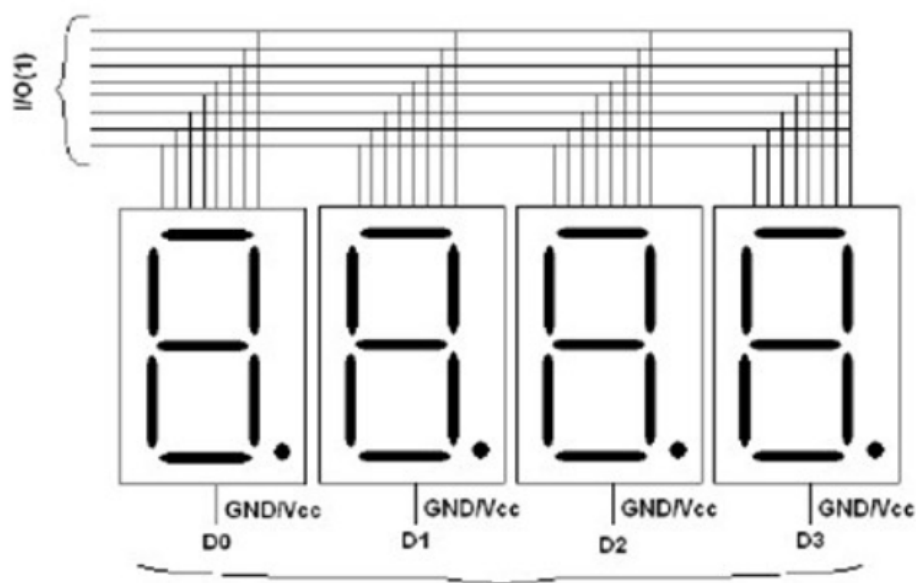


图 3 LG3641 原理图

从元件结构可以看出，上方的 8 个引脚控制 8 个笔画，下方的四个引脚控制数字的显示。因此，如果四位要显示不同数字，需要很快地循环点亮四个数字（0.1s），在人眼视觉暂留作用下，将同时看到四位不同数字。另外，当温度进入编辑状态时，数字将呈现闪烁状态。因此，我采用时钟 TIM3 定时中断翻转标签来控制数字闪烁。

对于显示部分，我编写的程序框图如下：

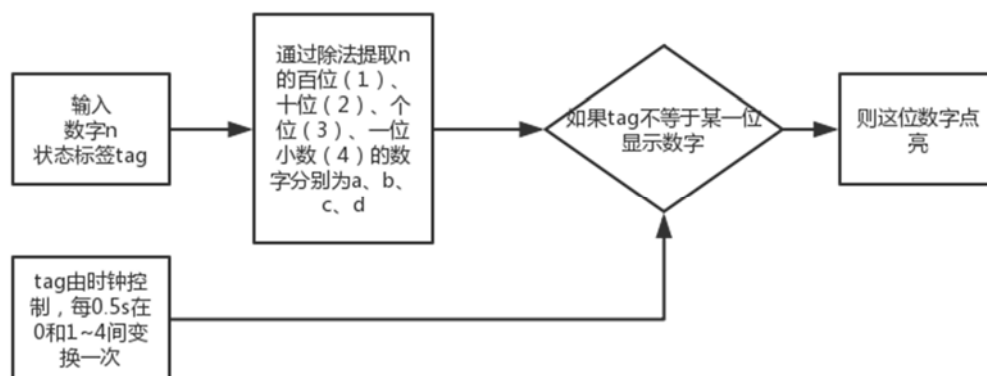


图 4 点灯代码流程图

如果实现“正常显示数字 520.1，并且十位数字进入编辑状态”的功能，则 $n=520.1$ 。经过提取后，数码管从左至右四个位置分别显示 5、2、0、1，tag 的值为 2。每 0.5s，tag 由 2 变为 0，此时十位数字点亮；再过 0.5s，tag 由 0 变为 2，十位数字熄灭，由此完成一个周期，在循环结构作用下，十位数字不断闪烁。

而蓝牙收发实际上是通过串行通信（USART）实现的。在串行通信中，一个字符一个字符地传输，每个字符一位一位地传输，并且传输一个字符时，总是以“起始位”开始，以“停止位”结束。在进行传输之前，双方一定要使用同一个波特率设置。波特率就是每秒钟传输的数据位数。

常用的两种基本串行通信方式包括同步通信和异步通信。我们使用的是异步通信。异步通信规定传输的数据格式由起始位（start bit）、数据位（data bit）、奇偶校验位（parity bit）和停止位（stop bit）组成^[1]。所以，需要进行蓝牙模块的初始配置。

为此，我们购置了 HC-05 蓝牙模块。HC-05 简单易学，通过 TTL 转 USB 线，用电脑对 HC-05 发送 AT 指令进行相关配置。我们的蓝牙设置如下：

蓝牙设备名称：MDXWZ

串口参数：波特率 115200，停止位 1 位，无奇偶校验位。

模块角色：从（slave）。在这个模式下，蓝牙设备可以被搜索到，而不会主动搜索其他蓝牙设备。

配对码：1234（默认）

配置好蓝牙模块后，需要在单片机端配置相同的串口通讯参数。对于蓝牙收发数据，我最开始采用的是 HAL 库轮询模式接收数据，通过在主函数循环体内编写收取函数，不断接收蓝牙的数据并进行清零。这种方式简单易写，但由于循环体内同时有数码管显示函数，不断进行接收会占用单片机一定的时间，导致数码管不断闪烁，无法达到一直显示的效果，而且空闲状态下这种接收方式十分占用资源。因此，接下来我采用了串口中断接收蓝牙数据的方式。当蓝牙发送的数据达到指定字符数时，触发中断，单片机主程序冻结，保存现场，转而实现中断程序，即对接收数据进行处理。中断程序处理完毕后，再转而继续进行主程序。这种方式在数码管正常显示的同时，做到了接收蓝牙数据，但是由于触发中断的字符数是固定的，难以做到不定长接收。因此，我又采取了 DMA 加串口 IDLE 空闲中断模式。DMA 指直接存储器访问功能，用于在外设与存储器之间以及存储器与存储器之间提供高速数据传输。可以在无需任何 CPU 操作的情况下通过 DMA 快速移动数据^[1]。因此，程序开始阶段开启 DMA 和 IDLE 空闲中断，当一次数据接收完成时，触发空闲中断，中断函数调取接收数组对接收到的数据进行

处理。这样，就实现了蓝牙配置的全过程。配置实物如图 5。

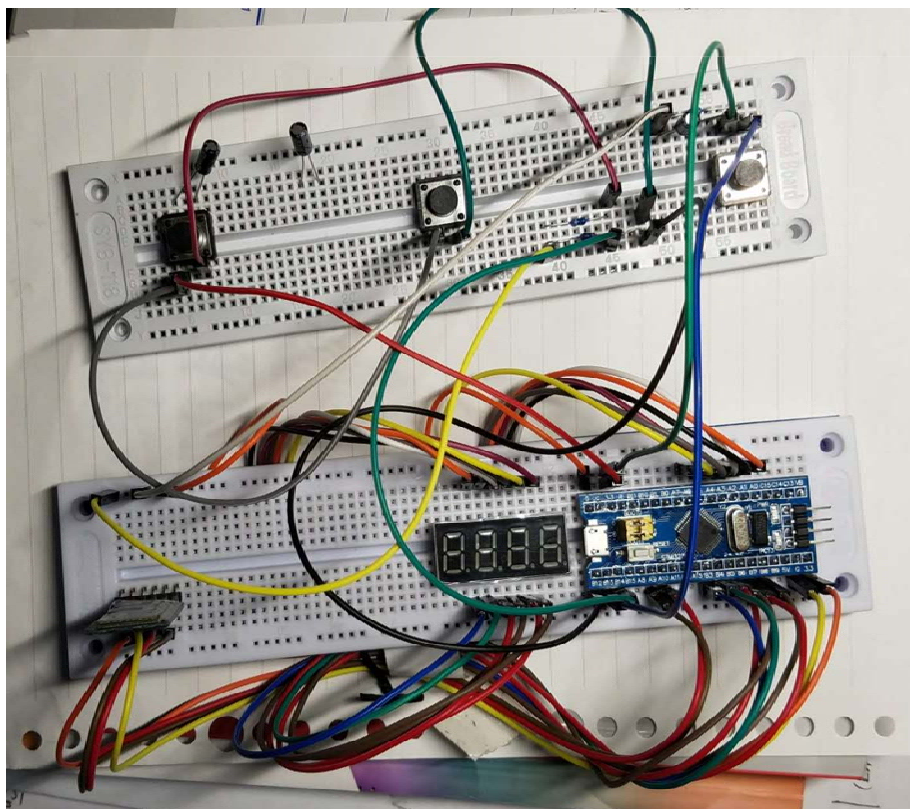


图 5 单片机实物图

对于按键方面，则采用最基本的下降沿中断进行处理。

4.2 测温系统

对于温度信号输入部分，电路主要分为温度采集部分、信号调理部分和模数转换部分三大块。

对于温度采集，我们采用 PT100 铂电阻作为温度传感器，另外采用三线制桥式测温电路。

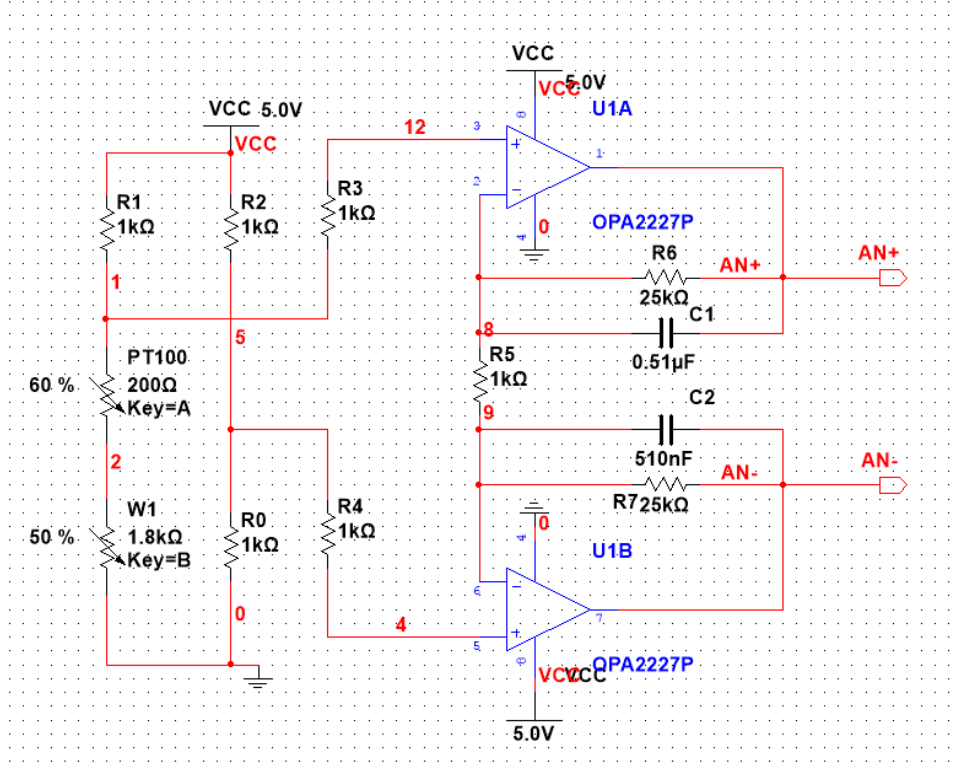


图 6 测温电路图

如图, R_T, R_0, R_1, R_2, W_1 组成三线制桥式测温电路, 可以避免导线电阻 r_0, r_1, r_2 的影响, 其中 W_1 是标定电阻, 当温度为 0 摄氏度, $R_{T_0} = 100\Omega$, 调节 $W_1 = 900\Omega$, 此时电桥平衡, 输出电压为 0。当电阻温度升高是, 电测温桥输出的电压值为

$$V = \left(\frac{W_1 + R_T}{W_1 + R_T + R_1} - \frac{W_1 + R_{T_0}}{W_1 + R_{T_0} + R_1} \right) V_{CC}$$

由 PT100 的温度与电阻的关系 $R_T = R_0(1 + At + Bt^2)$, 其中 $A = 3.96847 \times 10^{-3}$, $B = -5.847 \times 10^{-7}$, 我们可以计算出 $V_{50^\circ\text{C}} = 0.02438\text{V}$, $V_{100^\circ\text{C}} = 0.04794\text{V}$, 由于温度从零开始标定, 所以 V 的输出范围为 $0 \sim 0.04794\text{V}$ 。

对于信号调理部分, 图中的运放 U1A、U1B 和电阻 R_5, R_6, R_7 组成了双端入双端出的仪表放大器, 它具有低噪声、高输入阻抗、低输出阻抗等特点, 我们可计算出其放大倍数的表达式为

$$A_u = 1 + \frac{R_5 + R_7}{R_6}$$

R_5, R_6, R_7, C_1, C_2 构成了两个一阶低通滤波器, 来排除高频信号的干扰。采集到了温度信号为直流信号且频率较小, 故取低通滤波器的截止频率为 $f_c = 10\text{Hz}$, 可求得

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{2\pi f_c R_5} = 0,64\mu F$$

仪表放大器的 AN+和 AN-接口与 AD7705 模数转换器相连，原理图如图 6。

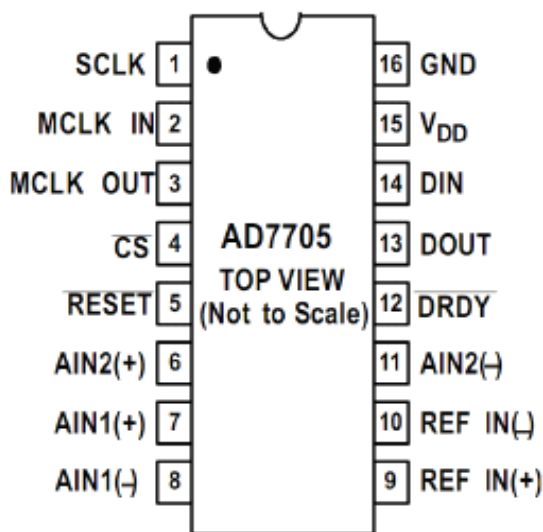


图 7 AD7705 引脚分配图

AD7705 是 16 位的双通道差分输入的放大器，我们采用 $V_{REF} = 2.5V$ 并通过图 7 电路提供基准电压，该 AD 转换器能识别的最小输入电压为 $V_{inmin} = \frac{V_{REF}}{2^{16}-1} = 38.15\mu F$ 。

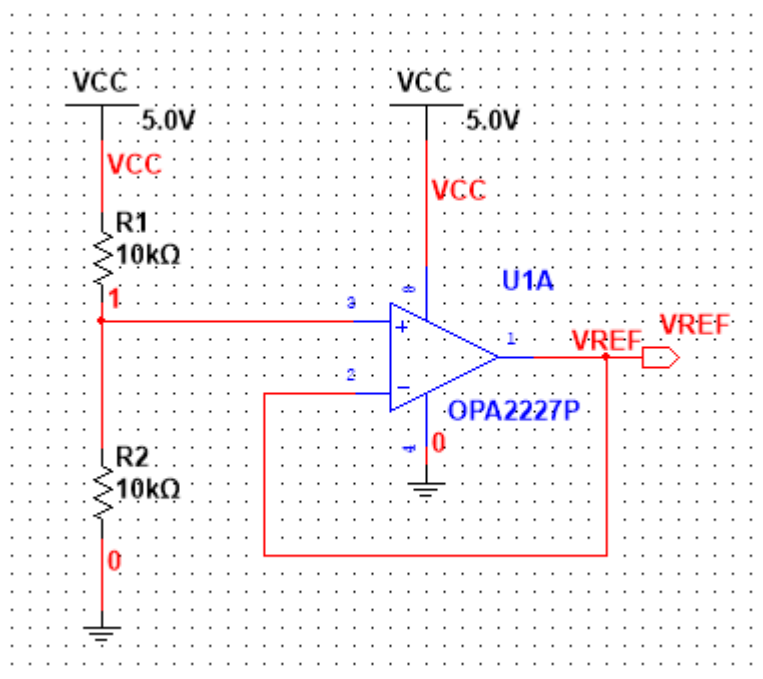


图 8 基准电压提供电路

接下来计算放大器的放大倍数。由铂电阻的电阻温度关系我们可知，当温度

变化 0.01°C 时, $\Delta R_T \approx 0.004\Omega$, 可知 $T=100^{\circ}\text{C}$ 时有最小 $\Delta V_{0.01} = \left(\frac{W_1 + R_T + \Delta R_T}{W_1 + R_T + \Delta R_T + R_1} - \frac{W_1 + R_T}{W_1 + R_T + R_1} \right) V_{CC} = 1.2\mu\text{V}$, 所以放大器最小放大倍数为 $A_{umin} = \frac{V_{inmin}}{\Delta V_{0.01}} = 32.43$ 。当 $T=100$ 摄氏度时, 电桥有最大输出电压, $V_{100^{\circ}\text{C}} = 0.04794\text{V}$, 考虑 AD 满幅值输出所以放大电路的最大放大倍数应为 $A_{umax} = \frac{V_{REF}}{V_{100^{\circ}\text{C}}} = 52.15$, 考虑到电路存在干扰且温度采集存在一定误差, 输出最大电压不能达到满幅值, 我们取 $A_u = 51$, 于是得到 $R_6 = 1\text{K}\Omega, R_5 = R_7 = 25\text{K}\Omega$ 。

在 Multisim 中, 我们对该输入电路进行了仿真, 仿真结果如图 8。通过给定 R_T 的数值, 可以看到电路输出与理想值较为接近的电压值。

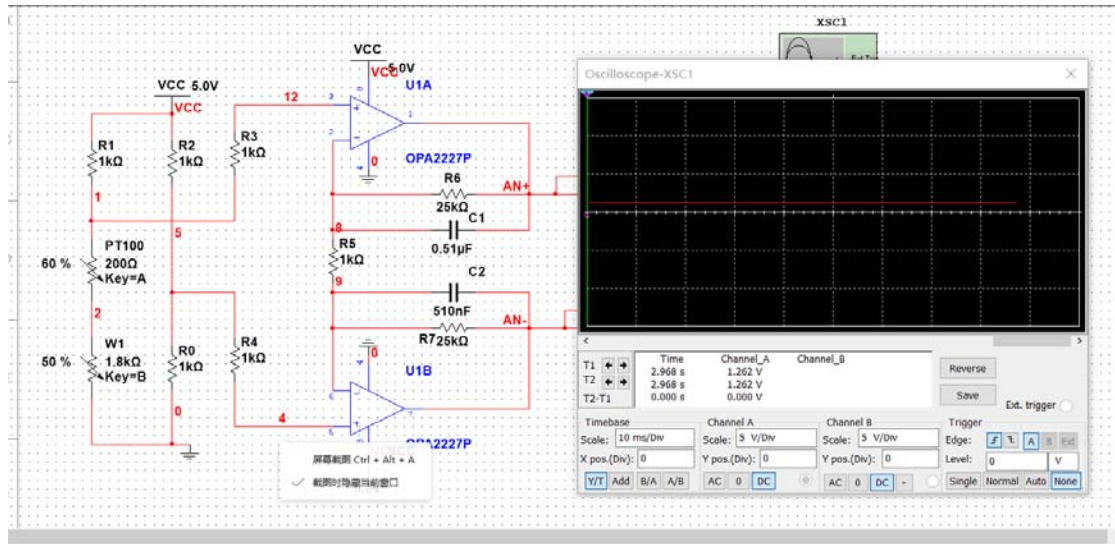


图 8 仿真结果

4.4 通讯、显示模块和手机端控制部分

加比较器的按键消抖电路如图 9，电路输出与单片机相连。我们共设计了三个按键以设定温度，分别用以换位、温度调高、温度调低。按键电路的难点主要在于实际调试。同时我们已初步完成了按键电路的初步接线和调试（缺少施密特触发器），目前存在的问题是按键的功能还不够稳定，电路中的元器件还不够完善。

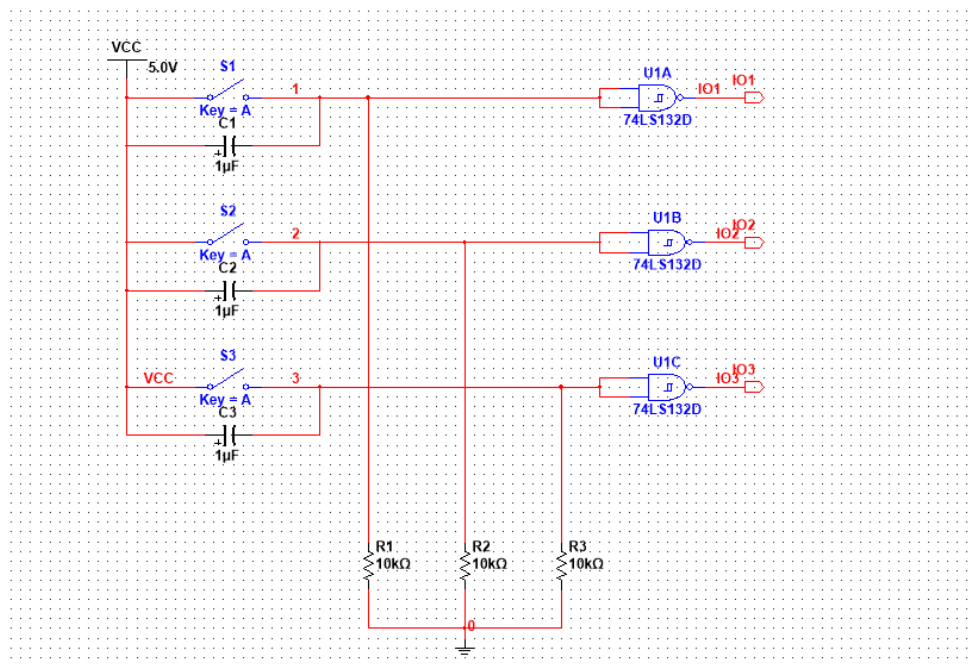


图 9 按键电路

对于数码管显示电路，我们采用如图四个数码管和译码器的组合，可以显示四位数字的温度值，精确到小数点后一位，具体电路如图 10。单片机输出显示信号，译码器用以减少单片机的接入端口。目前显示电路在未连接译码器的情况下已初步接线、调试好，能够正常行使显示功能。

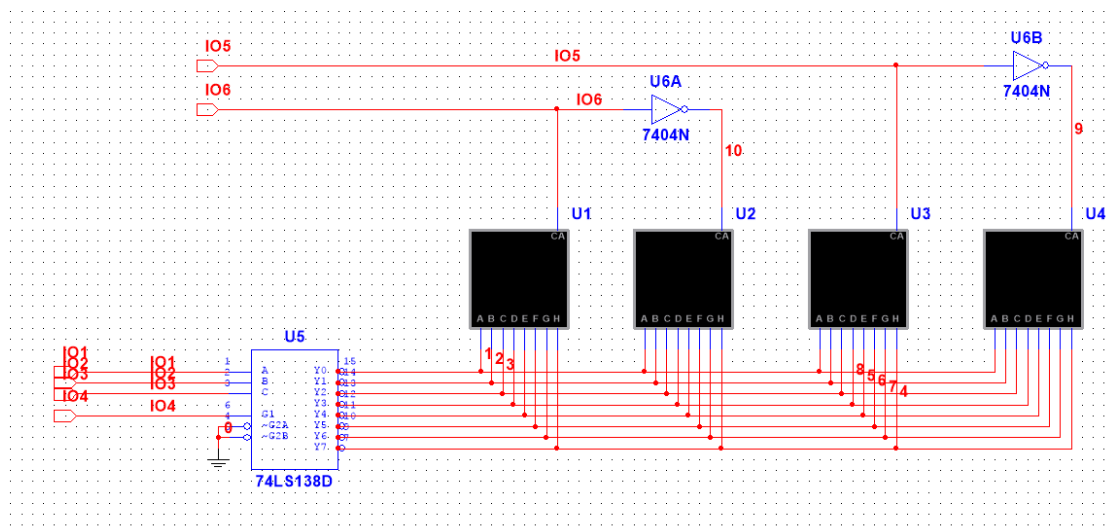


图 10 数码管显示电路

对于手机端显示部分，手机端显示部分我们组采用开发微信小程序的方式进行温度显示和手机端控制。目前已经成功创建了小组的微信测试版小程序，学习了小程序开发者工具的使用，主要学习了开发者工具的编辑和调试功能，如图 11。除此之外，我还简单的学习了 JavaScript 语言，由于完成课题中的小程序并不需要完整的 Java 知识，所以只学习了基本的逻辑。小程序主体文件的三个部分分别以 js,json.wxss 结尾，分别表示小程序的逻辑、公共设置和公共样式表。现在已经完成了小程序界面的 UI 界面设计，完成了 view 视图设计(图 12)，同时也学习了蓝牙接口的相关知识。

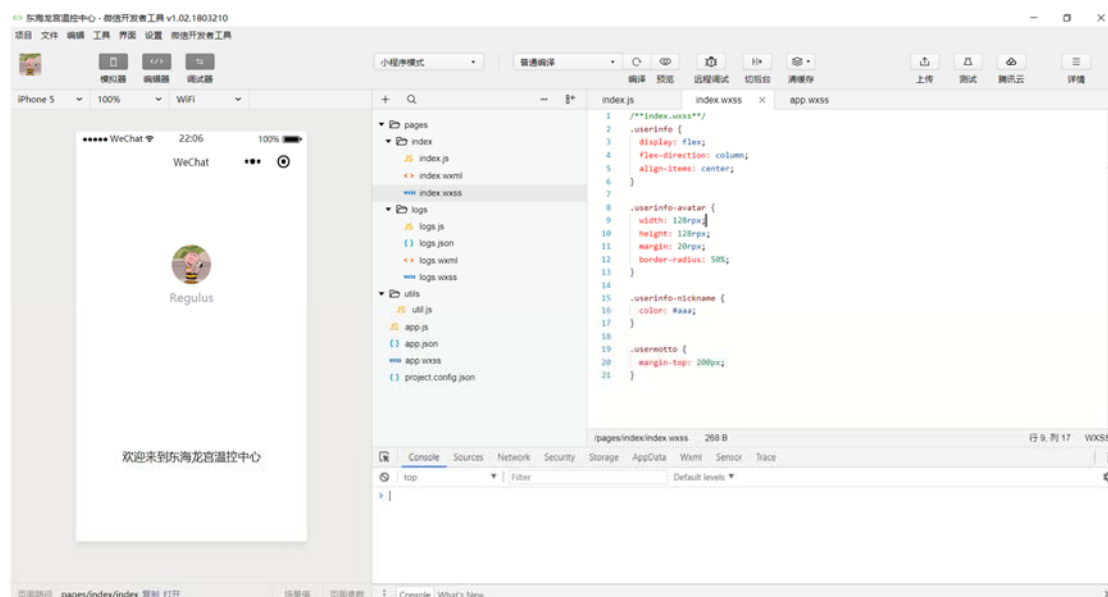


图 11 编辑和调试工具

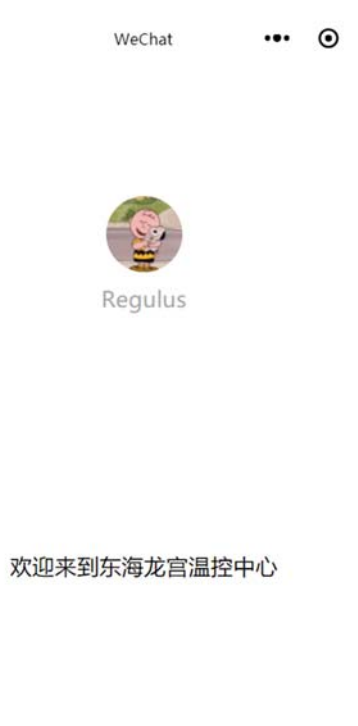


图 12 view 视图设计

4.5 加热与冷却系统

按照在 5min 内将水从室温加热到 100℃ 的标准计算：

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = \rho V c \cdot \Delta T$$

$$P = \frac{Q}{t}$$

加热丝功率应为 650W，由于加热丝所需功率较大，因此选择额定电压为 220V 的加热丝，由于对制冷的需求不太高，因此制冷片选择 12V50W 左右即可。设计最开始计算加热丝所需功率时计算错误，原本采用额定电压为 24V 的直流加热丝；后来发现太小不能满足需求，而且半导体制冷片的额定功率多为 12V，与 24V 不匹配，电路中既需要 24V、12V 又需要 5V，电路过于复杂，而且降压过程中对变压器的功率要求高，导致变压器体积大、重量沉，不适合应用在电路板上。最终我们决定：加热丝直接采用 220V 供电，既降低了电路设计的难度，又减小了电路所占的体积。

接着，完成了电源电路的设计和仿真(包括 220v 电压转为 12v 供给制冷片，再将 12v 电压转为 5v 恒压源供给单片机和测温电路)，购买了相应的电路元件，

具体设计电路如图 13。仿真时，发现 Multism 里没有元件的国产型号，所以我们上网查找所用元件的替代型号，进行仿真。最初设计加热电路时，主要参考了资料中的电路。但经过实际仿真发现，资料中的电路设计的有问题，不能正常工作；只能在原有电路基础上进行分析，找出错误的地方进行改进。

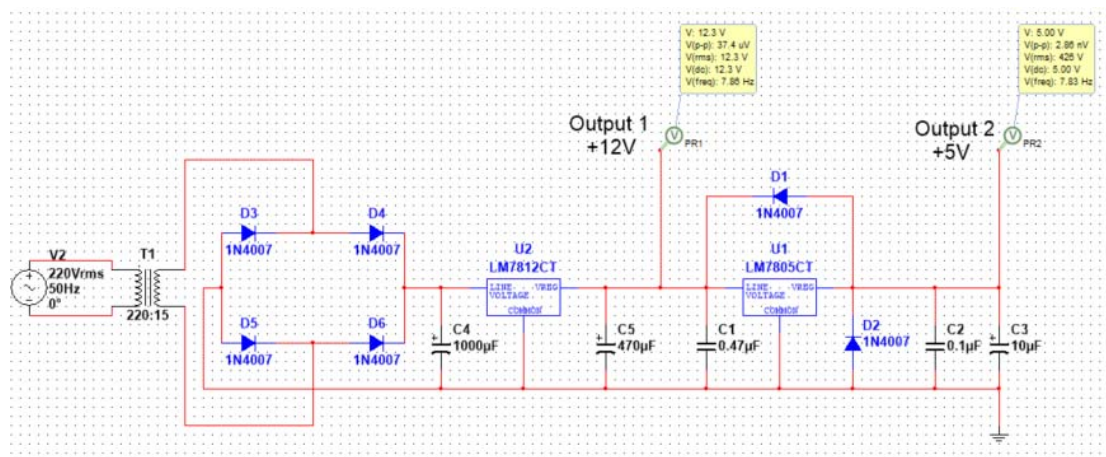


图 13 电源模块电路图

经仿真，将输入电压分别设为 180V、220V、250V 时，均能输出 12V 和 5V 的稳定电压，说明稳压性能良好。

最后，完成了从单片机输出控制制冷片和加热丝的电路的设计、仿真，并在面包板和洞洞板上完成了元器件的连接和验证。具体电路如图 14，实物图如图 15。

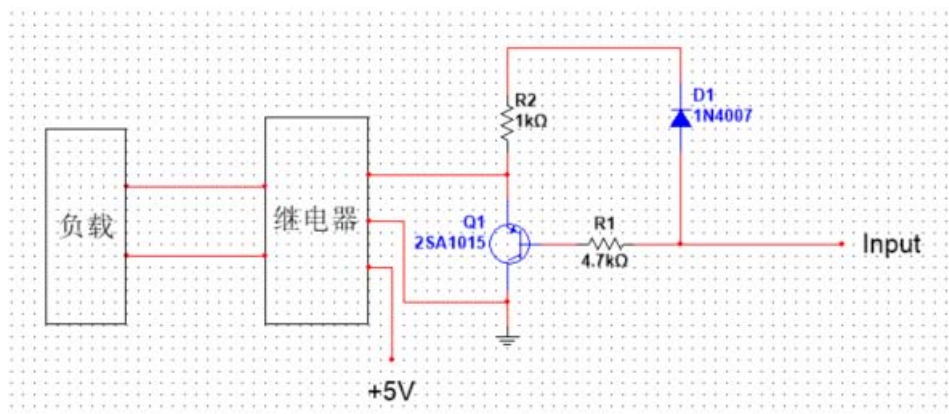


图 14 单片机输出控制电路图

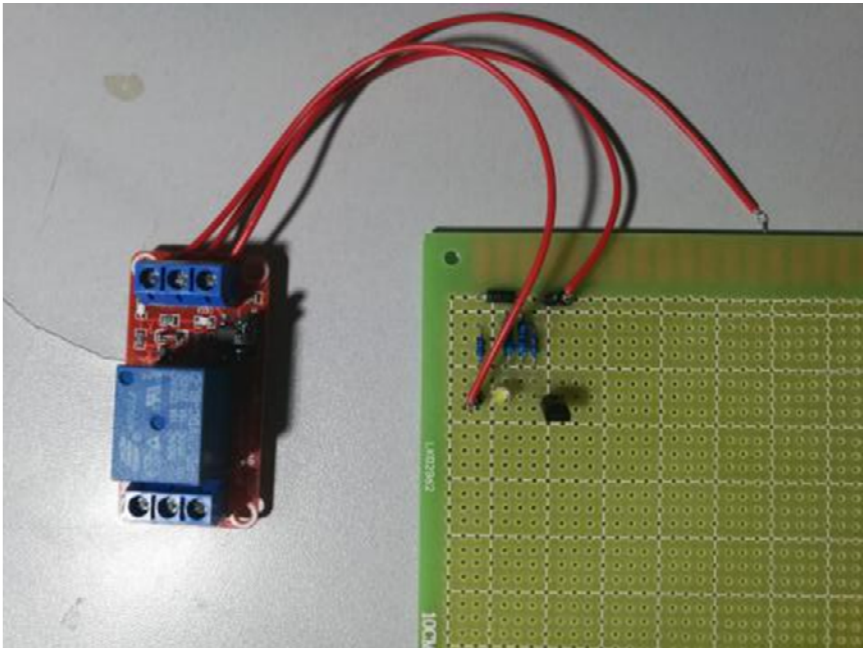


图 15 控制电路实物连接图

4.6 实物设计部分

经过讨论，为了使恒温箱具有一定的实用性以及一定的可行性，我们确定恒温箱内胆尺寸为 300mm*200mm*150mm，预计可以装水 6L，设计工程图如图 16。

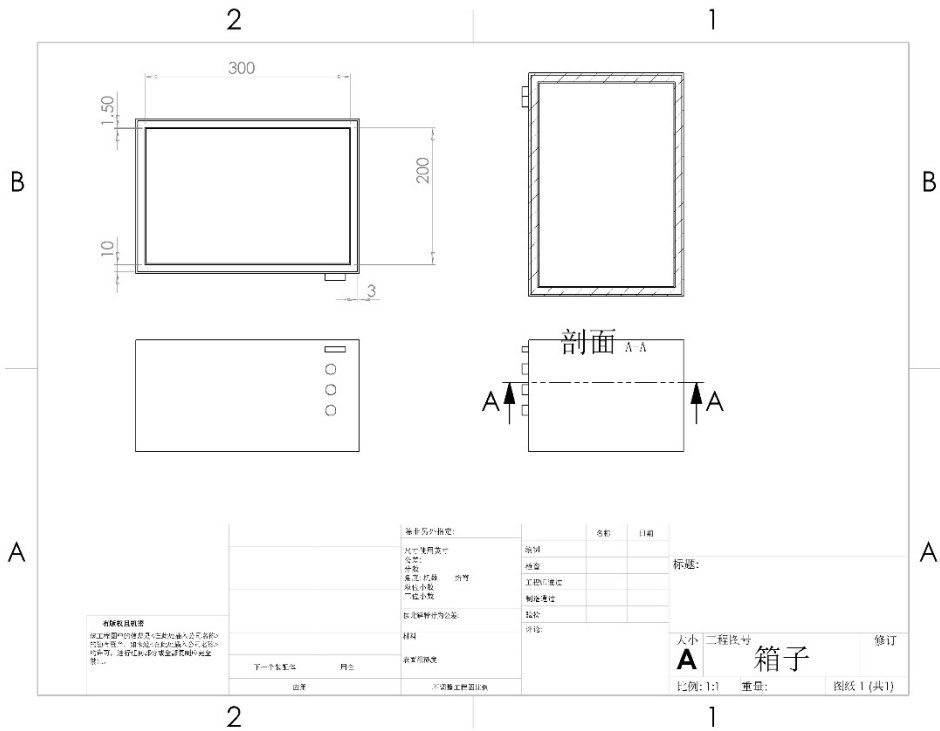


图 16 水箱设计工程图

整个水箱分为三层，如图 17。



图 17 水箱设计效果图

最内层起盛水作用，要求可以盛放开水，耐用可靠，最终选定由不锈钢制作。中间的隔温层起保温作用，减小外界变化对系统的影响，便于温度控制；同时也可以减少内部热量的散失，降低恒温加热功率，节省能源。隔温层最终选用 10mm 硅酸铝陶瓷纤维毯制作。最外面是木质外壳，木质材料易于加工，简洁美观，而且绝缘、防水（刷清漆后），可以起到漏电保护作用，具有一定的安全性。我们最终选用 3mm 椴木层板进行外壳制作。在水箱的侧面我们设计了把手，方便使用时搬运水箱。数码管、按钮在正前方靠右的位置从上到下一字排开，同时按键设计直径 15mm，方便调节温度。

水箱内部放置加热丝与铂电阻测温器，水箱底部为支架结构，其中的空间用于放置电路板、制冷片以及散热风扇。

定制的不锈钢材质恒温箱内胆如图 18。



图 18 水箱实物图

五、后续研究内容

5.1 目前需要完成的任务

1. P、I、D 参数的获取以及 PID 电路设计。
2. 用 Matlab 对加热丝、制冷片分布在不同位置时恒温箱中的热量分布进行仿真，找出加热丝和制冷片的最佳布局，使箱内热量分布尽可能地均匀。
3. 降温部分和电机具体位置的确定。
4. Vcc 的稳定与否是测温电路能否精确测温的关键，因此必须要连接电源模块实物，并检验电源电路在输入电压不稳的情况下输出电压是否稳定在 5V。
5. 水箱外壳的制作与处理。
6. 电路的具体搭接、调试、优化。
7. 小程序部分蓝牙功能的实现。经过之后的了解，小程序的编写不仅需要 Java 基础，还需要简单学习 wxml 语言的相关知识。所以之后的工作细化为，在小程序上创建一个 input 单行输入框、text 文件输出和 button 按钮并确定相关功能。然后将蓝牙 API 代码载入小程序并调试，使小程序可以使用利用手机上的蓝牙与外界蓝牙模块进行连接。最后实现信息交互功能。

5.2 未来计划

第十至十一周

赵谦 雷彤彤：完成其余电路设计，搭接电路，解决实际问题。

李谨杰：完成 PID 程序的编写，实现功能，试验确定 PID 参数。

杨曼鑫：小程序实现功能。

第十二周： 绘制 PCB 板图，交由商家制板。

第十三周：水箱外壳制作完成。

第十四周：预定设计目标全部完成，之后进行作品优化。

参考文献

- [1] <http://www.waveshare.net/study/article-644-1.html> STM32CubeMX 系列教程 5:串行通信(USART)
- [2] <https://wenku.baidu.com/view/7fbbbd83a8956bec0875e301.html> 多路温度监测与控制电路设计
- [3]http://www.elecfans.com/article/83/147/2016/20160918436213.html?_t_t_t=0.2331340981181711 220v 转 12v 电源电路分析
- [4]杨艳华, 汪鲁才, 艾琼龙,等. 恒温水浴温度复合智能控制方法与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2010, 15(8):85-88.
- [5]赵贺, 陈学银. 机械开关硬件消抖电路设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2010(6):53-54.
- [6]<https://wenku.baidu.com/view/e1d6a67cba1aa8114431d971.html> PT100 温度采集说明