

浙江大学

本科实验报告

课程名称：电子电路系统综合实验

姓 名：黄嘉欣 刘懿萱

学 院：信息与工程学院

系：信息与工程学系

专 业：信息工程

学 号：3190102060 3190102345

指导教师：楼东武 陈鹏飞 崔宁

2021 年 7 月 18 日

专业：信息工程
姓名：黄嘉欣 刘懿萱
学号：3190102060
3190102345
日期：2021 年 7 月 18 日
地点：东四-320

浙江大学实验报告

课程名称：电子电路系统综合实验 指导老师：楼东武 陈鹏飞 崔宁 成绩：_____

实验名称：基于单片机和蓝牙的心率计设计 实验类型：设计性实验

一、项目背景

随着全球科技与经济的飞速发展，关爱生命与健康已经成为全人类的共同追求。

众所周知，心脑血管疾病是危害人类生命健康的主要疾病之一，且近年来，由于人们的饮食习惯不合理、生活节奏加快等原因，心脑血管疾病的发病率更是呈现出逐年上升的趋势。如何科学及时地对人体心血管健康进行监测，已成为一个越来越重要的研究课题。

自上世纪 80 年代以来，各种应用型人体心率传感器被不断开发，但大部分都被常用于大型医疗机构中，无法满足患者随时随地自我检测的需要。为了补足这方面的缺陷，本项目以设计出一款便携、功能齐全的心率计为目标，利用光电传感器检测人体内血液流动时对光的透过率或反射率不同而将其转换成电信号的方法对用户心率进行检测，为预防心血管疾病贡献出一份力量。

二、实验目的

- ① 学习掌握用 STC12C5616AD 单片机设计硬件电路；
- ② 学习掌握红外收发管、蓝牙模块及 LCD1602 液晶显示屏的使用；
- ③ 进一步掌握 PCB 电路板的设计和制作；
- ④ 学习单片机的编程与功能实现。

三、实验任务与要求

- ① 使用 STC12C5616AD 设计心率计，要求实现功能：
 - a) 采用红外传感器，将人体心率脉动转变成为电信号，测量用户心率；
 - b) 设计有放大、整形电路，能够将微弱的模拟电信号放大、整形为脉冲；
 - c) 输出有 AO、DO 两种；

- d) 将用户心率信息显示在 LCD1602 显示屏上，并通过蓝牙模块发送到手机串口；
 - e) 使用 AD 转换电路，处理脉冲数据并利用 MATLAB 绘出心率图；
 - f) 按键功能：按下蜂鸣。第一次按下开关后，开始测量用户心率；第二次按下开关后，结束测量；第三次按下开关后，心率信息清零；
 - g) 当用户心率异常时，蜂鸣器警报。
- ② 设计电路，完成相应器件的选择和参数计算，制作电路板；
- ③ 编制与调试心率计程序。

四、实验原理与设计

本实验采用 STC12C5616AD 单片机设计心率计，主要功能部分由单片机直接驱动，其中，红外收发管用于收集用户心率，将光信号转换为电信号，LCD 显示模块用于心率数据显示，蓝牙模块用于数据传输，蜂鸣器用于报警，按键用于功能转换。此项目既涉及到 STC 单片机硬件设计，也涉及到软件功能调试，故分为以下两个部分：

① 硬件设计

实验的设计参考电路图如下（未使用单片机）：

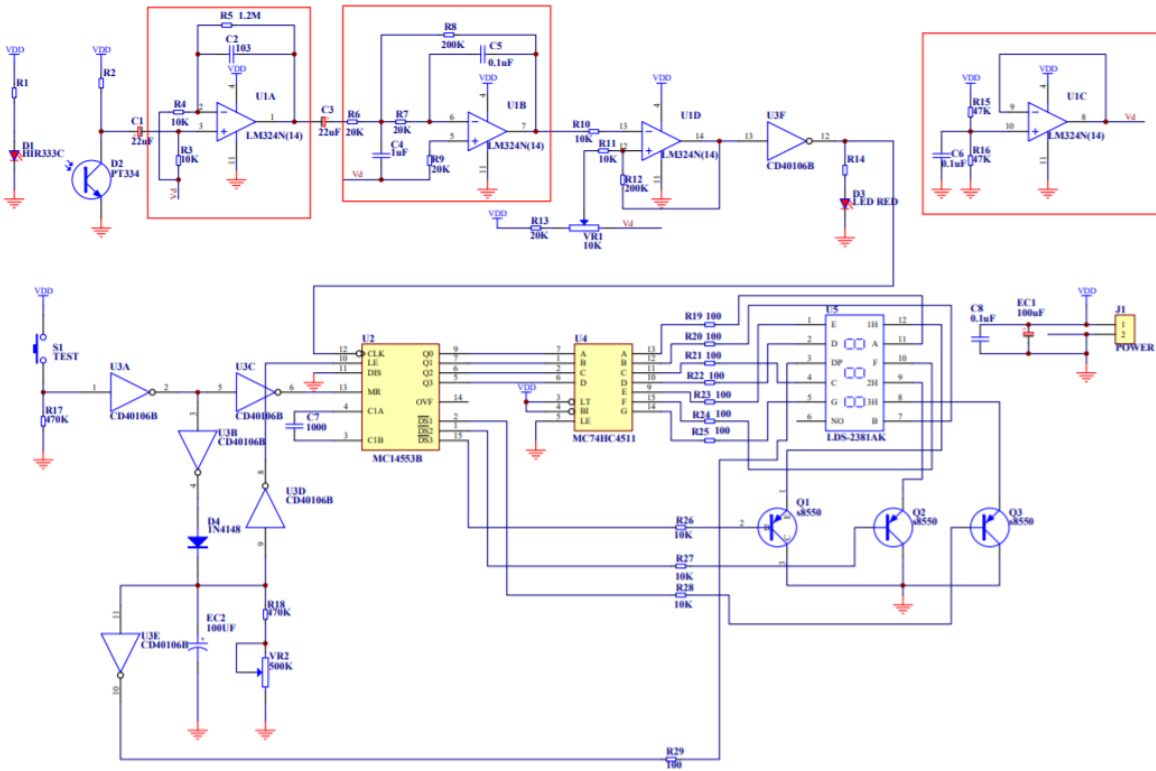


图 4.1.1 硬件设计参考电路图

根据实验设计要求，可以将心率计电路分为如下图四个模块，即：

- a) 光电转换电路，由红外光电传感器将血液脉动引起的光信号变化转换为微弱的电信号，信号幅度约为 40-60mV，频率约为 0.7-3.5Hz；
- b) 放大、滤波电路，将传感器传递出来的电信号进行放大、滤波；
- c) 整形电路，进一步将电信号转换为脉冲信号；
- d) 单片机控制电路，由单片机对脉冲信号进行分析、处理，并将结果输出到蓝牙模块与 LCD 显示屏。此部分功能主要由软件设计实现。

电路结构图如下：

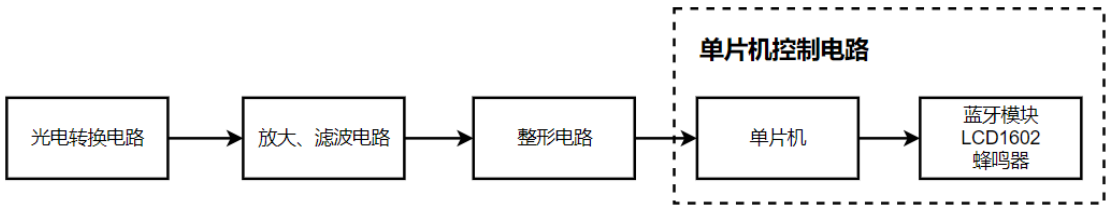


图 4.1.2 硬件设计电路流程图

② 软件设计

根据系统的总体功能，单片机需要对前端电路输入的脉冲信号进行分析、处理，并对 LCD 显示屏、蓝牙模块、蜂鸣器进行控制。考虑到不同按键次数所对应的功能模式不同，单片机还需要对按键进行扫描，以做到实时更新系统状态。其总体流程如下：

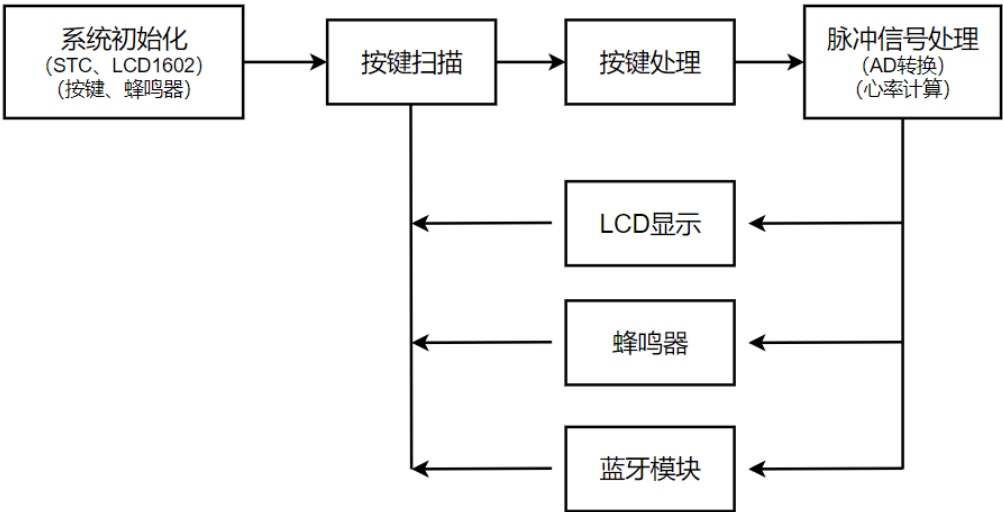


图 4.2 软件设计流程图

系统上电后即进行初始化，并进入到工作循环当中。每个循环包括 6 个部分，分别为按键、AD 转换、数据计算、LCD、蜂鸣器、蓝牙模块。通过按键扫描，程序将确定出系统当前所处的状态（复位、测量或结束），并在按键处理函数中设立标志位，从而为后

续数据处理及显示方式提供判断基准。当系统处于测量状态时，程序会对输入脉冲进行 AD 转换并计数，再根据测量的时间计算出用户心率，其计算公式如下：

$$heartRate = \frac{impulses}{endTime - startTime} \times 60$$

其中，*heartRate*为用户心率，*impulses*为一段时间内测得的脉冲数，*startTime*、*endTime*分别为测量的开始与结束时间。LCD 会根据当前工作状态显示对应的数据，蓝牙模块会将数据发送到串口，同时蜂鸣器会在用户心率过高或过低时报警（系统处于结束状态）。至此，一个工作周期结束，系统会进入下一个循环，直至电路板断电。

五、实验设备

- ① 单片机 STC12C5616AD
- ② 面包板
- ③ 红外收发管、LCD1602、蓝牙模块、OP07、LM393、蜂鸣器
- ④ 开关、导线、电阻、电容、LED 灯、晶振等

六、电路仿真与设计结果

① 原理图设计

根据参考电路图和示例代码，结合单片机实物，我们可以确定各个功能模块与单片机管脚接口的对应连线关系为：

表 6.1.1 功能模块与单片机接口

功能模块 Pin	单片机 Pin	功能模块 Pin	单片机 Pin	功能模块 Pin	单片机 Pin
LCD VSS	GND	LCD DB0	P1.0	LCD DB5	P1.5
LCD VDD	5V	LCD DB1	P1.1	LCD DB6	P1.6
LCD RS	P3.2	LCD DB2	P1.2	LCD DB7	P1.7
LCD R/W	P3.3	LCD DB3	P1.3	SW-PB4	P2.1
LCD E	P3.4	LCD DB4	P1.4	BEEP	P2.0

设计步骤：

- a) 放置元件，合理布局：如图，点击在 Altium Designer 菜单“放置(P)->器件(P)”，在弹框中选择“...”，从安装的元件库中选择所需要的元件（注意封装的正确），命名并放置到画布的合适位置：

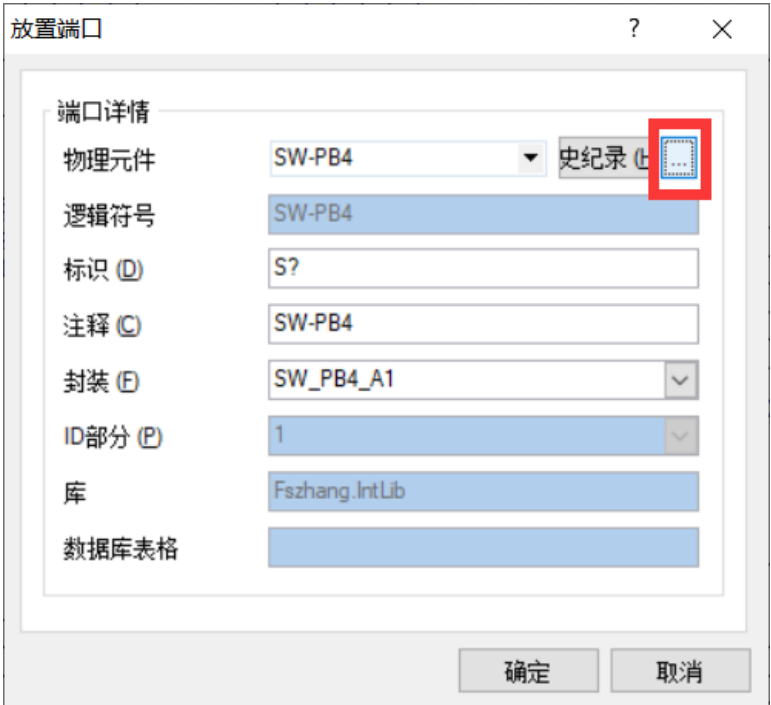


图 6.1.1 放置端口

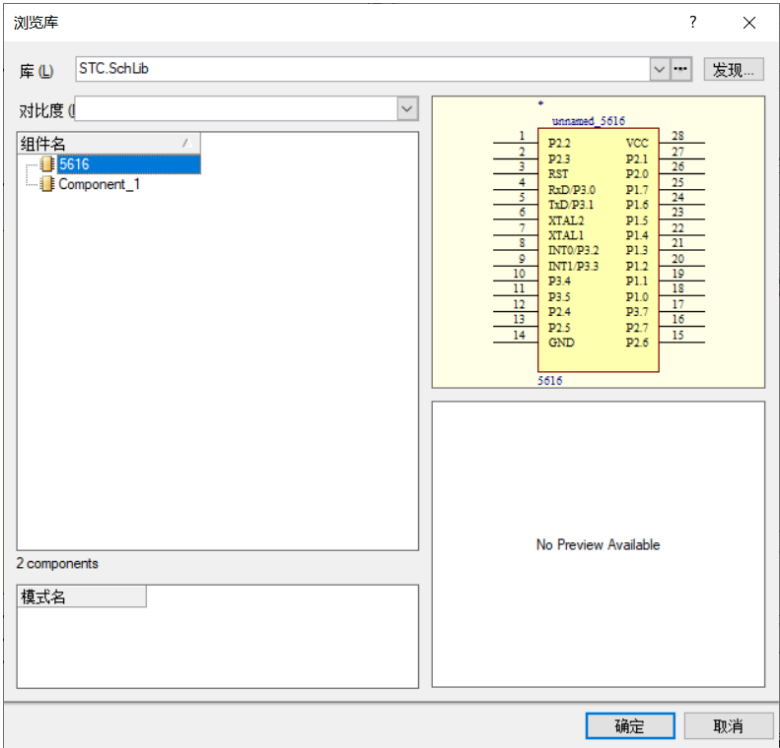


图 6.1.2 选择元件

b) 连线：所有元件放置完成后，根据管脚之间的对应连接关系进行连线。其中，元件管脚与单片机排针接口的对应关系如表 6.1 所示。在菜单中选择“放置线”，如下，光标将变为十字形，此时可以选择连线的起点、转折点和终点，从而将具有连接关系

的管脚连接起来；



图 6.1.3 放置线

c) 编译与修改：在菜单中选择“工程(C)->Compile Document *.SchDoc”，编译文件，并在下方“System->Messages”中查看编译信息。若显示有 Error，则需要对对应部分进行修正，直到没有报错为止，如图所示：

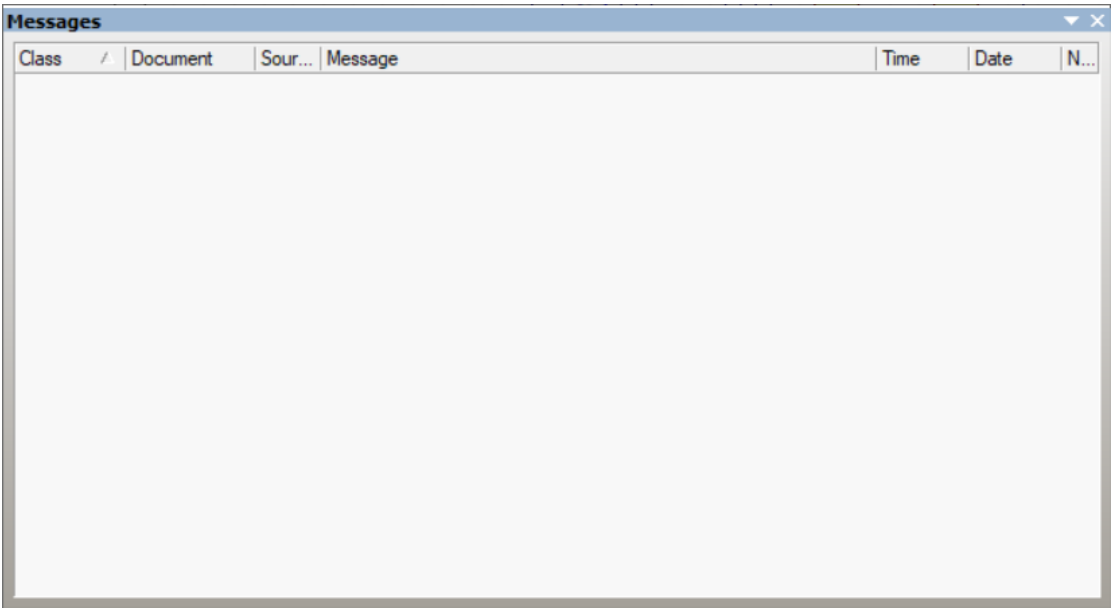


图 6.1.4 编译信息

最终得到的原理图如下图所示：

电路共分为 4 个模块，即光电转换、滤波放大、迟滞比较与 2.5V 产生。其中，滤波放大电路共有两级，第一级放大倍数为 30 倍，第二级放大倍数为 10 倍；迟滞比较器一端输入为放大后的光电信号，另一端为可调电压值，其变化范围为 2.5V–5V，可由滑动变阻器 R11 进行控制。比较器输出脉冲将接入 STC 单片机 P3.7 脚，并由程序进行分析、处理，进而控制 LCD1602、蓝牙模块以及蜂鸣器等的输出。

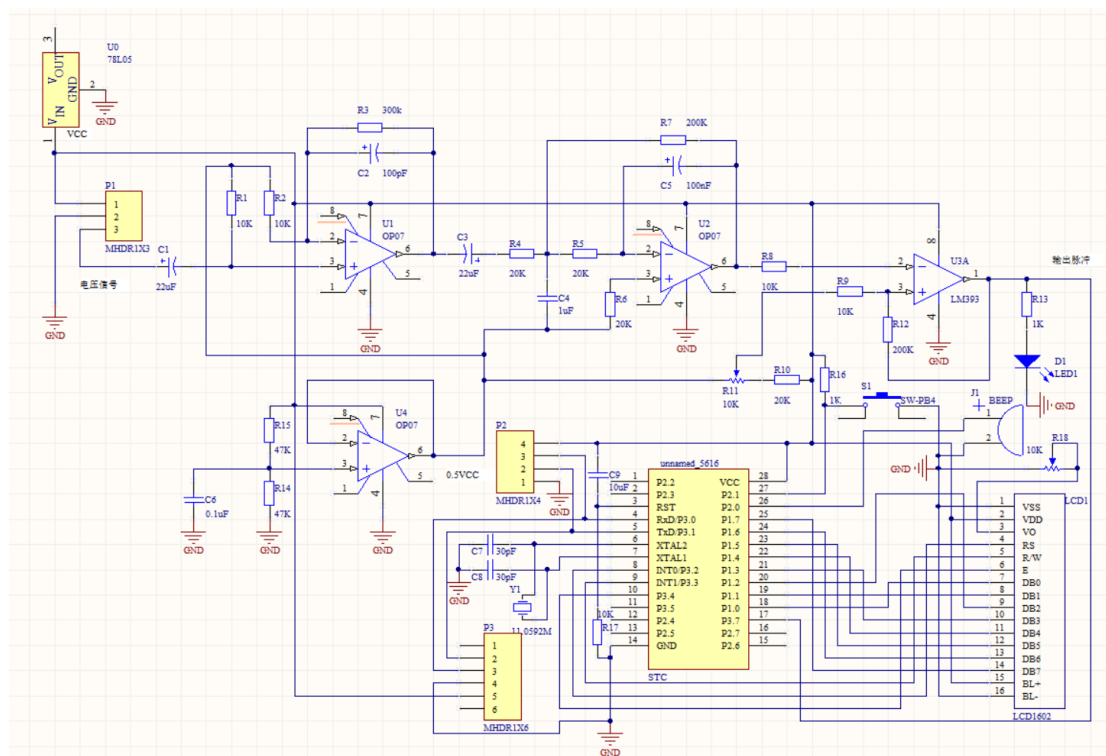


图 6.1.5 电路原理图

所用核心器件为：STC12C5616AD、红外收发管、LCD1602 液晶显示屏、蓝牙模块、单运放 OP07、双比较器 LM393、LED 灯、蜂鸣器、晶振、电阻、开关，列表如下：

表 6.1.2 所需元件列表

器件名称	数量
电源接口	1
红外收发管	1
单运放 OP07	2
双比较器 LM393	2
20k 滑动变阻器	2
单片机 STC12C5616AD	1
蓝牙模块	1
LED 灯	1
蜂鸣器	1
开关	1
LCD1602 液晶显示屏	1

晶振	1
----	---

② 电路仿真

a) OrCAD 仿真电路图:

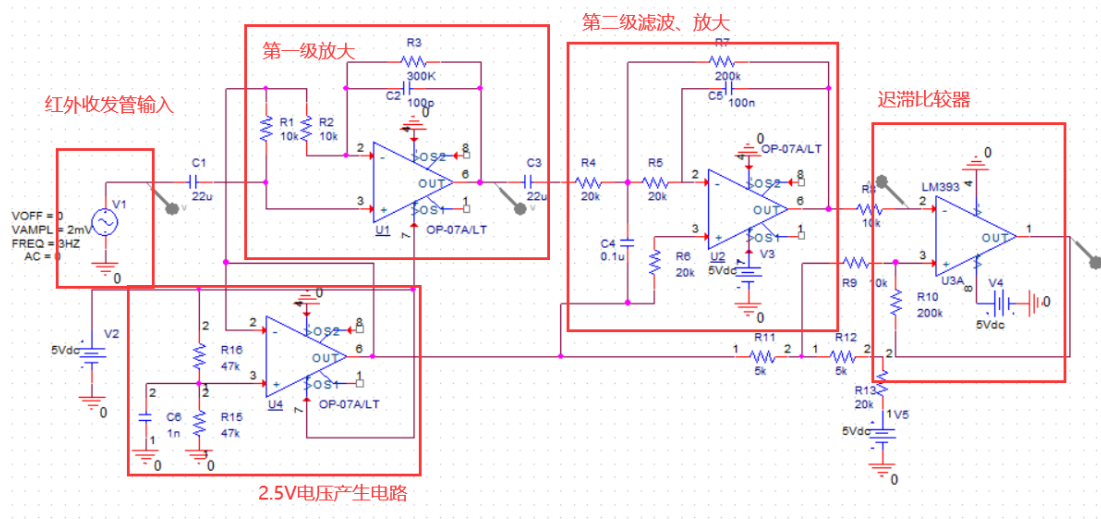


图 6.2.1 OrCAD 仿真电路图

其中，红外收发管输入使用幅度为 2mV，频率为 3Hz 的正弦信号进行模拟。

b) 仿真波形图:

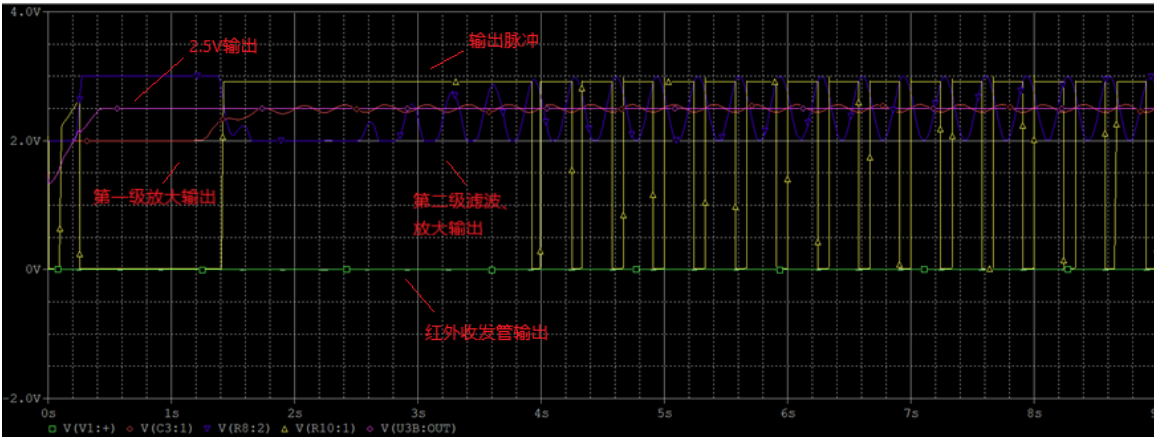


图 6.2.2 OrCAD 仿真输出波形

分析：如图，2.5V 电压产生电路的输出在一段时间后稳定在 2.5V 左右，满足设计要求；经过第一级放大电路后，电压信号的直流分量提高到 2.5V，幅度也有所放大，经过第二级滤波、放大电路后，电压幅度继续增大，从而与迟滞比较器的另一端输入电压存在取值上的周期性差异，使比较器输出为脉冲信号，并将其传输给 STC 单片机进

行处理。综上可知，电路设计正确。

③ PCB 版图设计

由②可知，①中电路设计正确，故可以开始 PCB 版图绘制。其步骤如下：

- a) 导入原理图数据：在工程下新建 PCB 文件并保存，点击菜单“设计(D)->Update PCB document”，在弹出窗口中选择“生效更改”、“执行更改”，如图所示：

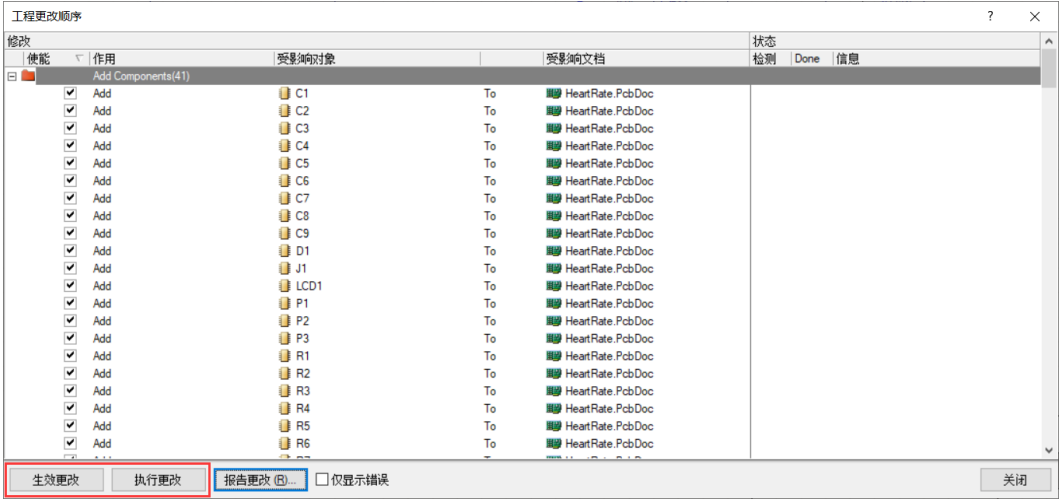


图 6.3.1 导入原理图数据

此时 PCB 中会出现所用元件封装，注意：导入原理图数据前需选择正确的元件封装。

- b) 设置 PCB 板大小、形状等：将板参数选项设置完成后，根据所需电路板大小，在菜单中选择“放置(P)->禁止布线->线径”，画出电路板的外形（10*10），如图：

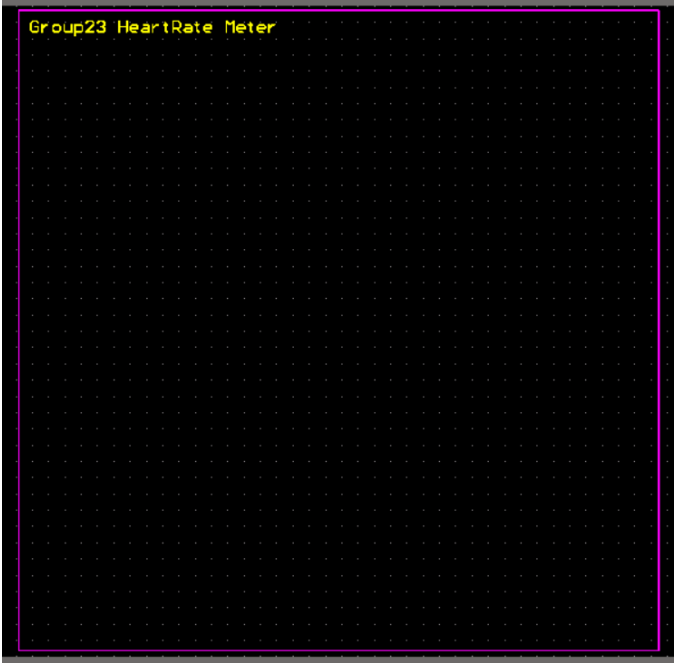


图 6.3.2 PCB 板形状

装
订
线

据此可以留出部分边距，选择“设计(D)->板子形状->按照选择对象定义”，裁剪出相应大小的 PCB 板：

- c) 合理放置元件(布局)、布线：将各元件放置在 PCB 板上合适的位置，尽可能使飞线短且交叉少，同时元件布局紧凑整洁；完成后，点击“放置(P)->Interactive Routing”，开始布线。在布线过程中，为了提高布通率和抗干扰能力，使电路联通更加整洁有序，我们选择了双面布线。最终得到的 PCB 版图如下：

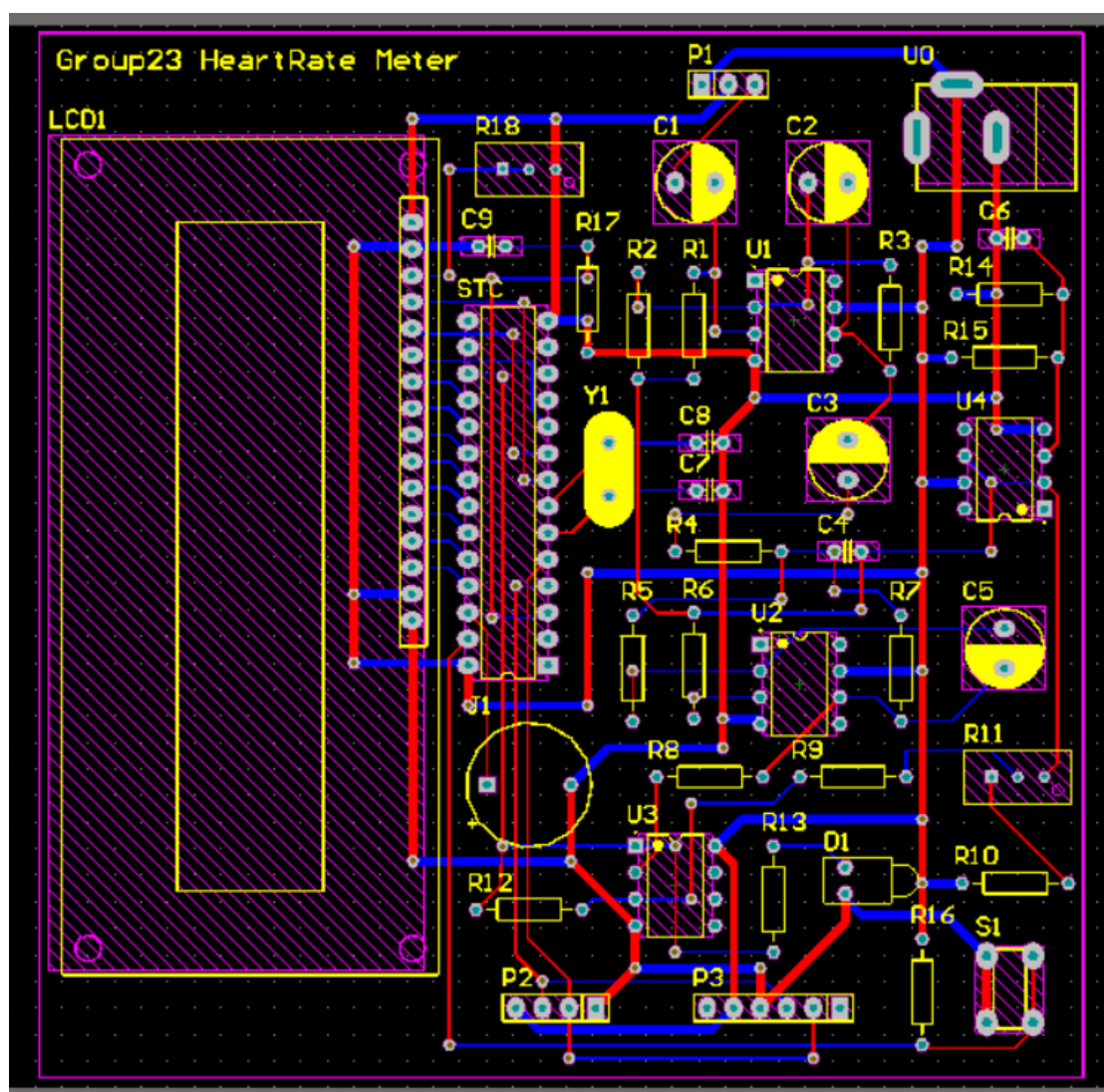


图 6.3.3 PCB 版图

七、实验调试与修正

① 硬件调试

- a) 接通电源，使用信号源输出正弦波，幅度为 0.484V，频率为 2Hz，接通到电路板上，

模拟红外收发管输出，如图所示：

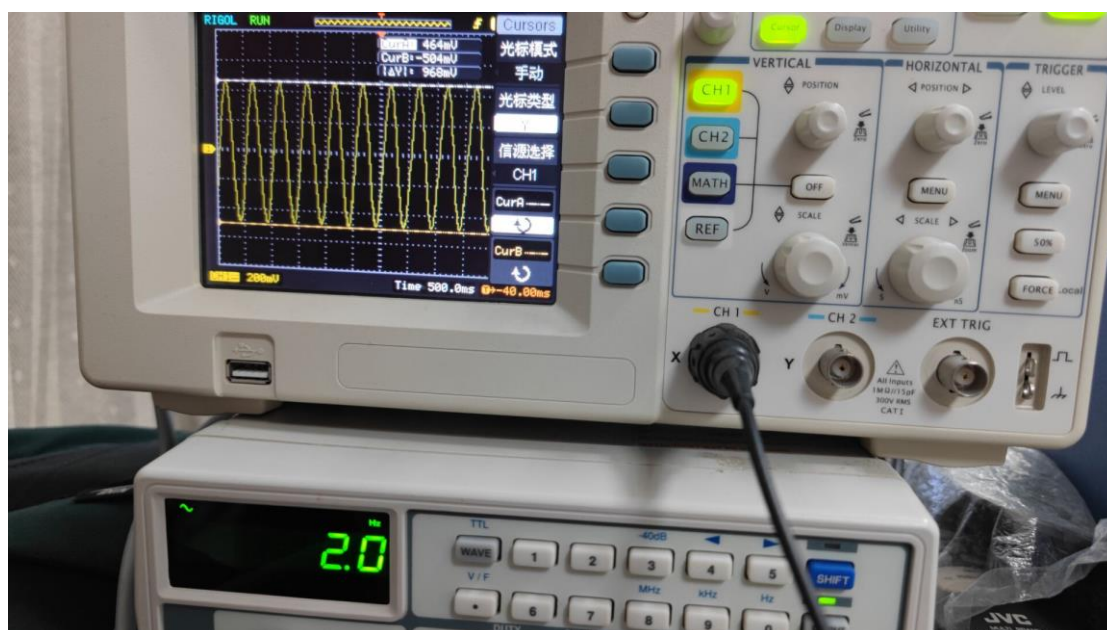


图 7.1.1 信号源输出波形

b) 使用示波器测量第一级放大后输出电压（即 U1 的 6 脚处电压），如图所示：

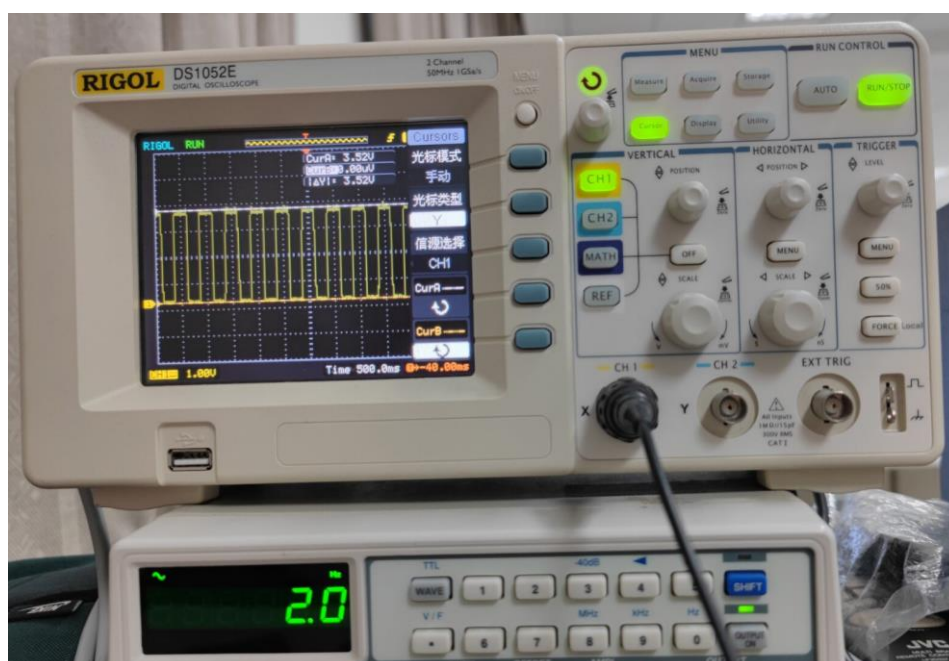


图 7.1.2 第一级放大输出电压

可以发现此时电压波形已被削顶，输出明显双向失真。一方面，这可能是输入电压过大所致；另一方面，可能是由于放大倍数过大使得运放饱和。考虑到运放供电为 5V，此级放大倍数为 30 倍，则输入电压必须小于 $5 \div 30 = 0.167V$ ，方能避免失真。将输入

电压幅度下调，输出波形趋于正常，与理论相符；

c) 使用示波器测量第二级滤波、放大后输出电压（即 U2 的 6 脚处电压），如图所示：

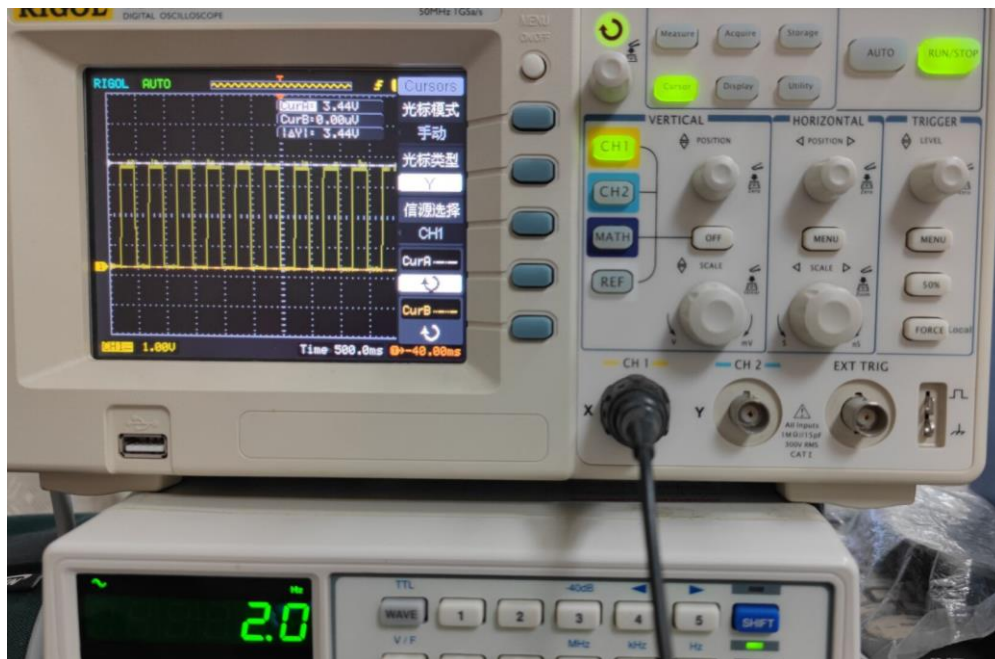


图 7.1.3 第二级滤波、放大输出电压

此时输出同样出现失真，且幅度与第一级差异不大。降低输入电压幅度，波形逐渐恢复到正弦形式；

d) 使用示波器测量比较器输出波形（即 U3 的 1 脚处电压），如图所示：

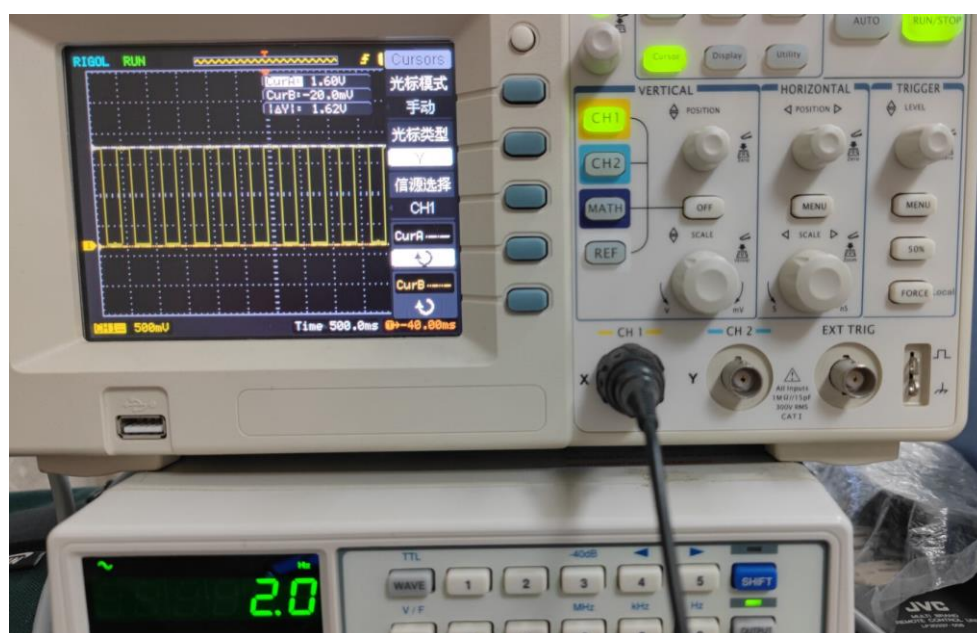


图 7.1.4 迟滞比较器输出电压

其为方波脉冲。调节滑动变阻器 R11，可以发现输出电压的频率也会发生变化，与预期输出相一致；

e) 切断信号源输入，将红外收发管连接到电路板上，测量心率。此时可以发现输入电压幅度很小、波动较大，存在较多噪音；

f) 使用示波器测量第一级放大输出电压，如图所示：

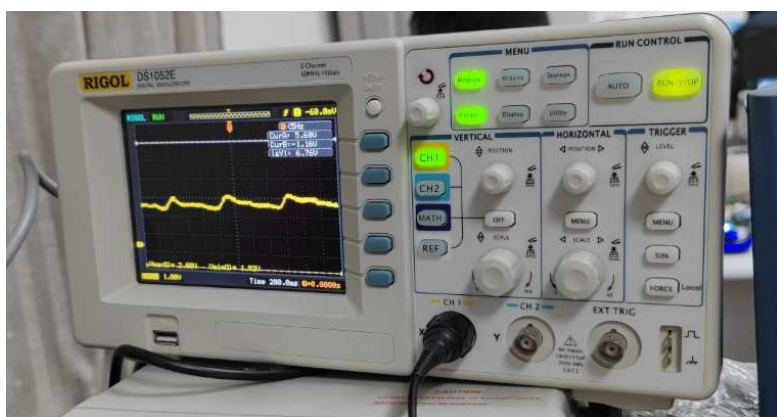


图 7.1.5 红外收发管第一级放大输出电压

波形相较于输入电压稳定了许多，且幅度约放大到原来的 30 倍，与理论放大倍数吻合很好；

g) 使用示波器测量第二级滤波、放大电路输出电压，如图所示：

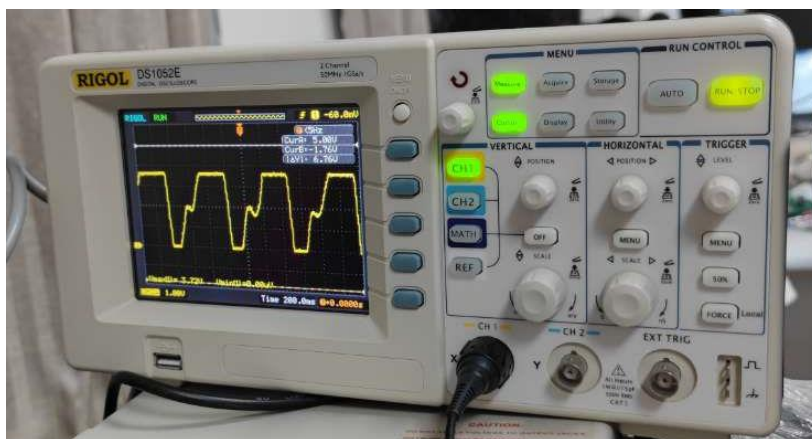


图 7.1.6 红外收发管第二级滤波、放大输出电压

此时输出幅度明显放大（放大倍数约为 4 倍），波形出现双向失真，运放饱和。为了避免引起迟滞比较器输出错误，可以合理调节滑动变阻器 R11 的阻值，改变 LM393 另一端的输入电压，从而除去运放饱和对输出电压的比较与判断的影响。

e) 使用示波器测量迟滞比较器输出端的电压，调节 R11，得到输出如下：

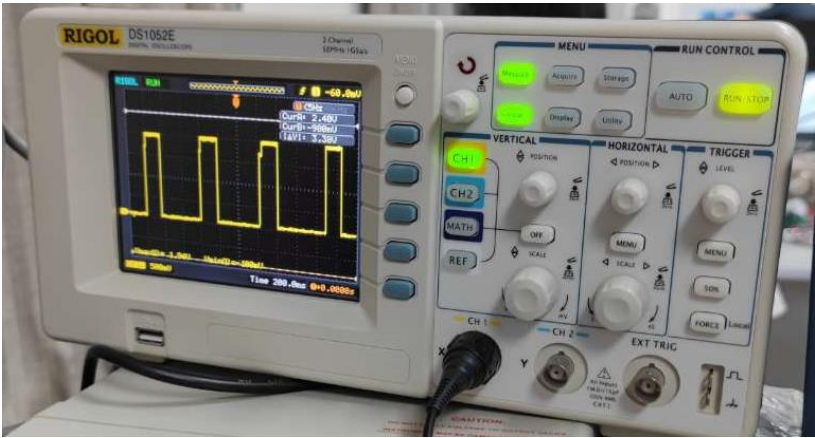


图 7.1.7 红外收发管比较电路输出电压

此时输出为方波脉冲，与预期输出结果吻合很好。

② 软件设计与调试

a) 根据 4.2 中软件设计原理，可以将主函数 main 设计为如下形式：

```
void main(void){
    STC_Init(); // 初始化STC
    Key_Init(); // 初始化按键
    Beep_Init(); // 初始化蜂鸣器
    Lcd_Init(); // 初始化LCD
    while (1){
        key_task();
        ADC_task(0);
        processData();
        lcd_task();
        beep_task();
        bluetooth_task();
    }
}
```

图 7.2.1 程序主函数

其中，while(1)循环之前的部分为系统初始化函数，key_task()、ADC_task()、lcd_task()、beep_task()以及 bluetooth_task()分别对应按键、AD 转换、LCD 显示、蜂鸣器警报以及蓝牙数据发送功能，processData()对 AD 转换后的信号进行处理，根据当前状态确定出将要在 LCD 上显示以及需要蓝牙发送的数据；

b) 初始化函数调试：将.c 文件用 Keil 打开、编译，得到.hex 文件，并由 STC-ISP 下载到电路板上，得到 LCD 输出如下：

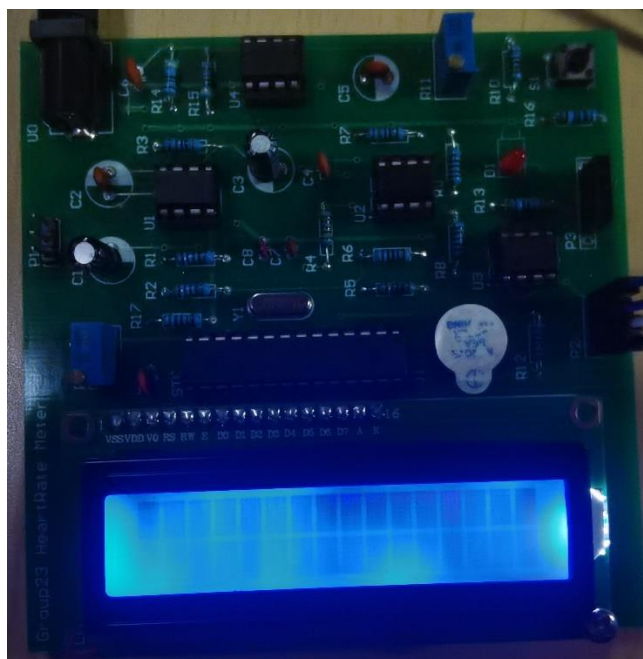


图 7.2.2 程序初始化结果

可见，LCD1602 显示无黑块（图中部分为拍照背光所致），初始化正确；

- c) 功能模块测试：根据各模块的实际作用与功能联系，完善软件设计，可得完整代码如附件 myHeartRate.c 所示，其已根据电路与功能的修正和调整进行逐步编写、调试，且各步骤具有注释。将程序下载到单片机中，按照正常流程进行模拟测试，所得心率结果与正确值吻合度很好，如下，此时输入信号为频率为 3Hz 的正弦信号，预期计算得到的心率为 180，产生误差为： $E = \frac{180-178}{180} \times 100\% = 1.1\%$ 。

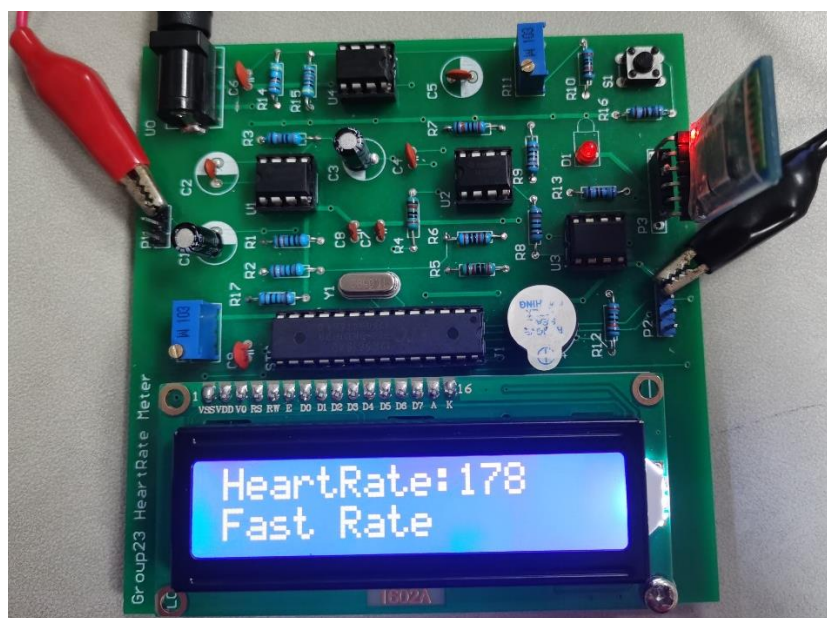


图 7.2.3 最终调试结果

③ 电路修正

由于设计电路时的粗心以及考虑不周,在实际电路的调试过程当中,我们发现了电路存在的一些问题,其对电路功能的正常实现产生了较大阻碍。为了实现项目目标,我们对电路板进行了修正处理,并对部分代码的功能实现进行了修改,总结如下:

- a) 电源接口输入与输出接错,使得电源接通后电路板并未上电。此处是由于原理图绘制时,错将元件上标注的 V_{IN} 当成了电源接口, V_{OUT} 当成输出,导致 PCB 连线时将地作为了电路板供电端。通过使用万用表测量电源接口三个管脚处的电压值,我们确定了两个接地端以及输出端(5V 左右),将原有的两根接线割断,并用硬线重新连接。上电测试,发现电路板供电正常;

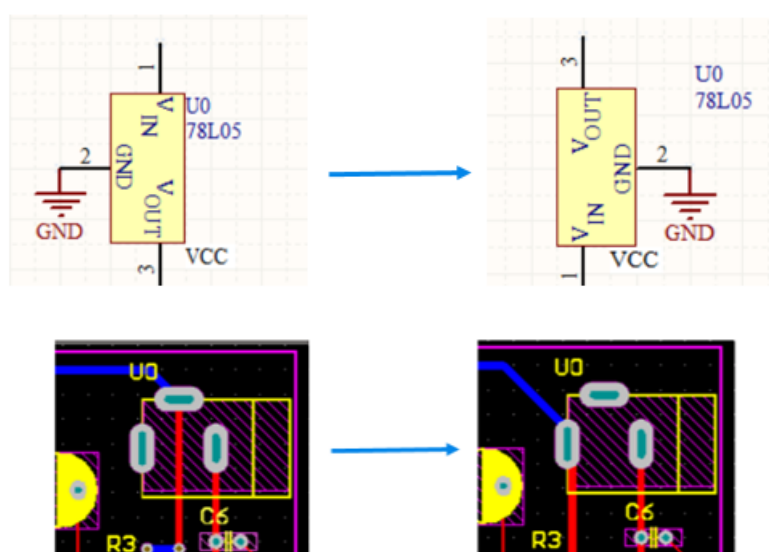


图 7.3.1 电源接口修正电路图

- b) 单片机 P1 端口的八个管脚对应连线到 LCD1602 的 DB0-DB7,未留出 A/D 口实现对脉冲信号的 AD 转换。虽然我们可以使用 PCA 捕获功能对脉冲进行计数,但无法将其量化。为了正常实现 MATLAB 绘制心率图的功能,通过请教老师、查阅资料,我们得知了 LCD1602 的四线驱动方法,即只使用 DB4-DB7 高四位进行控制,从而节省出 4 个管脚。基于此,我们割断了 LCD 的 DB0-DB3 与单片机的连线,并采用飞线将单片机的 P1.0 脚与 P3.7 脚(脉冲信号输入脚)连接起来,从而将 P1.0 脚作 A/D 转换使用。在软件方面,对于输入到 LCD 的指令,我们采用高 4 位保留,低 4 位左移四位的方法,使得每个指令都只有 dataPort 高四位(对应 DB4-DB7)被赋值,代码如下图所示:

```
void lcdWriteCommand(unsigned char CMD){
    waitForEnable();
    RS = 0;
    RW = 0;
    Elcm = 1;
    dataPort &= 0x0F; // 清空高四位
    dataPort |= CMD & 0xF0; // 写高四位
    Delay_us(5);
    Elcm = 0;
    CMD = CMD << 4; // 低四位移到高四位
    Elcm = 1;
    dataPort &= 0x0F; // 清空高四位
    dataPort |= CMD & 0xF0; // 写低四位
    Delay_us(5);
    Elcm = 0;
}
```

```
void lcdWriteData(char c){
    waitForEnable();
    RS = 1;
    RW = 0;
    Elcm = 1;
    dataPort &= 0x0F; // 清空高四位
    dataPort |= c & 0xF0; // 写高四位
    Delay_us(5);
    Elcm = 0;
    c = c << 4; // 移到高四位
    Elcm = 1;
    dataPort &= 0x0F; // 清空高四位
    dataPort |= c & 0xF0; // 写低四位
    Delay_us(5);
    Elcm = 0;
}
```

图 7.3.2 LCD 四线驱动部分代码

修改后的电路 LCD 显示正常，且具备了 AD 转换的功能，为后续计数和 MATLAB 处理打下了很好的基础。

c) 修正后电路板飞线连接图：

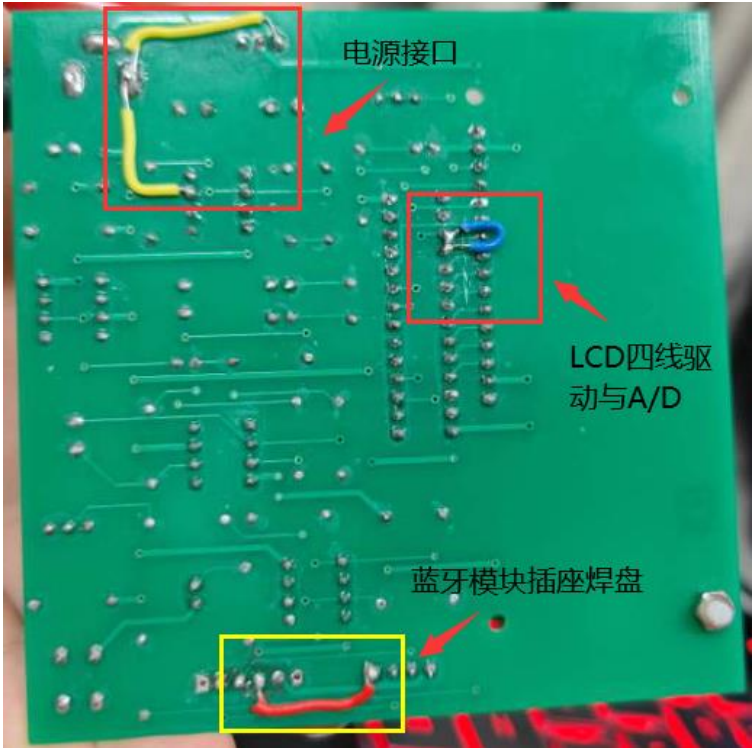


图 7.3.3 电路板飞线图

其中，蓝牙模块插座处的飞线是由于在取下焊接到电路板上的蓝牙模块时，融化了一个焊孔处的焊盘，故需重新接线。经过修正后，电路板能够正常进行工作、实现既定功能。

八、实验结果与展望

① 心率测量

a) 复位状态（按键未按下）

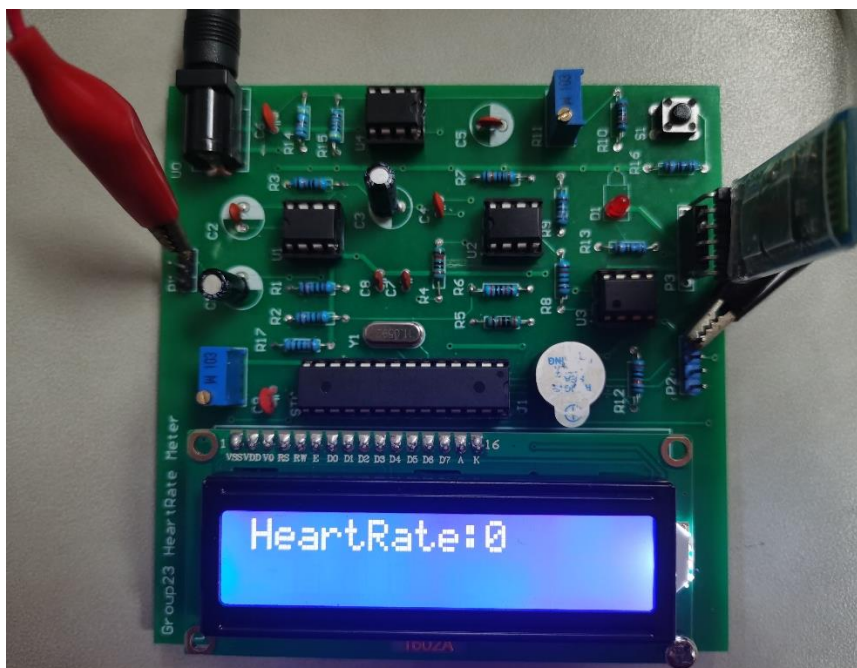


图 8.1.1 复位状态 LCD 显示

b) 测量状态（按键按一次）

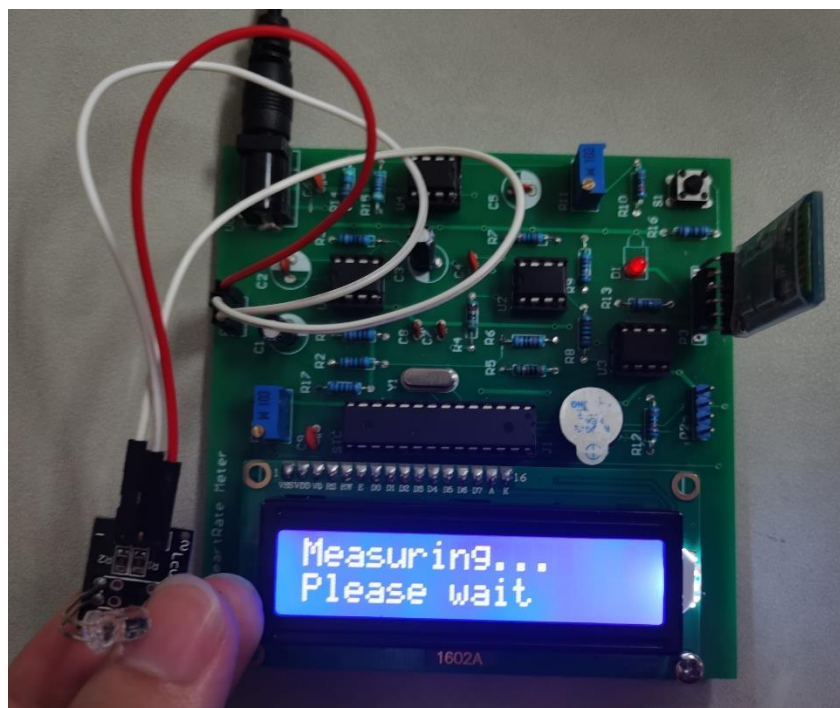


图 8.1.2 测量状态 LCD 显示

c) 结束状态（按键按两次）

此状态输出根据测量时间以及测得心率值的不同而不同。当测量时间短于 5s 时，输出为：



图 8.1.3.1 结束状态 LCD 显示（测量时间过短）

当测量时间长于 5s 时，若测得心率值处于 60-90 之间，则心率正常，输出为：

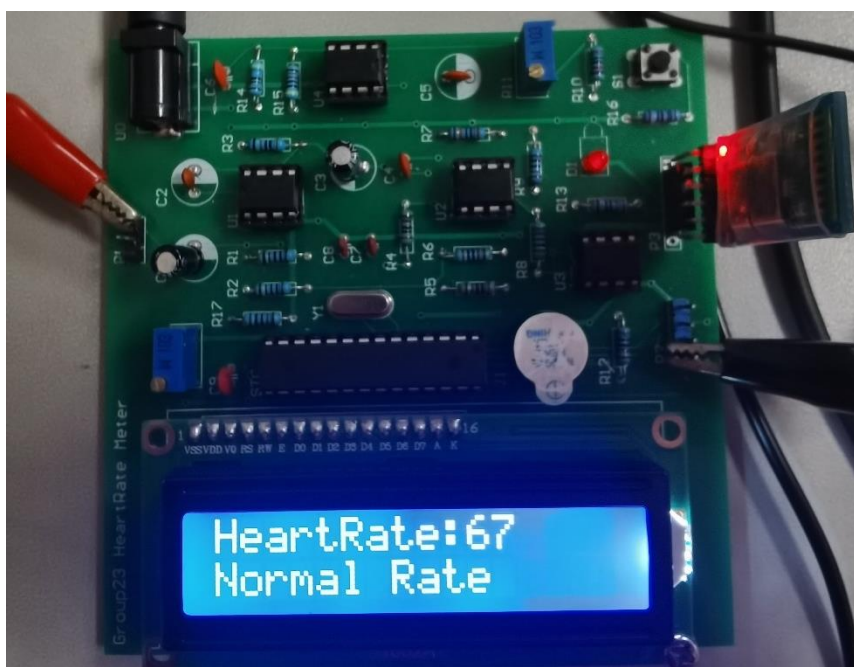


图 8.1.3.2 结束状态 LCD 显示（心率正常）

若测得心率值大于 90，则心率过快，输出为：

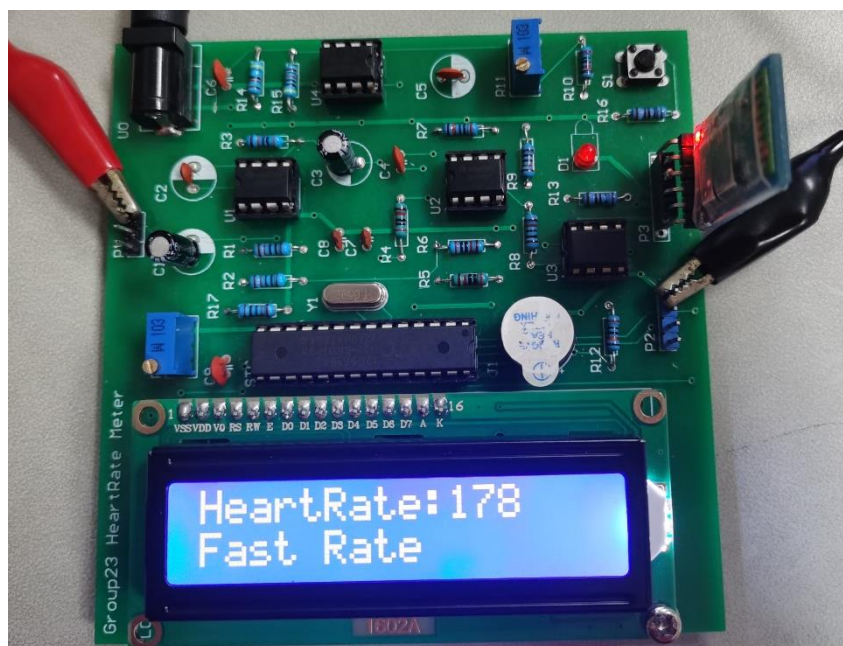


图 8.1.3.3 结束状态 LCD 显示（心率过快）

若测得心率值小于 60，则心率过慢，输出为：

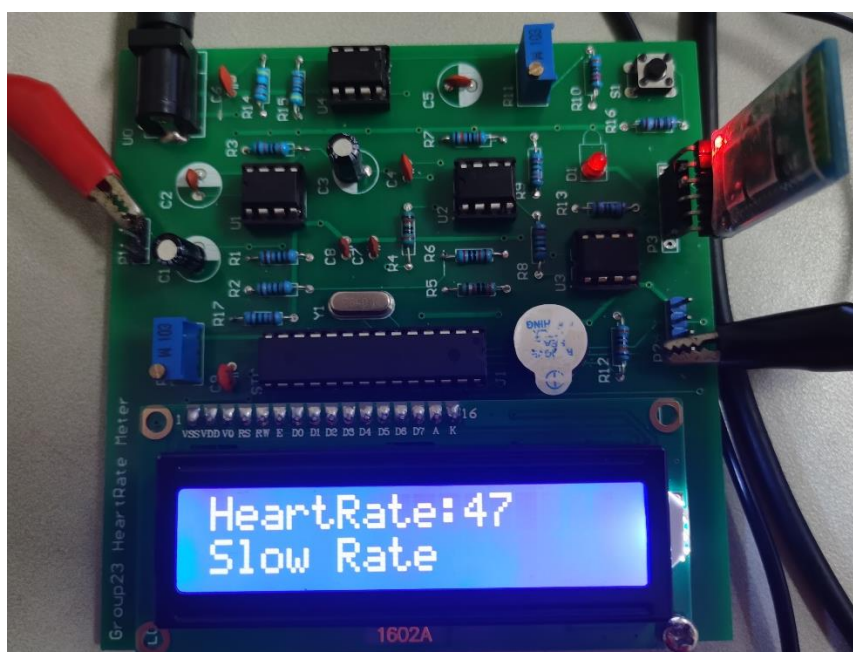


图 8.1.3.4 结束状态 LCD 显示（心率过慢）

当测得心率不在正常范围内（60-90）时，蜂鸣器会进行时长 3s 的报警，具体演示可参见附件视频；

② 蓝牙数据传输



图 8.2 蓝牙数据传输

每当用户按下按键时，蓝牙模块会发送对应状态信息到手机串口当中（与 LCD1602 显示数据类似），具体演示可参见附件视频；

③ MATLAB 心率图绘制

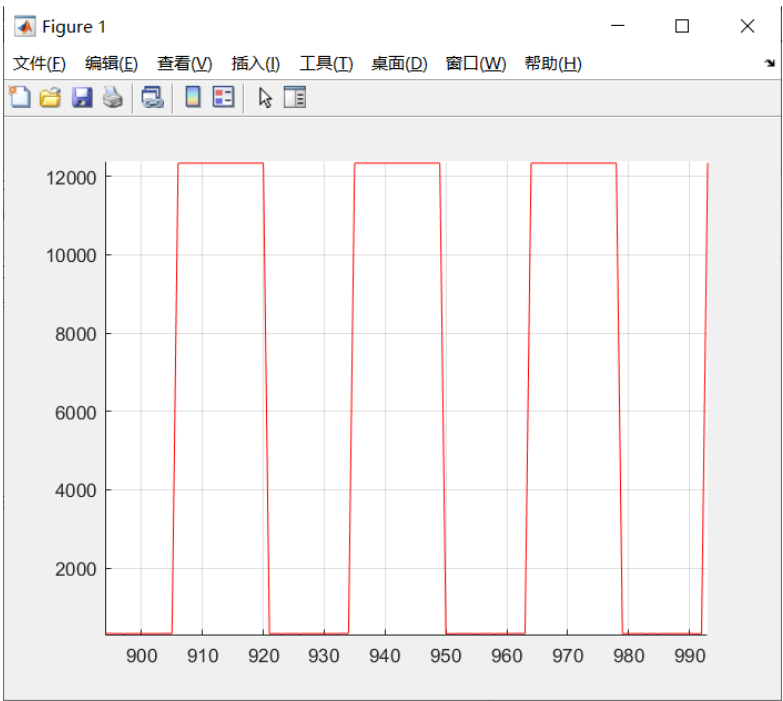


图 8.3 MATLAB 心率图绘制

如图，此为输入 3Hz 正弦波时 MATLAB 绘制的心率图，其为比较标准的脉冲信号，与输入单片机的脉冲波形吻合很好。

④ 成果展望

此次实验，我们利用 STC12C5616AD 单片机完成了心率计设计，准确度好、功能齐全，且添加了蓝牙数据传输、心率图绘制等功能，比较好地完成了实验目标。但 STC 单片机的功能显然并不止与此。在已有电路的基础上，我们可以修改程序、添加更多的按键，实现更加复杂的功能选择，如将数字时钟功能添加到电路中，当电路处于复位状态时在 LCD1602 显示屏上实时显示时间，并可通过按键进行时间修改、闹钟设置等。总的来说，单片机为我们的电路设计与实现提供了一个很好的平台，让我们可以在理解规则、方法的前提下更加快速、便捷地实现电路功能，重塑性高、可扩展度大、设备控制简单。通过一些软件的帮助，我们还可以使用高级语言进行编程，在更大程度上降低了系统的设计难度。

通过此次实验，我们不仅了解了 STC 单片机的使用方法，更对其 AD 转换、PCA 捕获功能以及 LCD 的控制指令与编程有了十分深入的学习。相信，在以后的专业生涯中，我们一定能够设计出功能更加强大、实用性更高的产品，在提高自己专业素养的同时发展兴趣，为人民生活的日益幸福添砖加瓦。

九、心得与体会

总的来说，此次的短学期实验，是一次“痛苦”的体验，也是一次有趣的体验。电路设计时的迷茫、调试修正时的思考、代码输出得不到正确结果时的困惑，全都是我们学习、成长道路上的一次历练，引领我们向更高的地方攀登。

回顾这十几天，我们也遇到过许多问题，所幸最终都得以解决。一方面，由于最初在程序中使用了较多的延迟函数 `delay()`，单片机资源被明显浪费，系统测试时的显示、蜂鸣输出存在轻微的延迟感，影响了用户的使用体验。考虑到单片机定时器的特点，我们决定采用定时器计时，将其计数值定为全局变量，以此作为系统的时间基准，使计时与系统功能同步运行，当需要用到时间信息时，只需要读取全局变量的值，便能完成判断。经过这样的处理，系统功能延迟感显著降低，运行也显得更加灵敏、迅捷。另一个方面，在对心率数据进行处理时，通过串口及 LCD 显示屏，我们发现心率计数值 `heartRate` 始终为 0。本以为是在 AD 转换、计数时出现了差错，我们多次修改了允许计数的电压阈值，但结果始终不对；猜测可能是因为计数值过大导致溢出，我们又修改了两次计数之间的时间间隔，仍未解决问题。通过不断尝试，我们认为并非是计数出现了错误（将

heartRate 赋值为常数仍会输出为 0)，因而对所有与 heartRate 有关的赋值语句进行了分析和检查，终于发现是在复位时将 heartRate 清 0 的逻辑出现了错误，使得每次按下结束按键后即将其清 0。通过修正，问题得到了解决。看到 LCD 显示屏上终于出现的正确心率值，我们的心情无比“激动”。

虽然只是实验过程中出现的小插曲，但这两个问题也教会了我们许多。对元件功能和原理的了解与掌握、系统优化时的新奇思考、软件调试时的正确方法，都是它们对我们的馈赠。其实，正是在一次又一次的纠错、一次又一次的实践过程当中，我们的专业素养才会不断地培养和提高。通过此次实验，我们很好地锻炼了自己“发现问题、解决问题”的能力，不仅回顾、掌握了许多电路调试、修正的技能，也从这个过程当中领悟到了工程师所必须具备的品质：细致、耐心与思考。俗话说，“师傅领进门，修行靠个人”，在实践的过程中去探索、理解，边做边学、边学边做，渐渐就能够领悟要领，进而加深自己对知识的体悟。

感谢电子电路系统综合实验，让我们在体验到电路设计乐趣的同时，赋予了我们提升自我的机会；感谢老师们对我们的耐心指导与讲解，为我们指明了方向，少走了许多弯路。在以后的学习生活中，我们会继续培养自己的专业技能与核心素养，为成为新型的高素质人才而不断前进。