



## 本科实验报告

### 电设 2 课程设计报告

课程名称: 电子电路设计实验 2

姓名: 韩寒、谌梓轩

学院: 信息与电子工程学院

专业: 电子科学与技术

组号: Group 6

指导老师: 王子立

# 目 录

<b>一、ECG 信号检测调理电路</b>	<b>3</b>
1. 电路装配调试步骤 . . . . .	3
2. 电路测试数据分析 . . . . .	3
(1) 低通滤波部分 . . . . .	3
(2) 高通滤波部分 . . . . .	4
(3) 陷波部分 . . . . .	5
(4) 总体放大性能 . . . . .	6
(5) 人体测试 . . . . .	7
<b>二、ECG 心电监测系统</b>	<b>8</b>
1. 总体目标 . . . . .	8
(1) 系统框图及功能说明 . . . . .	8
2. 硬件设计 . . . . .	9
(1) 原理图设计 . . . . .	9
(2) PCB 设计 . . . . .	9
3. 硬件调试 . . . . .	10
(1) 共模抑制比 . . . . .	10
(2) 差模幅频特性 . . . . .	10
(3) 脉冲信号波形 . . . . .	10
(4) 生物电信号波形 . . . . .	10
(5) 发射信号功率 . . . . .	10
(6) 螺旋天线制作与测试 . . . . .	10
(7) 拉距实验结果分析 . . . . .	10
(8) 硬件电路整体性能分析 . . . . .	10
4. 软件设计与调试 . . . . .	10
(1) 软件工作流程框图 . . . . .	10
(2) 软件功能设计 . . . . .	10
(3) 软件调试 . . . . .	10
<b>三、总结</b>	<b>10</b>
1. 韩寒: . . . . .	10
2. 谌梓轩: . . . . .	10

## 一、ECG 信号检测调理电路

### 1. 电路装配调试步骤

<1> 前期 PCB 版图设计。在实际进行 ECG 心电信号测试之前，我们先对心电信号处理电路进行原理图设计，并生成 PCB 图，在仿真过程中，保证其能够正常工作并达到预期效果。

<2> demo 板焊接。根据元件装配表，依次进行元件的焊接，并在最后插上运算放大器和芯片。

<3> 进行低通滤波部分的测试。将示波器的传输线勾在 TP2 的针脚和 GND 上，设置波形发生器从 20Hz 到 140Hz 每隔 20Hz 依次增大，观察示波器上的波形变化，并记录峰峰值。

<4> 进行高通滤波部分的测试。将示波器的传输线勾在 TP4 的针脚和 GND 上，设置波形发生器从 20mHz 到 80mHz 每隔 20mHz 依次增大，观察示波器上的波形变化，并记录峰峰值。

<5> 进行陷波部分的测试。将示波器的传输线勾在 TP9 和 GND 上，设置波形发生器从 20Hz 到 140Hz 每隔 20Hz 依次增大，观察示波器波形，记录峰峰值。

<6> 进行总体放大性能的测试。将示波器的传输线勾在 TP11 和 GND 上，设置波形发生器从 20Hz 到 140Hz 每隔 10Hz 依次增大，观察示波器波形，记录峰峰值。

### 2. 电路测试数据分析

#### (1) 低通滤波部分

在测试低通滤波部分的效果时，我们主要测试 20Hz 到 140Hz 部分，部分测试图如图 1、2、3、4 所示，测量结果如表 1 所示。

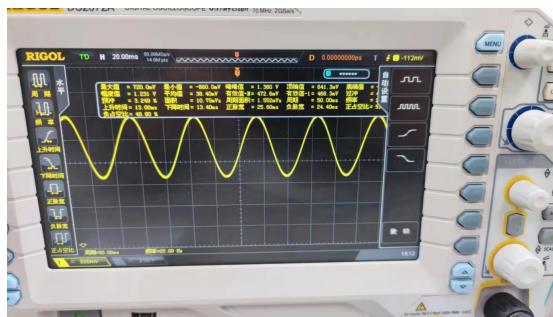


Figure 1: 低通滤波 20Hz

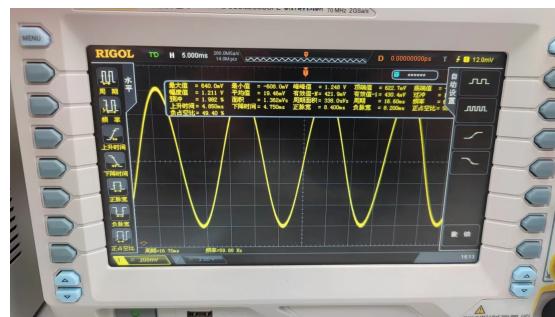


Figure 2: 低通滤波 60Hz

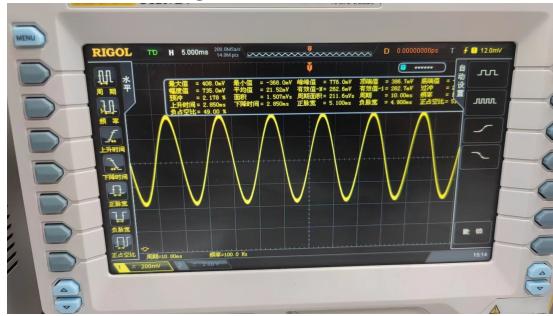


Figure 3: 低通滤波 100Hz

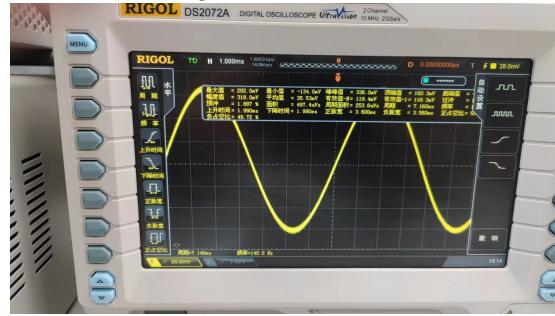


Figure 4: 低通滤波 140Hz

我们将表中的测试结果绘制成曲线图，能够更好地看出低通滤波的效果，曲线图如图 5 所示。从曲线图中，我们可以看出该低通滤波器是可以正常工作、达到低通滤波的效果，并且当其峰峰值下降至 -3dB 时，频率为 84Hz 左右，所以该低通滤波器的效果还是不错的，带外的抑制效果也能达到要求。

频率 (Hz)	20	40	60	80	100	120	140
峰峰值 (V)	1.380	1.328	1.248	1.040	0.776	0.528	0.336

Table 1: 低通滤波 20Hz 到 140Hz 测量结果

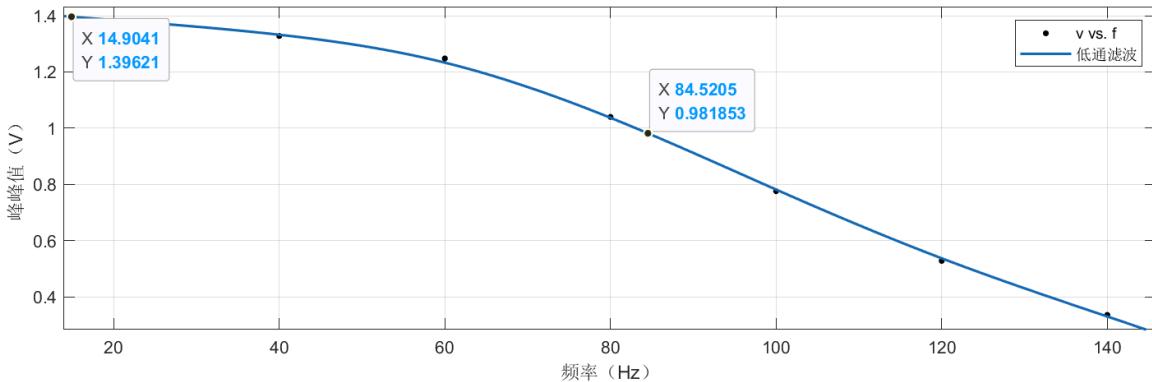


Figure 5: 低通滤波

## (2) 高通滤波部分

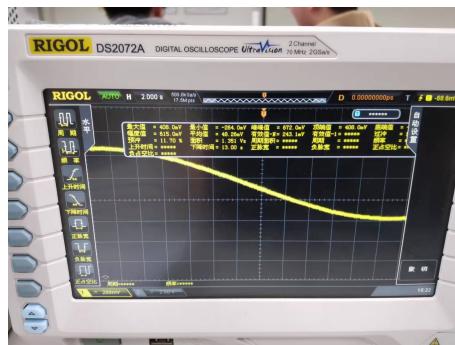


Figure 6: 高通滤波 20mHz

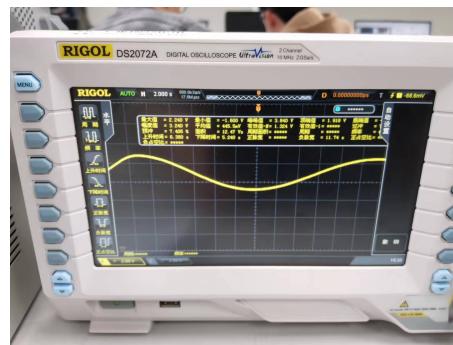


Figure 7: 高通滤波 40mHz



Figure 8: 高通滤波 60mHz

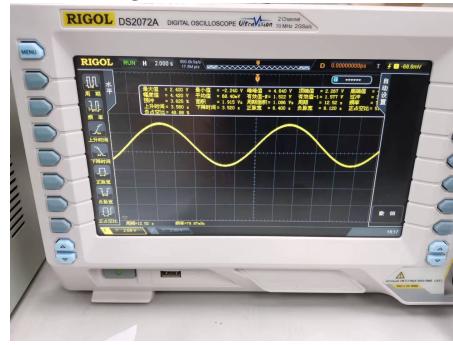


Figure 9: 高通滤波 80mHz

在测试高通滤波部分时，主要针对 20mHz 到 80mHz 部分，测试图如图 6、7、8、9 所示，测试的数据如表 2 所示。将测试数据绘制成图像，能得到如图 10 所示的曲线图。

从图中，我们能看出，高通滤波器能够正常工作并起到滤波的效果，当其峰峰值下降为-3dB 时，频率约

频率 (mHz)	20	40	60	80
峰峰值 (V)	0.672	3.840	4.560	4.640

Table 2: 高通滤波 20mHz 到 100mHz 测量结果

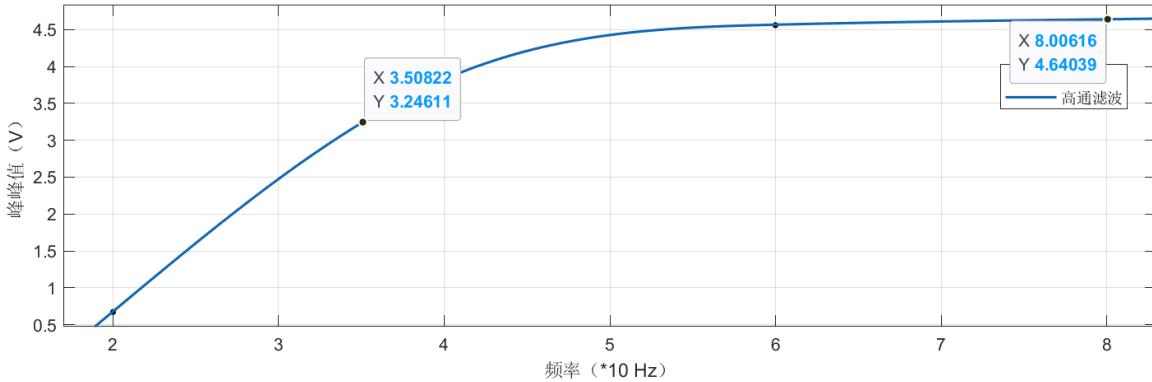


Figure 10: 高通滤波

为 35mHz，基本满足需求，同时带外抑制的效果也比较好。

### (3) 陷波部分

在陷波部分，我们为得到陷波的频率，设置了从 50Hz 到 35Hz 的测试范围，如图 11 所示是测试时峰峰值最低点的图像。最终得到的测试数据如表 3 所示。根据表中测试数据，我们绘制出陷波曲线，如图所示，能够更好地看出陷波地效果。



Figure 11: 陷波最低点

频率 (Hz)	50	49	48	47	46	45	44	43
峰峰值 (V)	3.040	2.960	2.840	2.720	2.600	2.480	2.300	2.140

42	41	40	39	38	37	36	35
1.980	1.800	1.640	1.560	1.460	1.520	1.640	1.880

Table 3: 陷波测试结果

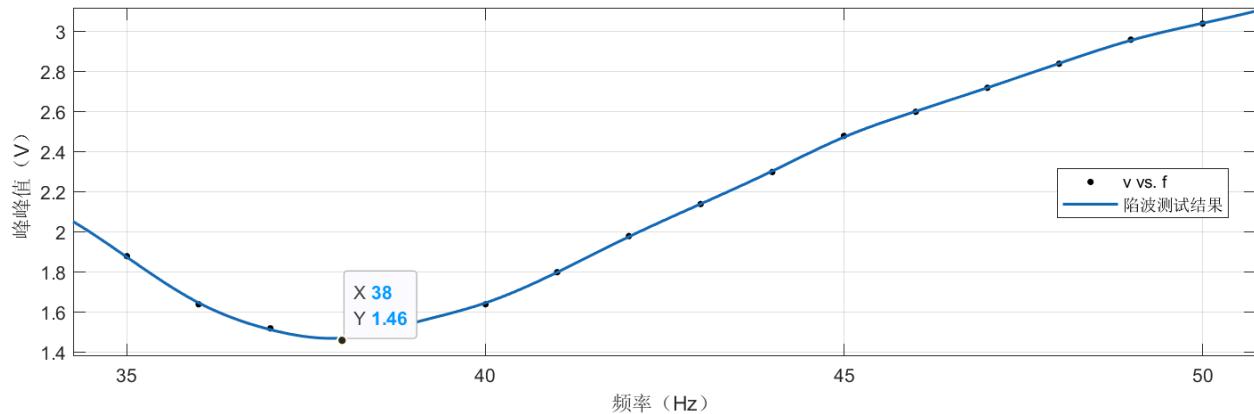


Figure 12: 阻波测试结果

从图中，我们可以看出，阻波的中心位置为 38Hz，更细致应该是在 37 到 38Hz 之间，而我们希望的阻波位置应该为 40 到 50Hz 之间，且该滤波测试结果中，阻波带宽比较大，合格的阻波器的阻波位置应该是比较窄的，因此，阻波部分地效果并不理想。效果不理想的原因，最主要的原因应该是焊接使用的电容的电容值偏离指定值，导致阻波位置发生了偏移。

#### (4) 总体放大性能

在心电信号处理电路各个单独部分测试完成后，我们进行电路总体放大性能的测试，设置了 20Hz 到 140Hz 的测试范围，其测试结果如表 4 所示。根据表中数据，绘制得到如图 13 所示的曲线。

频率 (Hz)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
峰峰值 (V)	2.580	2.120	0.900	1.780	2.160	2.200	2.060	1.840	1.580	1.380	1.140	0.960	0.752

Table 4: 总体性能测试结果

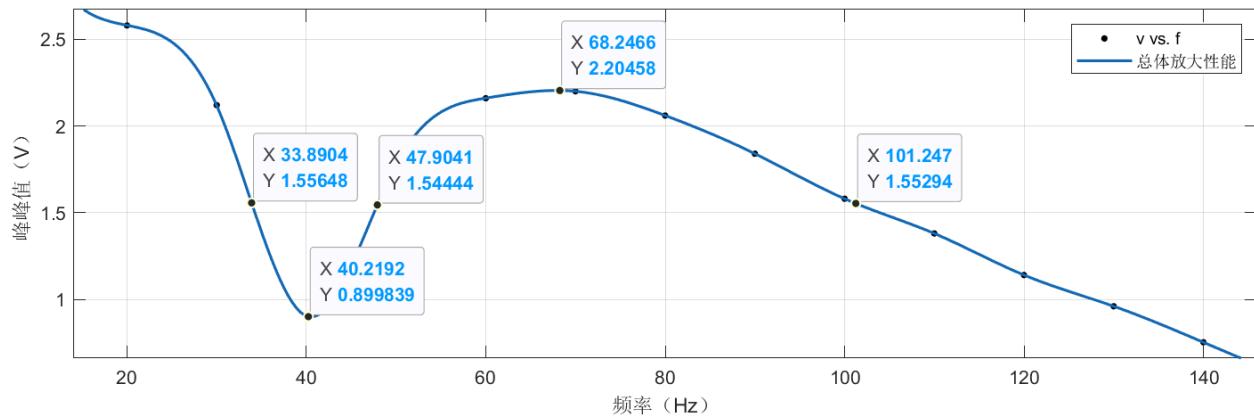


Figure 13: 总体放大性能

从图中可以看出，在 40Hz 左右发生阻波，在 30Hz 之前和 45 到 101Hz 之间增益较高，其余位置的抑制都较为明显，基本符合我们设计的初衷，能够起到总体处理和放大心电信号的作用。

## (5) 人体测试

在测试完 ECG 信号检测调理电路的各类参数性能之后，我们进行人体测试，观察该电路实际能否起到处理心电信号，最终输出合格波形的作用。测试结果如图 14 所示。

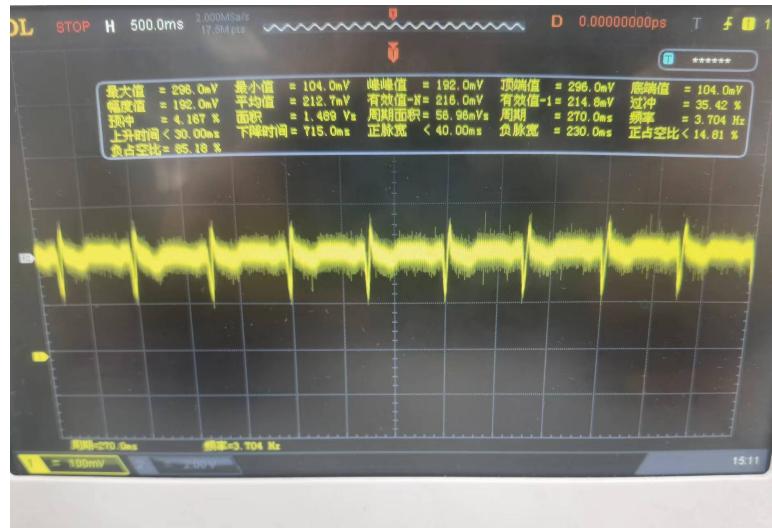


Figure 14: ECG 信号检测调理电路-人体测试

在示波器上，我们已经可以看出心电信号的波形，但同时，也发现其中混叠的杂波较多，心跳与心跳之间干扰明显，心电信号的增益还不够大，容易和杂波混在一起。

## 二、ECG 心电监测系统

### 1. 总体目标

#### (1) 系统框图及功能说明

ECG 心电检测系统是由 ECG 信号检测调理电路同通信模块集成而成，主要用于实时检测人体心电信号，并发送到监测端，从而达到远程的心电监测。该 ECG 心电监测系统的系统框图及功能说明如图 15 所示。

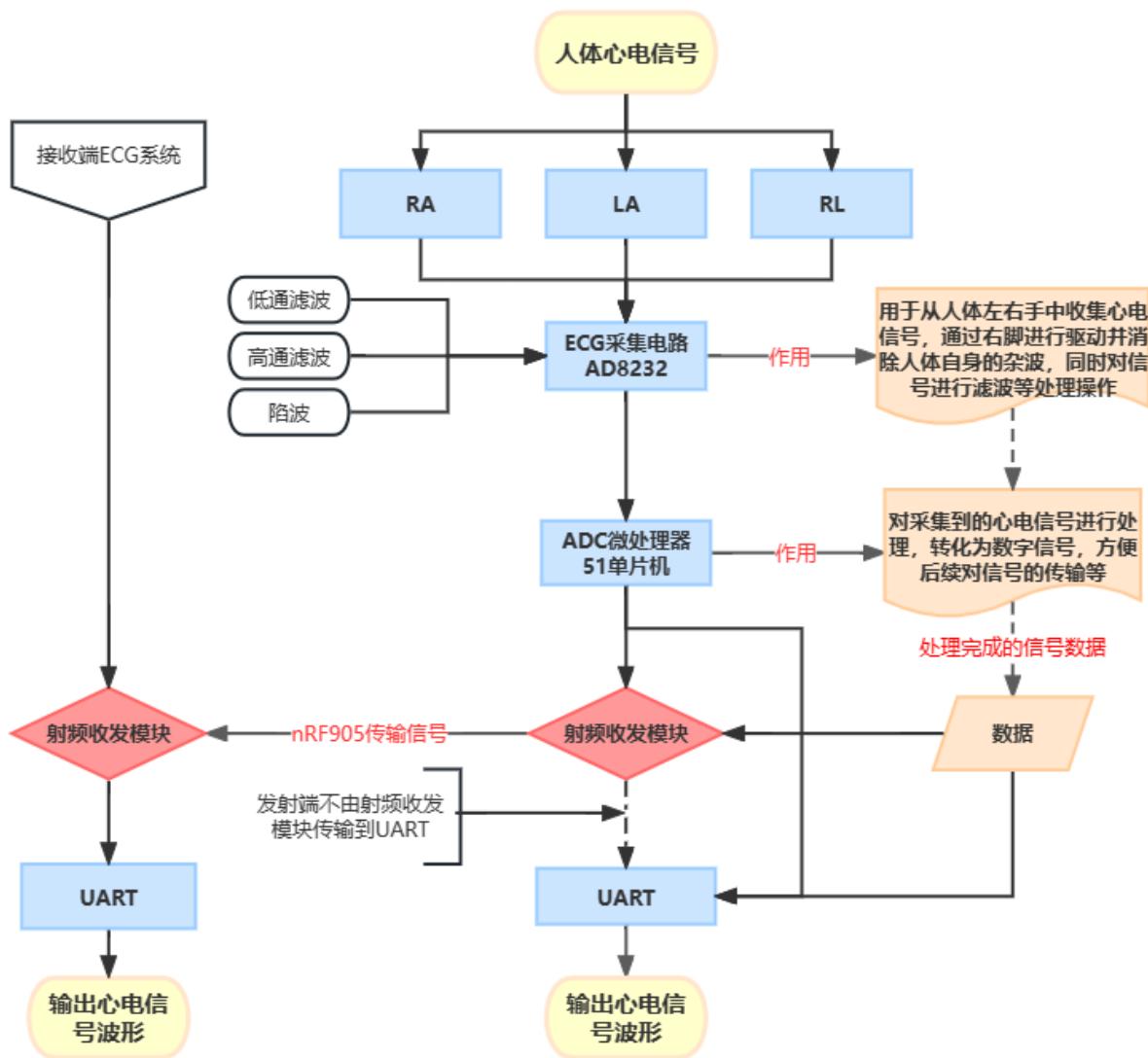


Figure 15: ECG 系统框图

## 2. 硬件设计

### (1) 原理图设计

根据 ECG 心电监测系统的系统框图，我们也可以将系统设计大体分为三个部分，其具体设计及电路连接如图 16、17、18 所示。

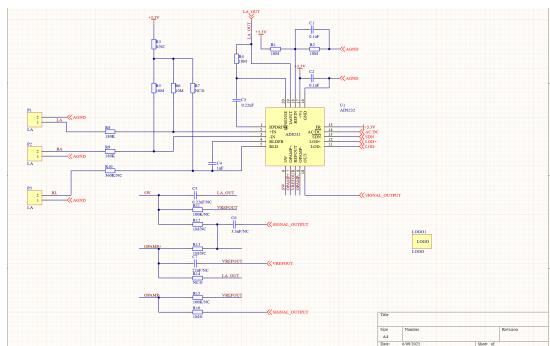


Figure 16: ECG 电路原理图-前端信号接收处理部分

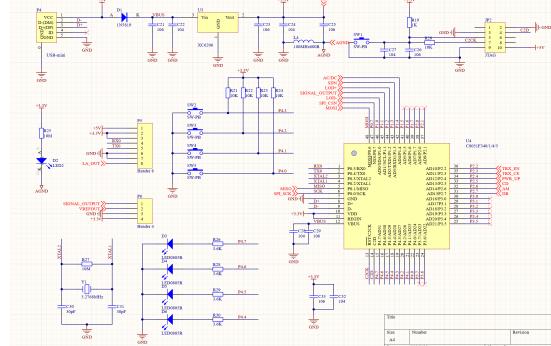


Figure 17: ECG 电路原理图-中间 ADC 处理部分

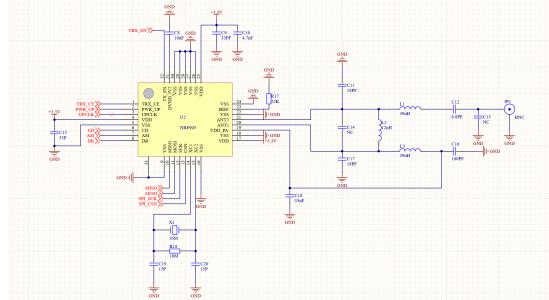


Figure 18: ECG 电路原理图-后端通信与输出部分

从原理图中，我们可以看出，每一个模块都集成了一块芯片分别负责不同的功能：AD8232 主要用于采集人体电信号，并对其进行滤波、放大等操作；中间部分的 51 单片机主要负责将处理的信号进行 ADC 转换；NRF905 主要用于射频收发，进行信号的远程传输。

### (2) PCB 设计

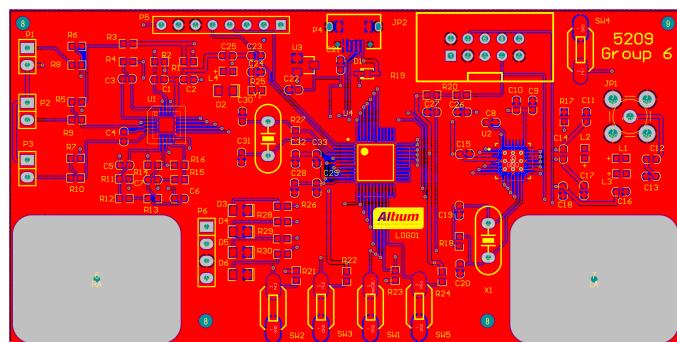


Figure 19: ECG 电路 PCB 图

根据原理图，借助 ADdesigner 软件，生成 PCB 图，并将元件进行排布、连接和敷铜等操作，最终形成 PCB 设计图，如图所示。

### 3. 硬件调试

- (1) 共模抑制比
- (2) 差模幅频特性
- (3) 脉冲信号波形
- (4) 生物电信号波形
- (5) 发射信号功率
- (6) 螺旋天线制作与测试
- (7) 拉距实验结果分析
- (8) 硬件电路整体性能分析

### 4. 软件设计

- (1) 软件工作流程框图
- (2) 软件功能设计

### 5. 软件调试

- (1) 调试环境和方法
- (2) 波形采样，串口显示
- (3) 模块之间数据通讯

## 三、总结

1. 韩寒：

2. 谌梓轩：