

华中科技大学电子与信息工程系 2012 年 TI 杯电子设计大赛项目总结报告

项目名称: _____ 基于 MSP430 的简易电子琴设计 _____

团队成员: _____ 许钺 _____ 电信提高 0901 班 _____

_____ 左芷衡 _____ 电信提高 0901 班 _____

_____ 姚文捷 _____ 电信提高 0901 班 _____

指导教师: _____ 汪小燕 _____

_____ 2012 _____ 年 _____ 7 _____ 月 _____ 3 _____ 日 _____

基于MSP430的简易电子琴设计

【摘要】

本次课程设计中，我们小组以MSP430实验箱和功放外接电路为基础，设计并做一个简易的电子琴，可以用4*4矩阵键盘控制音高与音调，实现3种音调共40个音，LCD显示屏上显示模拟键盘，会随按键而跳动，声音同按键时长，同时输出的声音音色经过加泛音、加包络和滤波电路处理而更似钢琴音，逼真唯美。

【关键词】：电子琴； MSP430； 逼真；

Abstract: We prepare to design a electronic organ based on the MSP430 and a external power amplifier circuit. We can use the 4*4 matrix keyboard to control the pitch and tone, and than play 40 kinds of voices. There is a piano keys simulation on the LCD screen which will play as we press the keyboard. The voice will continue as long as the keyboard being pressed. Meanwhile, the output will be added the envelope, overtone and processed by the low-pass-filter, which makes the voice attractive as well as beautiful, just like the real piano.

Key words: electronic organ ; MSP430 ; similar to real piano;

概述

随着科技的发展，电子技术正在逐渐改善着人们的学习、生活、工作，电子技术与音乐的结合不断加深。作为电子专业的学生，掌握电子琴的制作是很好检验我们所学知识应用。它所包含的知识基本上覆盖我们的模拟电子技术基础、数字电子技术基础、EDA 技术、电子线路、单片机基础以及接口技术课程的重要章节。虽然我们不能设计出很复杂的电子琴，主要是考虑到设备以及成本等一系列问题，因此我设计并制作一个简易的电子琴。采用集成电路设计，基于 MSP430 单片机设计一款简易的电子琴，采用 4*4 矩阵键盘，可以通过它们分别控制音高和音调，输出从低 Do 到高 Xi 等 40 个音，同时声音长度有按键控制，琴声经加包络、加泛音、低通滤波处理后音色更加完美逼真，从而可以用来弹奏喜欢的乐曲，如果玩家想重新听取自己的演奏，可以对

本系统以 MSP430 系列的单片机为核心，通过按键控制模块，声音信号处理模块，和 LCD 显示屏输出模块，加入了外接的滤波、单极性变双极性、功放和喇叭电路，成功实现了课程设计的基本要求和诸多扩展功能。

本报告以下的内容将会按照以下结构来组织：在第二小节中我们将会介绍设计的目标；第三小节中，我们将会介绍组员分工情况；第四小节的内容是系统整体功能的介绍；第五小节里，每一个小模块的软硬件设计与性能将会被详细介绍；我们系统整机测试的过程与结果将会展现在第六小节。

1. 设计目标

2.1 基本功能

- 基本乐音产生
- 按键的识别，控制功能和乐音的产生
- LCD 屏显示功能。

2.2 拓展功能

- 加泛音和包络，外接单极性转双极性和低通滤波电路，使输出音色更逼真。
- LED 灯节拍器跟随琴键闪亮。
- 能够对玩家的演奏进行一定时段的录音盒保存。
- LCD 显示屏上的模拟琴键可以随按键跳动，十分逼真。

2. 团队组成与任务分工

本小组分工的指导思想如下：为了最大程度实现并行性，我们按照模块来划分任务。不同模块之间首先需要将相互之间的接口定义好，定义完成以后不同模块就能够相对地独立工作了。我们所划分的两大部分为：软件部分和硬件部分。

许铖负责按键控制模块、LCD 显示屏输出模块、声音信号处理模块、LED 灯节拍器模块。

左芷蘅负责电源电路、功放电路，实现与调试并进行电路板的焊接。进行元器件采购。

姚文捷负责外接电路模块，实现与调试。小组实验报告修订。

3. 总体设计方案与应用场景

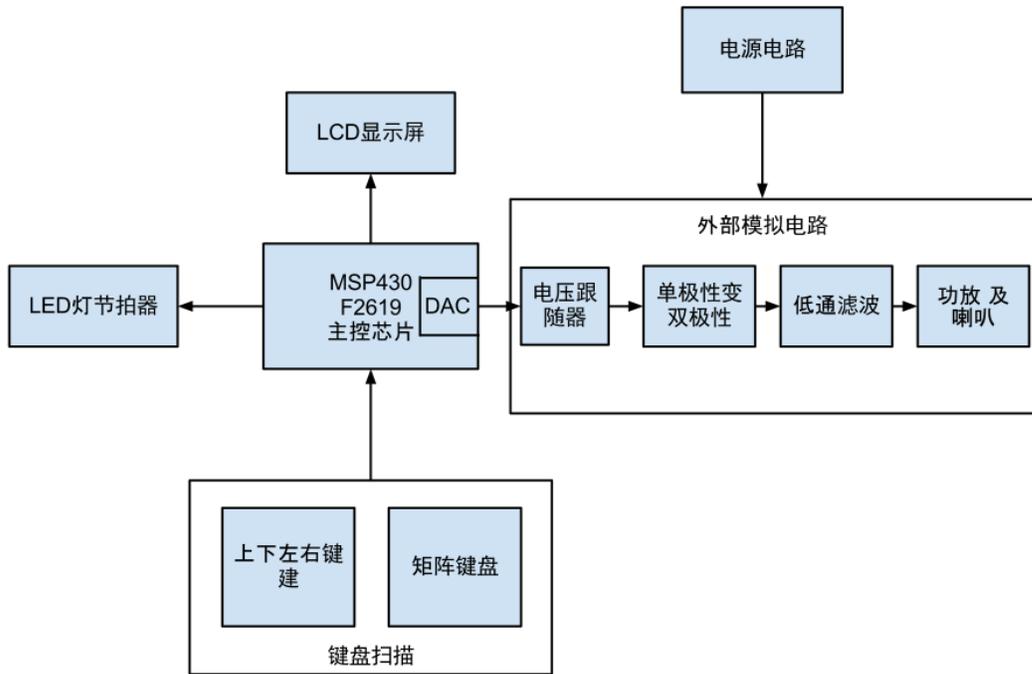


图 1. 总体设计框图

整个电路主要分软硬件两块，软件部分分为按键控制模块、LCD 显示屏输出模块、声音信号处理模块、LED 灯节拍器模块。

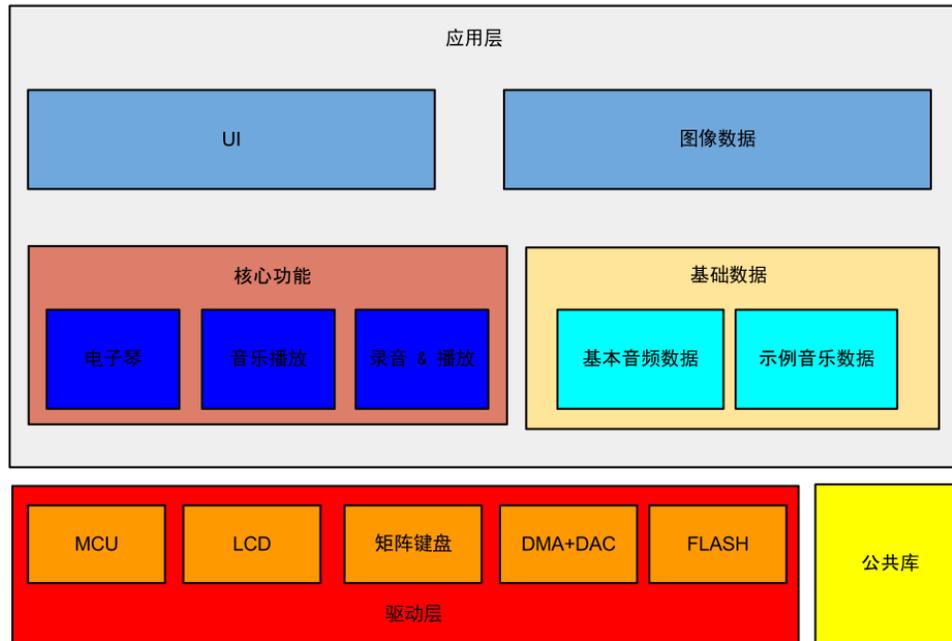
硬件部分主要用于对声音信号进行加工和音频输出。

4. 软硬件设计与实现

5.1 软件模块

5.1.1 软件架构

软件架构如图所示：



整个构架分为如下三层，其对应代码中 `driver,common,app` 三个目录下代码。

- 驱动层：驱动层主要与底层硬件交互，直接控制硬件资源，并将其抽象与上层屏蔽。其又细分为：
 - MCU 控制：包括时钟，主频，端口控制等。
 - LCD 显示驱动：在 LCD 屏上显示文字和图像。
 - 矩阵键盘：扫描矩阵键盘，处理相关中断。
 - DMA+DAC：通过控制 DMA 和 DAC12，将解码的音频数字信号专为模拟信号。
 - FLASH：在读写 FLASH 读写，以保存永久数据。
- 公共库：主要是引用公共头文件，基本的宏定义，通用函数（如延时）。
- 应用层：该项目的功能实现层，其分为功能子层和交互子层。其中功能子层包括核心功能实现和基础数据。核心功能实现用来实现核心的电子琴，播放预存音乐，录制与播放功能。基础数据含有核心的基本音频数据，其含有每个音符的频率音色信息。另外还有示例音乐数据，用于存储音乐琴谱。交互子层主要是 UI 操作和用于 UI 的图像数据。

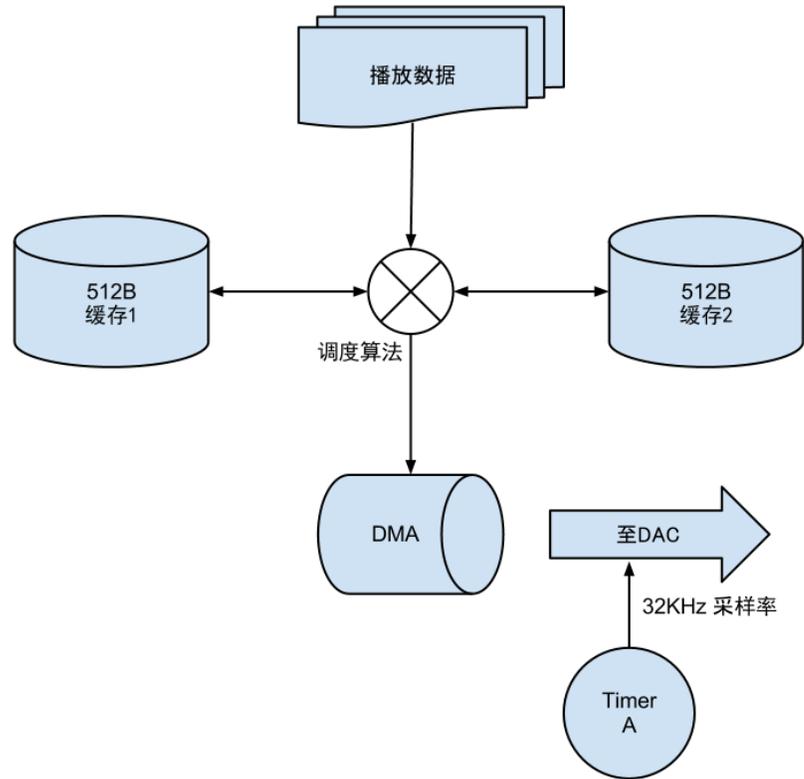
该架构的功能划分，简单明了，直观清晰。这减轻了编程调试压力，且鲁棒性高，易于重构。

5.1.2 数据流

在软件编程中，该项目主要有两大数据流。

1、DMA-DAC 数据流

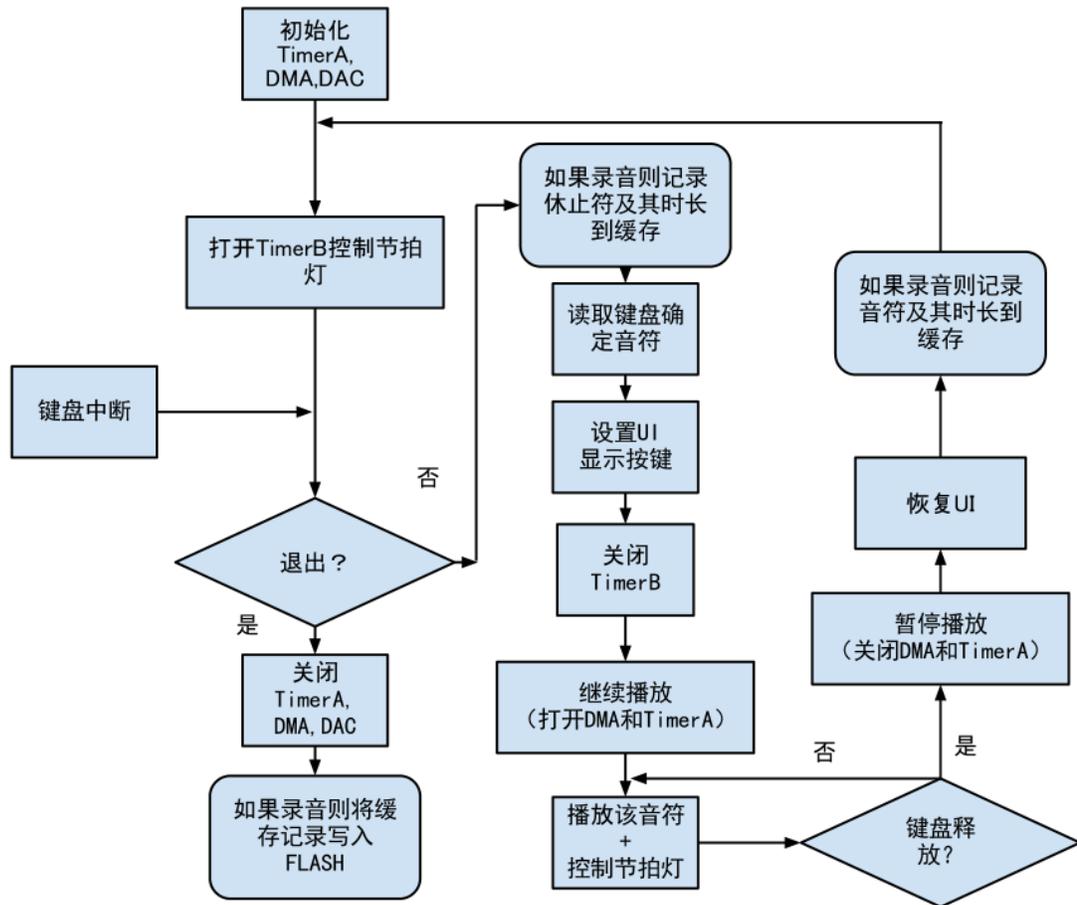
其流图如下：



其数据经由两个 512 字节的缓存流向 DMA，再受 Timer A 的 32KHz 的时钟信号以同样大小的采样率输出到 DAC。其核心是原始数据，缓存和 DMA 三者之间的调度算法。为了达到较高音质，我们在 MSP430F2619 解码能力的允许下，将采样率设为了 32KHz，这使得 430 芯片在满负荷运行。为保证音频流输出流畅，我们在 DMA 和原始数据直接，设有两个缓存。做到 DMA 将一个缓存数据输出到 DAC 的时候，原始数据流向另一个缓存，并等待前一个缓存数据输出完。其调度算法不断改变数据流向。

2、电子琴功能数据流

电子琴功能数据流图如下：



该数据流用于电子琴和录音中，其放音部分也适用于音乐部分。其数据流要操控多个外设：包括键盘，LCD，DMA+DAC，TimerA+TimerB，LED 节拍灯和 FLASH。下面对该流图进行详细解释：

1. 初始化：将设置 DMA，DAC 和 TimerA 用于音频输出。但将 TimerA 关闭以暂停播放。同时设置 LCD 显示图标和键盘中断用于交互。
2. 打开 TimerB：在 TimerA 关闭的时候由 TimerB 控制 LED 灯亮灭以显示节拍。
3. 等待中断：如果键盘中断为退出指令，则关闭外设。如果为录音，还需将缓存中的乐谱写入 FLASH。
4. 如果上级中断为播放某一音符。首先确定是否为录音，录音将记录休止符和时长到缓存。然后通过键盘获得要放音符的音名和音高。设置 UI 显示为该按键按下。关闭 TimerB，打开 TimerA 和 DMA 开始发音，同时利用 TimerA 控制 LED 灯。
5. 等待按键释放，释放后关闭 TimerA 和 DMA 来关闭发音。如果录音，则记录该音符和时长到缓存。
6. 返回第二步。

5.1.3 数据和数据结构

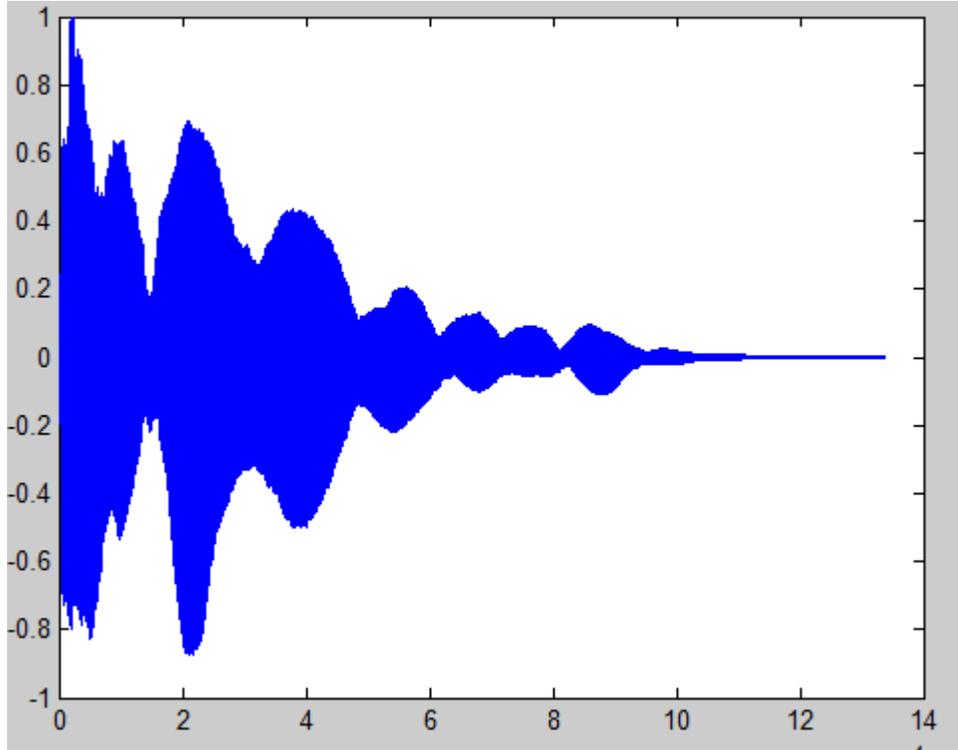
1 基础音频数据

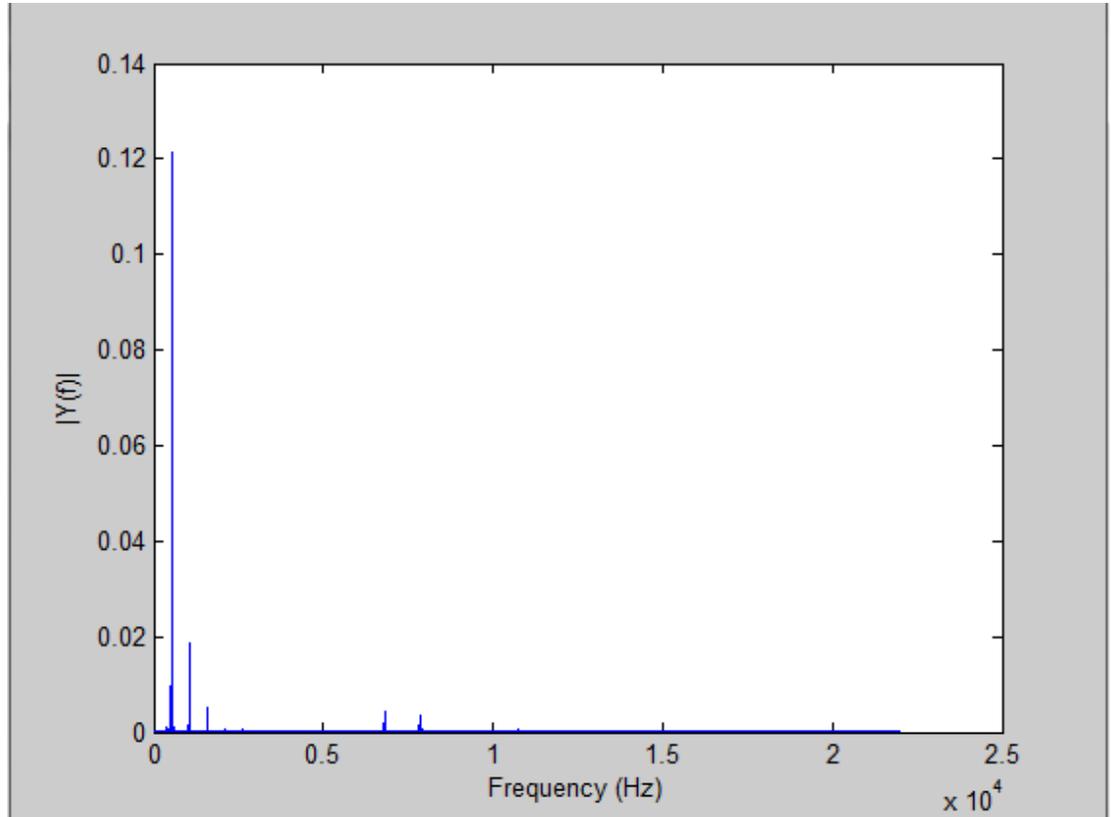
因为 MSP430F2619 的浮点计算有限，且我们取的较高采样率使 430 芯片工作负载较高，为

此我们使用直接查表的方法获取波形。我们在程序中存有每个音的两个周期的采样数据，播放时循环输出这两个周期数据，即得到无限长的一个音符。

这两个周期的数据用 Matlab 按如下方法生成：

- 1) 对一段钢琴的真实音频，进行波形分析和频谱分析，如图：





- 2) 获取钢琴的每个谐频信息：包括与基频的倍数和相对基频的赋值。获取钢琴包络的频率。得到如下谐频数据：

```
k = [1 0.1212  
2 0.01862  
3 0.004919  
4 0.0005012  
5 0.0008024  
6 0.0001691  
13 0.00426  
15 0.003319  
20 0.0004799];
```

- 3) 由上一步的谐频数据和所求波形的频率，生成 100 个周期的波形。
- 4) 将得到的波形进行 FFT，得到频谱，将其与按照以包络频率 2 倍为宽带的冲击信号进行卷积，获得加包络后的频谱。
- 5) 将上一步得到的频谱进行 IFFT，得到波形后取两个周期。
- 6) 对于信号开始和结尾处的包络将第 3 步得到的波形与以指数衰减函数相乘即可。

2 音乐数据和录音数据

本程序中用一段 `uchar` 数组储存，其数组的前两字节为转化为 `uint` 表示剩余数据的长度。后面的数据以两字节为一组。前一字节表示音符名，其中 0 表示休止符，1 表示低音 do，其余依次递进。后一个字节表示音长。其中对于 4 分音符会播放 20 个周期。

5.2 硬件电路设计

5.2.1 电源供电模块：

使用正五伏电源对外接电路供电，对于电压跟随器、单极性转双极性电路和低通滤波电路，要求加在运放芯片或滤波芯片两端的电压分别为正负五伏，对于功放，只需要正五伏电压。

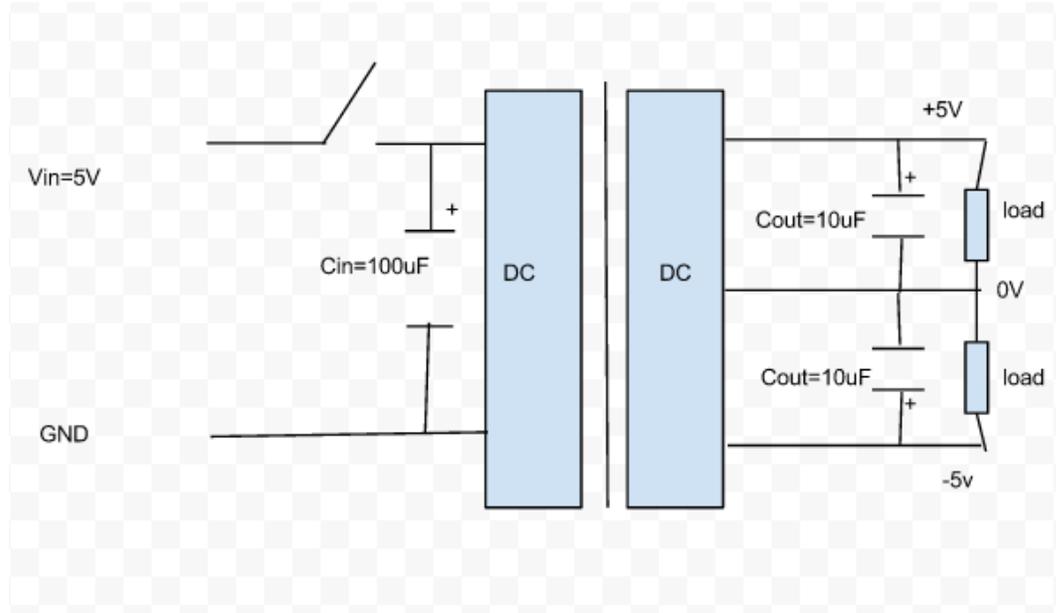
在设计中使用 WRA0505YMD-3W 系列 3W，宽电压输入，隔离稳压正负双路/单路输出 DC-DC 模块电源使输入的 5V 电压变成 $\pm 5V$ 。且电路包含开关按键，进行电源的通断设置。

最后每个模块的电源都是由 DC-DC 稳压模块的输出电压提供，注意电路的地线应该是接模块电压输出为 0V 的端口而不是稳压模块本身的 GND 引脚。

在多电源的情况下一般可以加入隔离电感进行电源隔离，电感的值一般是 100 微亨一下，10~50 微亨左右，甚至几个微亨，视工作频率而定，频率越高电感量可以越小。在本电路中未加入隔离电感，因为输入电压不大，各个电源之间的影响比较小，可以忽略。

稳压模块连接电路中包含三个电容，是为了去除纹波效应使得输出电压更稳定。

电路图



其中 load 为需要加电压的电路的电压端口和地线。

注意此模块对于负载电阻有要求，当负载电阻要求小于某值时，会使得 DC-DC 模块工作不正常，产生电压不是正负 5V。

5.2.2 外部电路连接方式

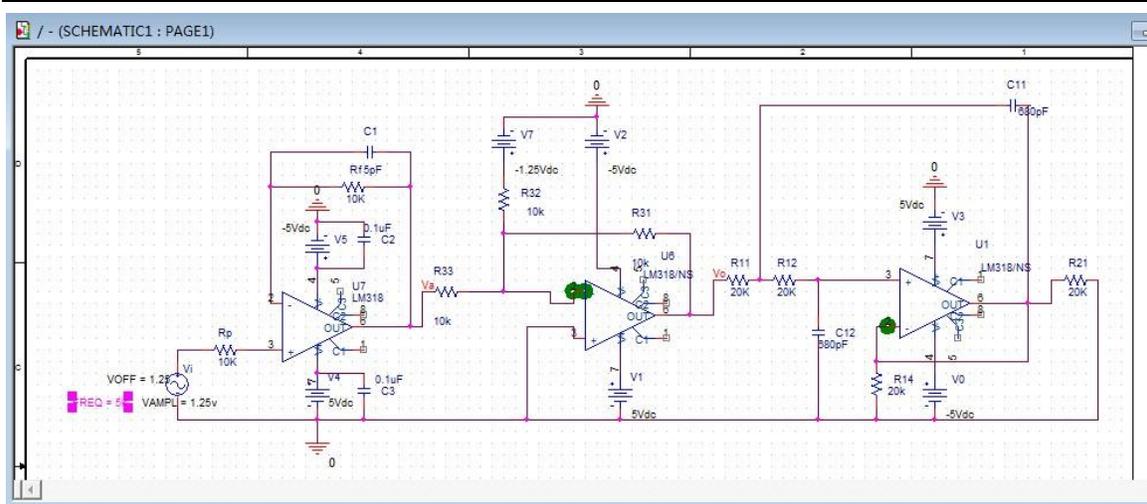
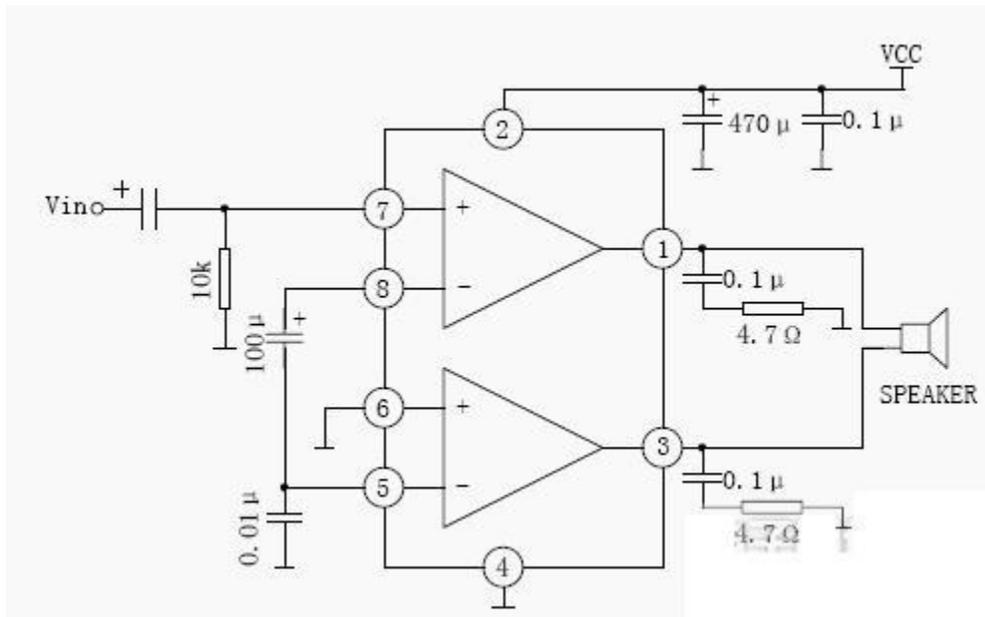


图2.

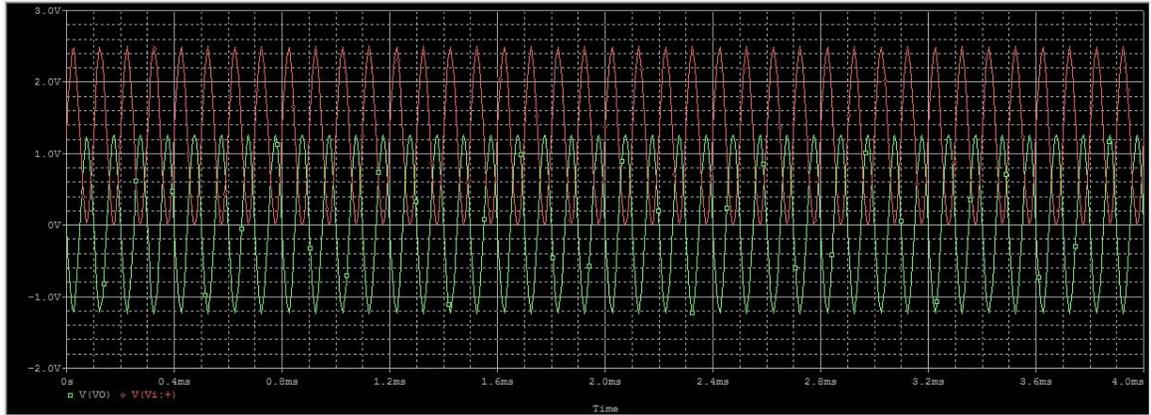
由仿真图可见，外部电路主要分三个模块，分别为电压跟随器、单极性输出转双极性输出电路、低通滤波器。电压跟随器用以表现保护MSP430F2619芯片，单极性转双极性输出电路用以将0至2.5V的输出改为-1.25V至1.25V的输出，使输出的音色更完美，低通滤波器用以去噪。

5.2.3 功放电路：

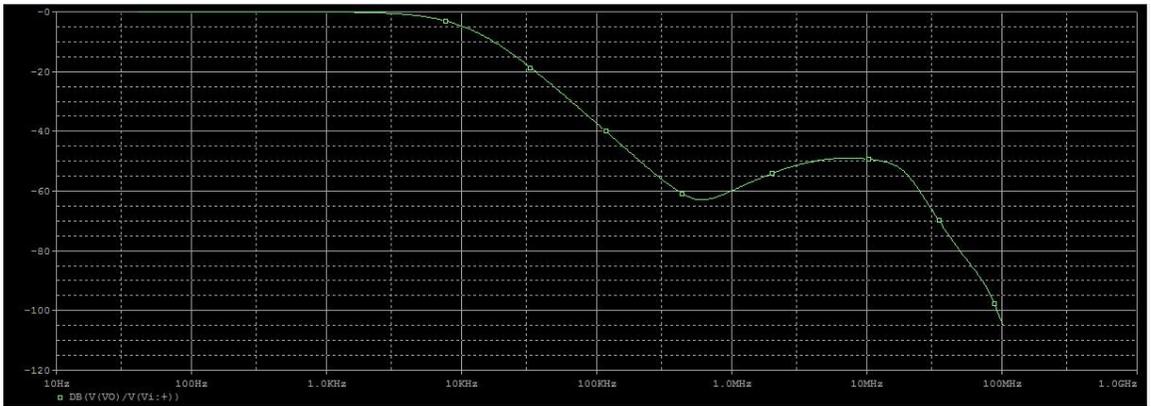


5.2.4 仿真结果

我们用0至2.5V的，5KHz的正弦波模拟声音波形进行仿真。仿真结果如下：
 输入输出的波形图：



幅频响应:



5.2.5 模块测试结果

6. 系统测试与结果

6.1 主要仪器仪表

+5V 直流稳压源、MSP430、PC 机

6.2 调试电路的方法和技巧

调试前要作好仪器仪表的准备工作:

- ① 根据调试内容选用合格的仪器仪表;
- ② 检查仪器仪表有无故障, 量程和精度应能满足调试要求, 并熟练掌握仪器仪表的正确使用;
- ③ 将仪器仪表放置整齐, 经常读取信号的仪器应放置于便于观察的位置。

检查的主要方法有两种:

(1)直观检查。按照电路原理图认真检查安装的线路, 看是否有接错或漏接的线, 包括错线、少线和多线, 特别注意检查电源、地线是否正确。信号线、元器件引脚之间有无短接, 连接处有无接触不良, 二极管, 三极管、集成电路、电解电容等引

脚有无接错。也可用手轻拉导线并观察连接处有无接触不良。一般按顺序逐一对应检查，为防遗漏，可将已查过的线在图上做出标记，同时检查元器件引脚的使用端是否与图纸相符合。

(2)借助于万用表“R*I”档或数字万用表带声响的通断测试挡进行测试。注意观察连线两端连接元器件引脚的位置是否与原理图相符合，而且尽可能直接测元器件引脚，这样可同时发现引脚与连线接触不良的故障。

另外要特别注意检查电源，包括电源供电(包括极性)、信号源连线是否正确检查直流极性是否正确，信号线连接是否正确；电源端对地是否存在短路，在通电前，断开一根电源线，用万用表检查电源端对地是否存在短路等。

6.3 调试故障、产生原因及排除方法

1.设计的电压跟随器和单双极性转换电路增益与预期不符

产生原因：运放 OP07A 系列的运放对电源电压要求高，正负 5V 的电源不能达到理想工作效果

排除方法：查阅相关资料，选取符合相应硬件环境的运放，我们使用的是 LM318 系列的运放。

2.输出波形出现削波情况

产生原因：信号发生器输出波形带有直流偏置

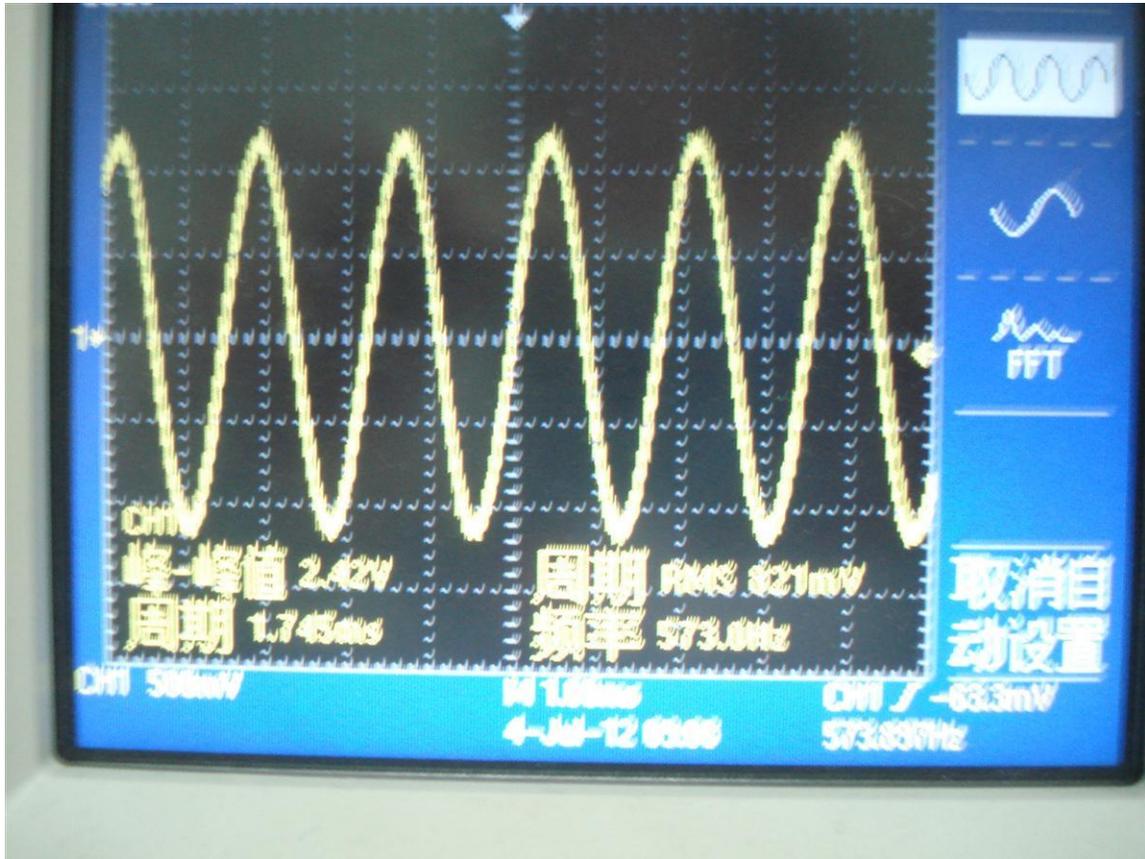
排除方法：在其进入放大电路之前，对其进行直流滤波。即在输入端加入隔直电容。

3.在电路连接正确的情况下，系统处理波形出现严重失真

产生原因：原来以为是示波器或者是电路中隔直电容造成的原因，但是最后排除这些故障后发现了电压源正负电源连接出现错误。

排除方法：正确的对供电电源进行了连接，得到了正确的波形。

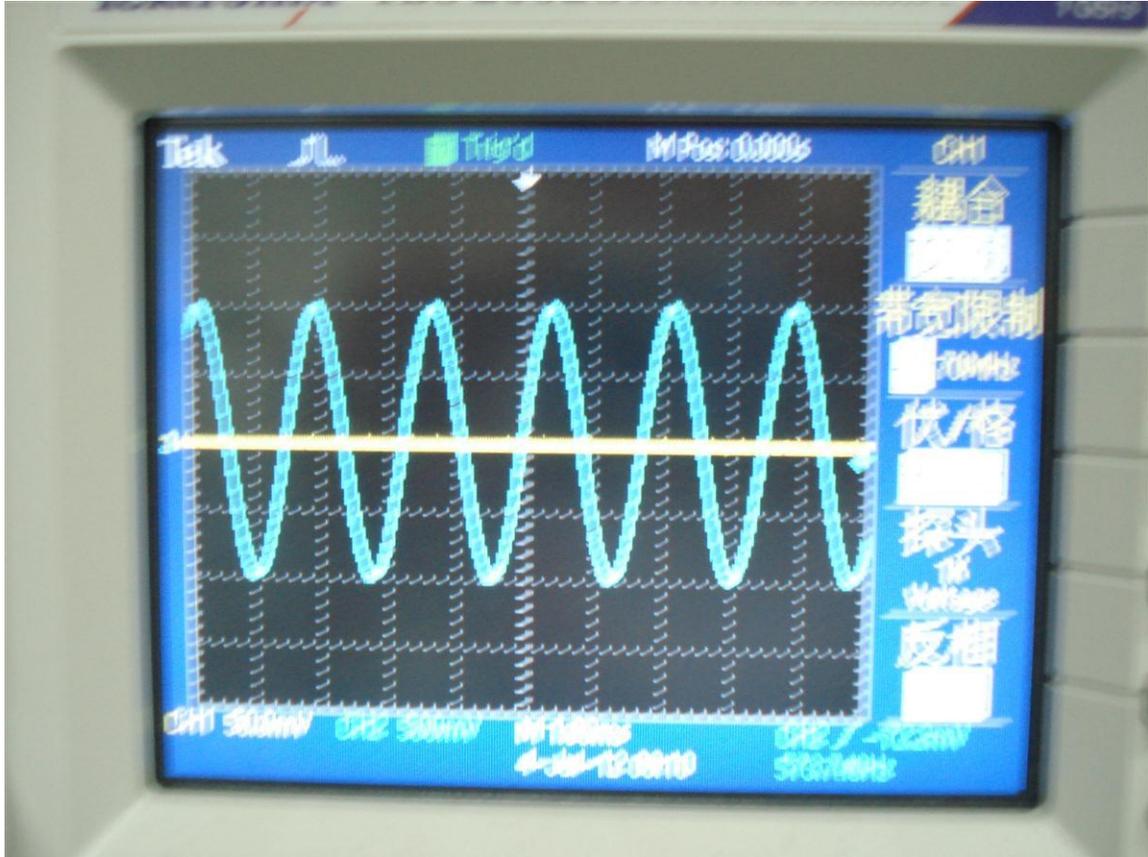
6.4 正弦波输入测试及结果分析



正弦波

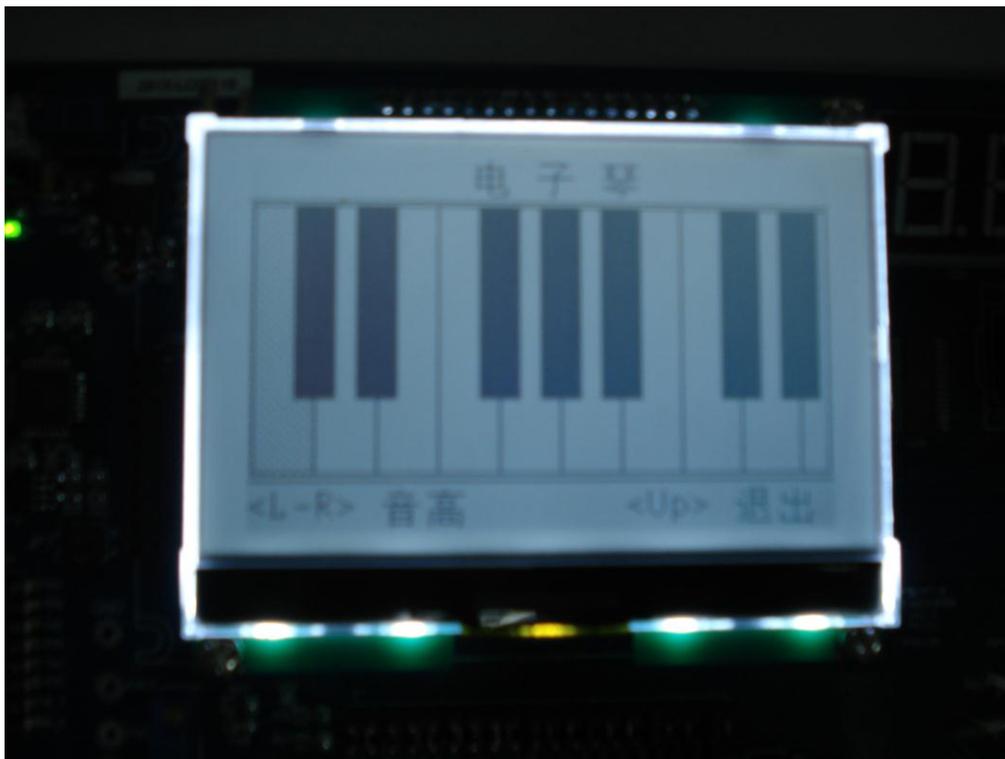
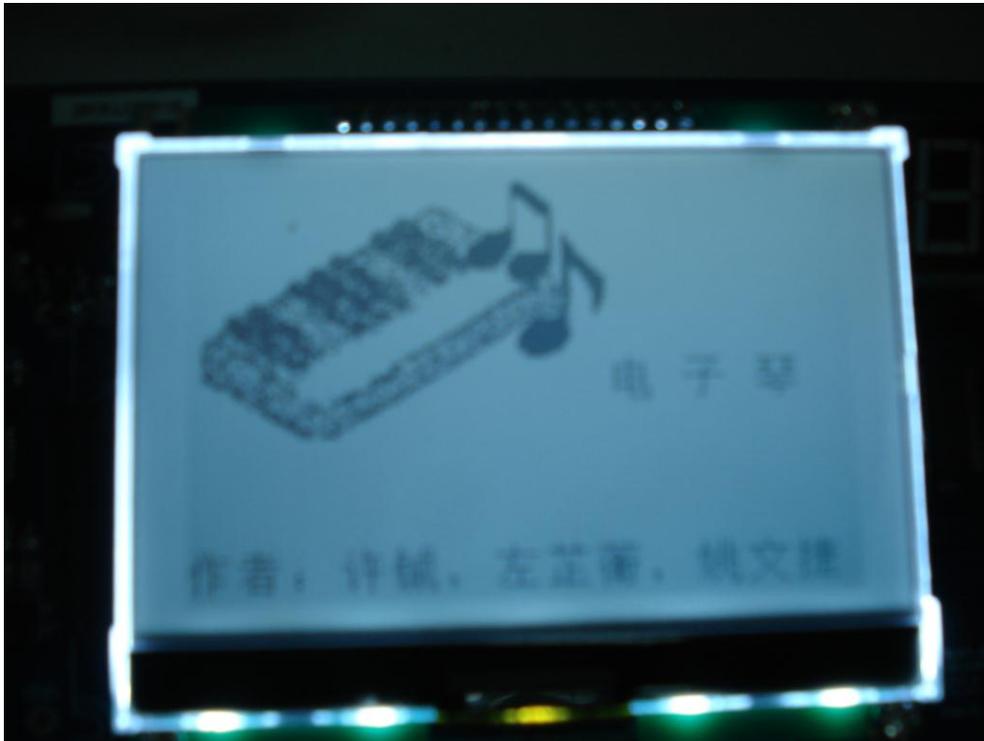
正弦波测试结果较为理想，有正常声音输出。

6.5 音频信号测试及结果分析



将按键输出的音频信息接示波器，波形完美，有完美声音输出。

6.6 电子琴界面



7 结束语

综上所述，我们的系统不仅完满地实现了各种基本功能，而且还实现了诸多难度较大的拓

展功能。在各种测试条件下保持了性能的稳定。因而，这是一套相对优秀的电子器件。

对于我们小组而言这次硬件设计的过程是十分曲折的，中间的所走过的弯路，所经历的挫败、失望、彷徨直到坚持中突然的“起死回生”，在过去两个星期的每一天，融入在我们每一行代码中，每一根导线里，我们无心也无法去过多思考这零零总总的琐碎细节。然而，今天当我们回望这一切，欣慰夹杂着感慨便涌上心头。

从购买器件过程中商家反复出售问题芯片，到焊好的电路板却无法工作，再到高级功能温控模块在最后一天因为芯片质量问题而不得不重新修订方案等等，这些打击现在看来却是我们硬设路上一个个里程碑，让我们倍感鼓舞。如果我们没有当时大胆的规划与分工，不必这些打击来掺和，我们或许会在自己的手忙脚乱中葬送这次硬设；如果我们没有那份坚持与执着，或许我们早就在一次次困境面前彷徨，犹豫最终放弃温控模块；如果我们没有那些在困境时的相互鼓舞与通力合作，很难想象我们是怎么在最后一天里面对片子的突然失灵，从零开始，重新设计并实现了一个模块。

一次硬件设计留给我们的除了知识与技能之外，更为重要的是一份态度，一种品质。

8 致谢

这次竞赛中，我和我们小组得到了许多人的帮助，特在此致谢。

首先，特别感谢我们的指导老师汪小燕老师。汪老师从项目一开始就特别关注项目的进度，特别通过邮件和电话等方式和我们交流，给我们的方案提出建议，比如，陈老师让我们注意芯片的选取，实验进度的把握等等。项目进行的过程中，汪老师为我们提供了舒适的实验环境，实验室全天开放也让整个项目的进度能够快很多。

还要感谢其他组的成员，和他们的交流让我们认识到自己的不足，给自己以鞭策，激励自己不断提高。

最后，感谢电信系和 TI 公司举办并赞助这次竞赛。另外，特别要提的是 TI 公司的免费申请样片服务，这让我们增加了接近和了解 TI 芯片和 TI 公司的机会，也给我们提供了一个可以发挥我们想象力的平台。