

基于 RTT 的智能评价数电实验箱

流水灯攻城狮；刘军；黄炜乐；陈宁；陈松岭；刘星华

摘要

随着科技的不断进步，万物互联，各种电子产品的更新换代速度越来越快，电子产品的普及程度越来越高，这些新的产品往往需要更高的技术水平和更高的工程师才能进行研发和制造，因此，市场对于高水平电子工程师需求量越来越大。而数字电子技术是成为一名电子工程师必不可少的基础课，实验则是数字电子技术课程学习过程中的重要环节。在教学环节，学生同时就相同的课题独立进行实验，老师需要一一检查学生的实验结果，由于学生们的实验方案以及操作过程都不大相同，导致老师们检查时的效率很低。为提高实验教学效率，培养学生自主实验能力，我们设计了这款智能评价数字电子实验箱，可大大提高实验教学效率，培养学生自主实验的能力，使学生可以独立完成实验，利于进行开放性实验。

我们设计了一款基于 RT-Thread 实时操作系统的智能评价数电实验箱。该作品包括 STM32G4 单片机最小系统、WIFI 模块、RFID 模块、语音模块等硬件组件。软件系统采用 RT-Thread 实现任务调度，保证多任务的有序执行，提高系统的实时响应能力，并采用 OTA 技术实现固件的升级。

实验箱设有“实验状态”与“评价状态”两种模式。在“实验状态”下，可实现常规数字电子实验箱的功能；在“评价状态”下，根据预设的评价规则，对实验电路进行智能评价，并将结果上传云端，从而大大减少了教师的工作量。系统集成了云平台，结合 RT-Thread 操作系统的多任务调度实现了数据管理、分析、可视化及流程任务管理功能，实现了全面的实验管理与智能评价。

此设计不仅提升了实验教学的整体效率，还为学生提供了一个智能、便捷的实验环境，有效促进了学生自主学习能力的提升。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

本项目是一个基于 RT-Thread 的智能评价数字电子技术实验系统。本项目以 STM32G4 为核心，集成了 RT-Thread 操作系统的多任务调度和云平台强大的数据管理、分析、可视化及流程任务管理功能，实现了全面的实验管理与智能评价。本项目将数字电路实验分为“实验状态”与“评价状态”，在“实验状态”可实现常规数字电子实验箱的功能，在“评价状态”，根据评价规则，对实验电路进行智能评价，大大减少了教师的检查、测试和成绩评定的工作量。RFID 模块，用于读取学生 ID，读取卡内各项数据，记录学生实验操作。STM32G4 通过 WIFI 模块与云平台进行通讯，获得本次课程的实验规则，并将学生实验操作结果发送到云平台，以生成班级实验操作数据报表，作为教学环节持续改进的重要依据。

1.2 应用领域

在教育教学领域为电子信息、电气工程等相关专业的学生提供实践操作平台，帮助他们理解和掌握数字电路的基本原理和设计方法；用于开展实验课程，培养学生的动手能力和创新思维。可根据高校所需的实验教学内容调整实验箱功能以及外设，从而作为高校数字电子技术实验这门实验课教学使用的实验仪器。

工程师在开发新的数字电路产品时，可以使用实验箱进行原型设计和功能验证，对电路的性能进行测试和优化。在通信领域协助研究和开发数字通信系统中的编码、解码、调制解调等电路。协助研发各类消费电子产品，如数码相机、数字音频设备等内部的数字电路。

1.3 主要技术特点

本项目是一个基于 RT-Thread 的智能评价数字电子技术实验系统。本项目以 STM32G4 为核心，集成了 RT-Thread 操作系统的多任务调度和云平台强大的数据管理、分析、可视化及流程任务管理功能，实现了全面的实验管理与智能评价。感知层通过传感器模块包括电压传感器、电流传感器、温度传感器等，用于采集实验过程中的各种数据。内部采用 UART、I2C、SPI 等

标准通信协议进行数据传输。STM32G4 通过 WIFI 模块与云平台进行通讯，获得本次课程的实验规则，并将学生实验操作结果发送到云平台，以生成班级实验操作数据报表，作为教学环节持续改进的重要依据。

1.4 主要性能指标

理论学生电源电压 (V)	实际学生电源电压 (V)	误差率
5	5.01	1%
电源模块理论输出电压 (V)	电源模块理论输出电压 (V)	
5	5.01	1%

电源模块输出电流为 6A，驱动能力强；具备过压、过流保护等功能，保障使用者的安全；插孔接触稳定可靠，确保良好的电路连接；在长时间使用过程中的性能稳定性，不易出现故障；提供的时钟脉冲信号频率范围宽，能否提供稳定时钟信号；输入电平的兼容性强，包括 TTL 电平、CMOS 电平；输出电平的驱动能力强；

1.5 主要创新点

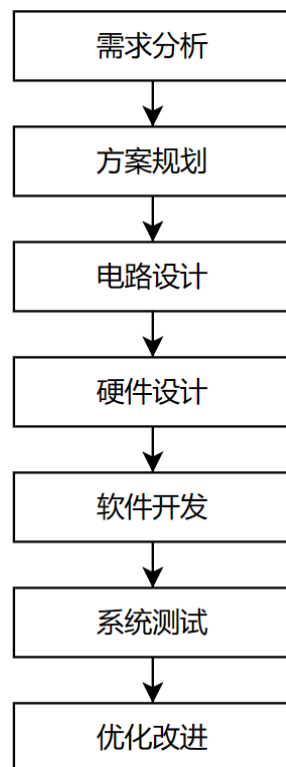
1、RFID 可读取学生卡的 ID 号，记录实验数据，获取实验信息上传到教学平台，生成报表。WIFI 模块与手机 APP 通信，实时传输学生实验完成情况和时长。

2、采用 RT-thread 实时操作系统，使实验平台更加高效、稳定、灵活，有助于使用者快速实现各种数字电子实验功能。

3、在“实验状态”下，可实现传统数字电子实验箱的所有功能；在“评价状态”下，依据预设的评价规则，对实验电路进行智能化评价。

4、系统采用了缓冲门电路和自恢复保险丝结合的电源保护方案。

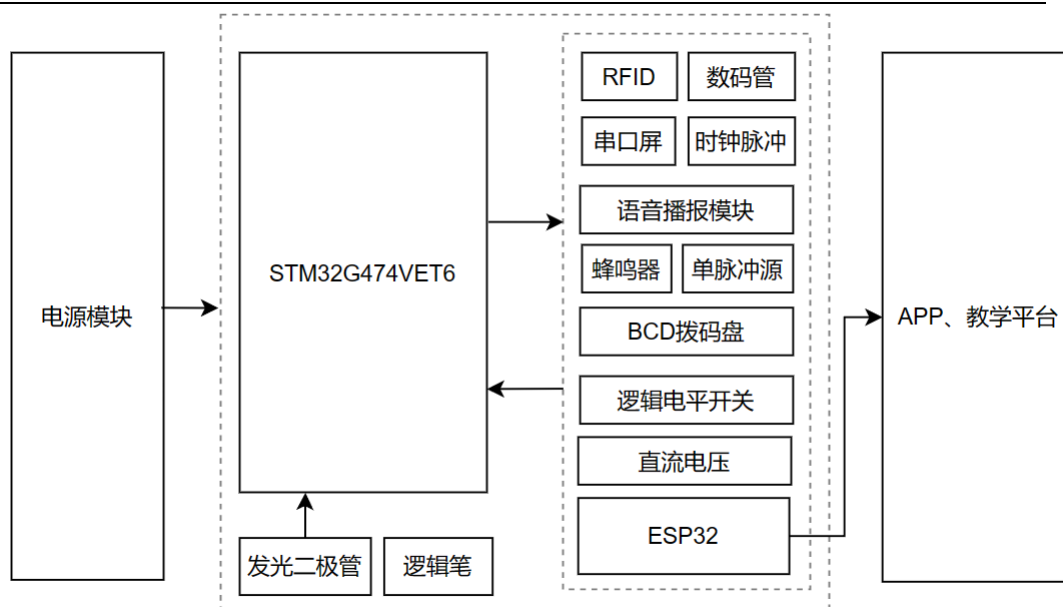
1.6 设计流程



- 1、需求分析：确定所需支持的实验项目和功能。
- 2、方案规划：选择核心芯片和主要元器件。确定实验箱的整体架构。
- 3、电路设计：绘制详细的电路图，包括各个模块之间的连接和信号传输路径。进行电路的仿真和验证，确保电路功能的正确性。
- 4、硬件制作：制作 PCB 电路板。安装和焊接元器件。
- 5、软件开发：编写控制程序或实验指导软件。
- 6、系统测试：对组装好的实验箱进行全面测试，检查各个模块的功能是否正常。进行长时间运行测试，确保稳定性。
- 7、优化改进：根据测试结果，对发现的问题进行优化和改进。

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍



本系统采用 RT-Thread 实现任务调度，保证多任务的有序执行，采用 STM32G474VET6 作为主控，统筹所有外设实现功能。

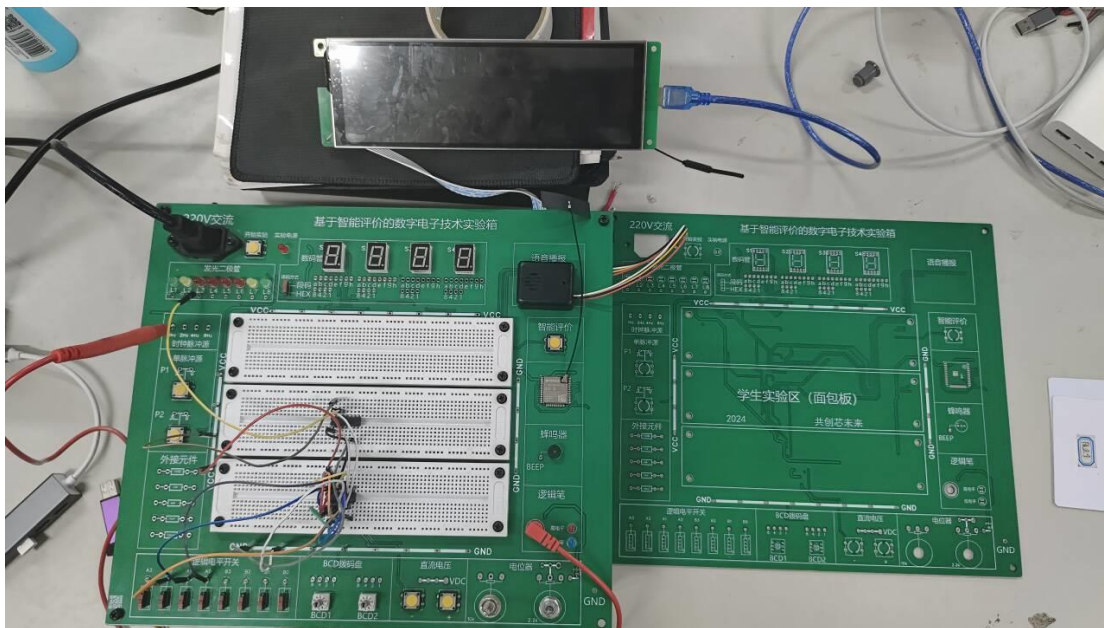
电源模块给 STM32G4 单片机和所有外设供电；STM32G4 单片机采集各个模块的状态，经过逻辑运算后控制各个模块达到预期的功能；通过 ESP32 将实验相关数据发送到 APP 和教师教学云平台。

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

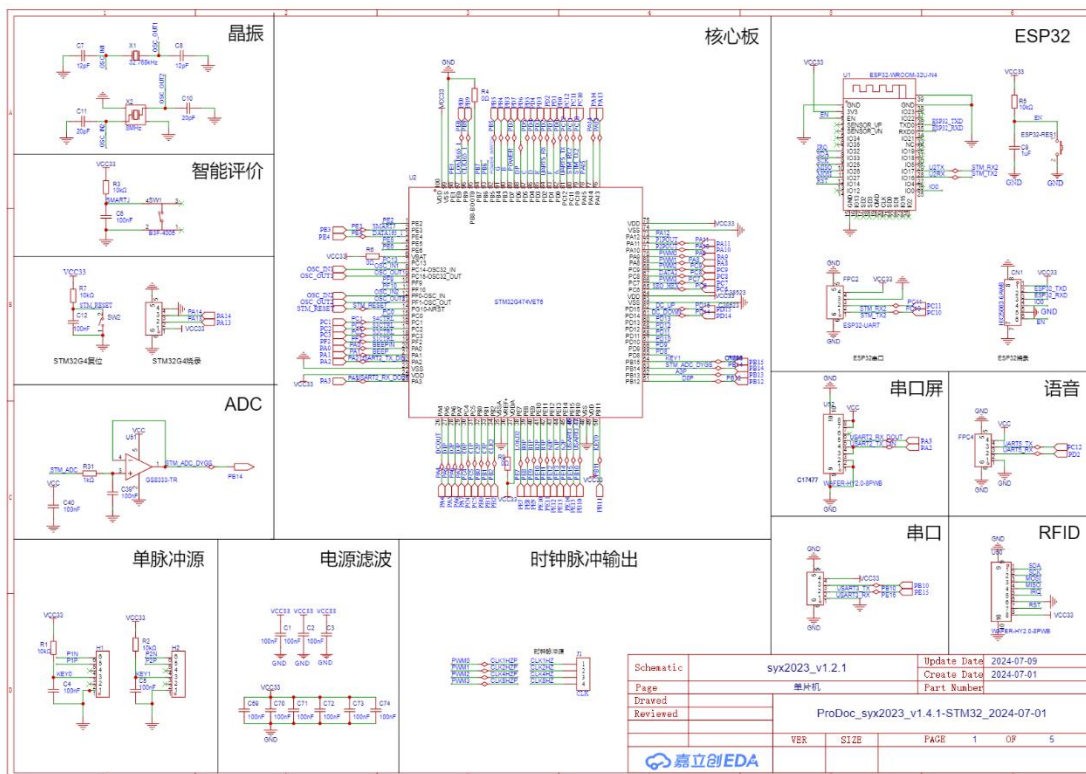
采用一块长宽为 32cm*28cm 的电路板，集成大部分外设，集成度高；通过 STM32G474VET6 统筹所有外设实现功能，电路板正面固定三块面包板保证了实验平台的开放性实验。电路的学生电源由单片机控制，确保实验的安全性，引脚的电平可存入移位寄存器 74ls165 中，供单片机读取，节省了 IO 口资源。

2.2.2



将主控板和侧板组装为一个长方体，RFID 模块设计在侧板上，供学生使用学生卡登入。

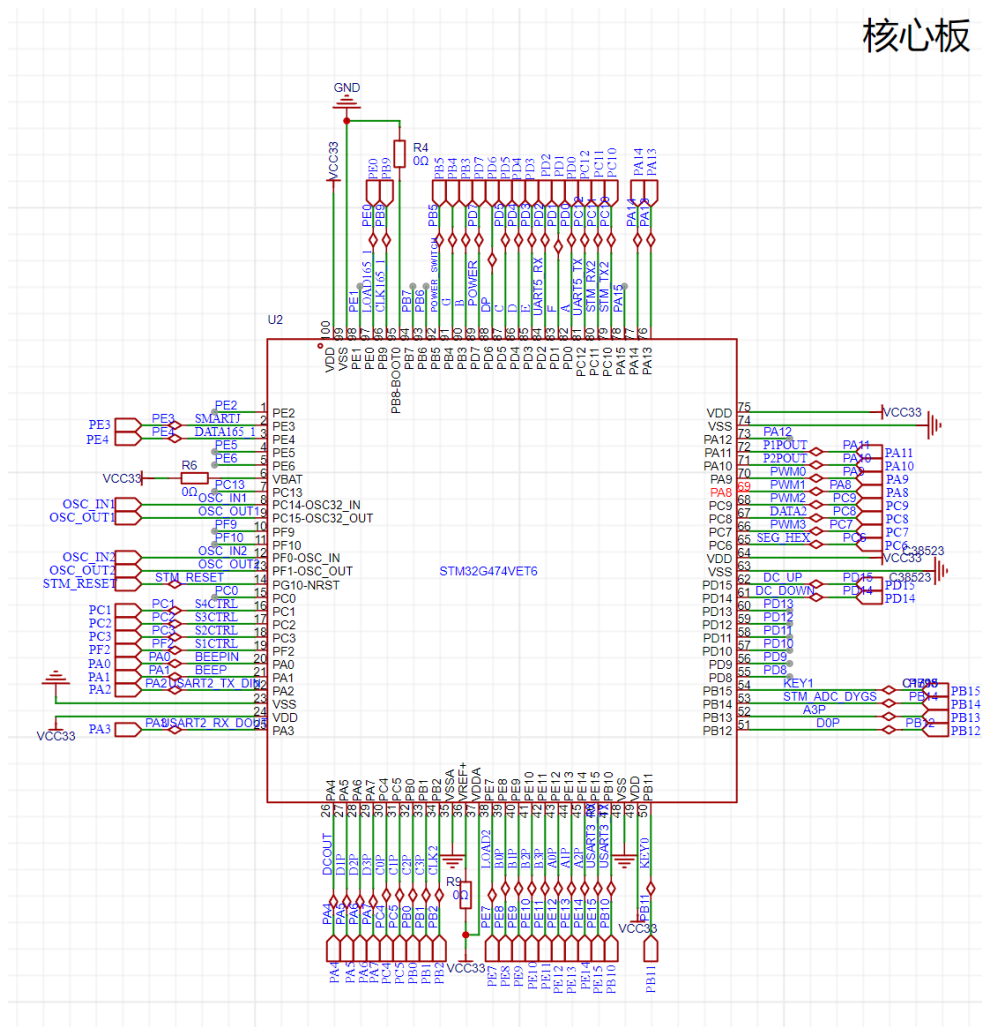
2.2.3 电路各模块介绍



本系统采用 RT-Thread 实现任务调度，保证多任务的有序执行，采用

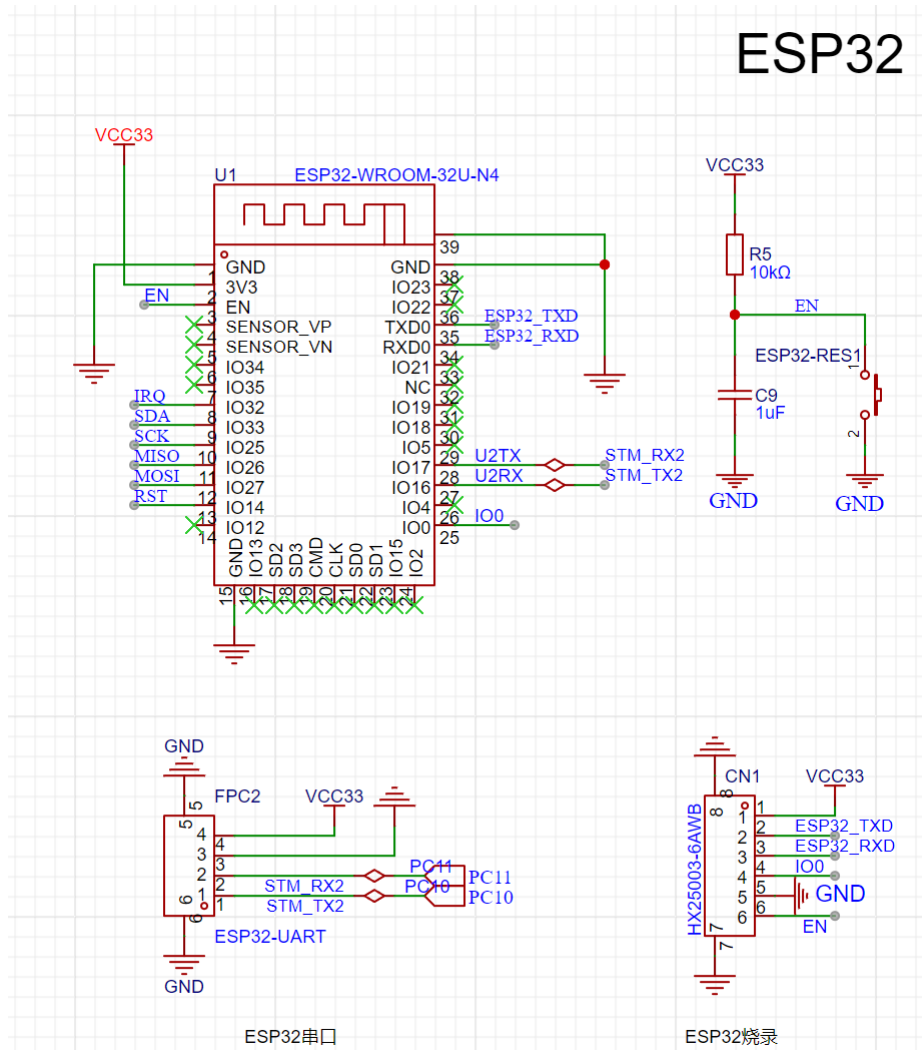
STM32G474VET6 作为主控，统筹所有外设实现功能。

核心板

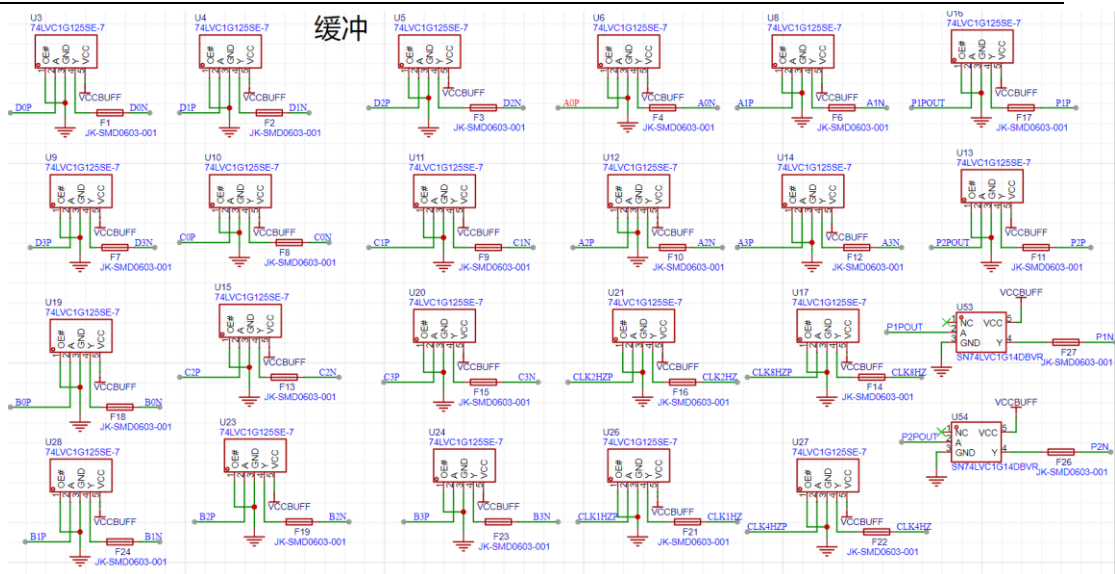


采用 STM32G474VET6 作为主控，工作频率高达 170MHz，能够提供较高的处理性能。内部具有 512KB 的闪存（FLASH）和 128KB 的 SRAM，还支持 QSPI-FLASH，可满足大内存需求和大数据存储。外设功能强大，包含 107 个 I/O、17 个定时器、3 个 CAN、4 个 I2C、5 个 USART/UART、1 个 LPUART、4 个 SPI、1 个 SAI；还具有 7 个 12 位 DAC、5 个 12 位 ADC、7 个超快轨到轨模拟比较器、6 个可用于 PGA 模式的运算放大器等，适用于多种应用场景。

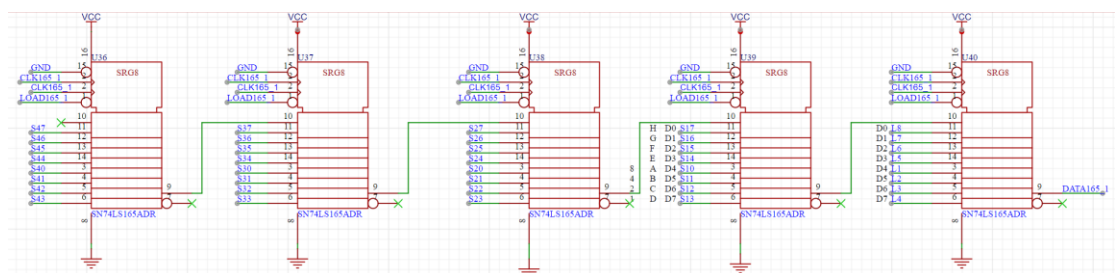
ESP32



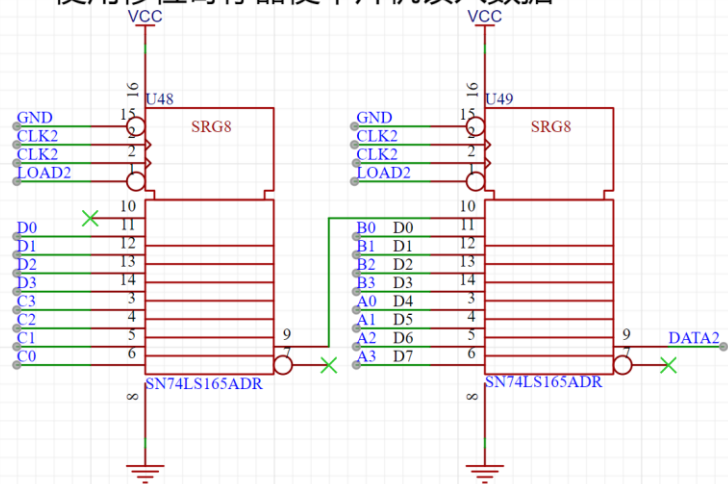
WIFI 模块采用 ESP32，具有内置双核 Xtensa 32 位 LX6 微处理器，主频高达 240 MHz，能够快速处理复杂的任务。拥有 4MB 的闪存，为存储程序和数据提供了充足的空间。在不同的工作模式下，能够有效地控制能耗，延长电池寿命，适用于电池供电的物联网设备。



各个输出引脚前设计缓冲器及快恢复保险丝，保证实验的安全性。

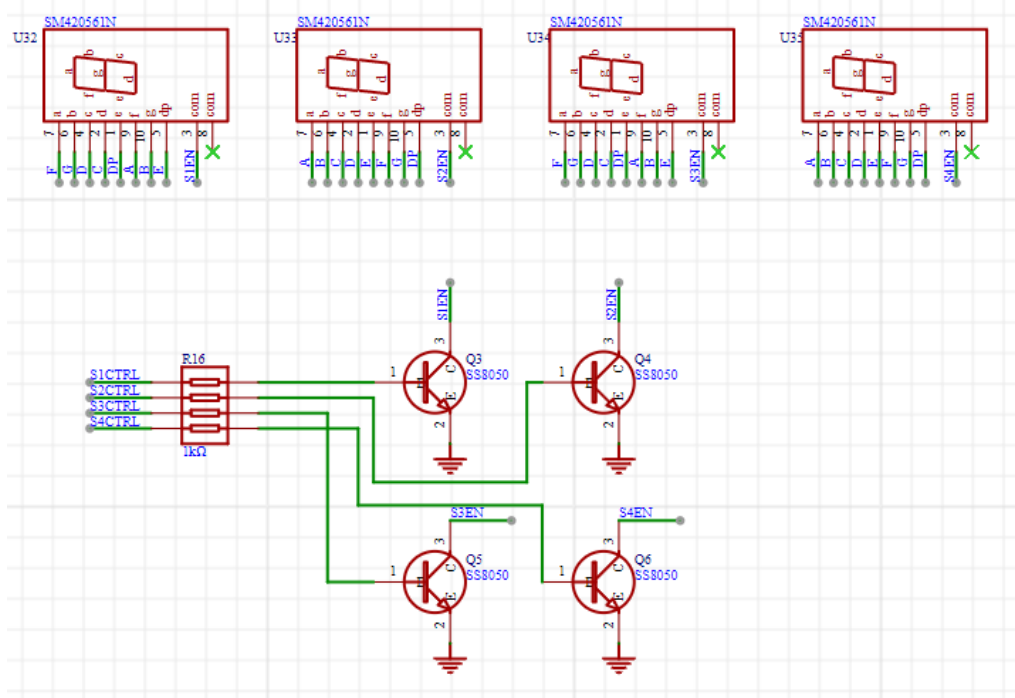


使用移位寄存器使单片机读入数据



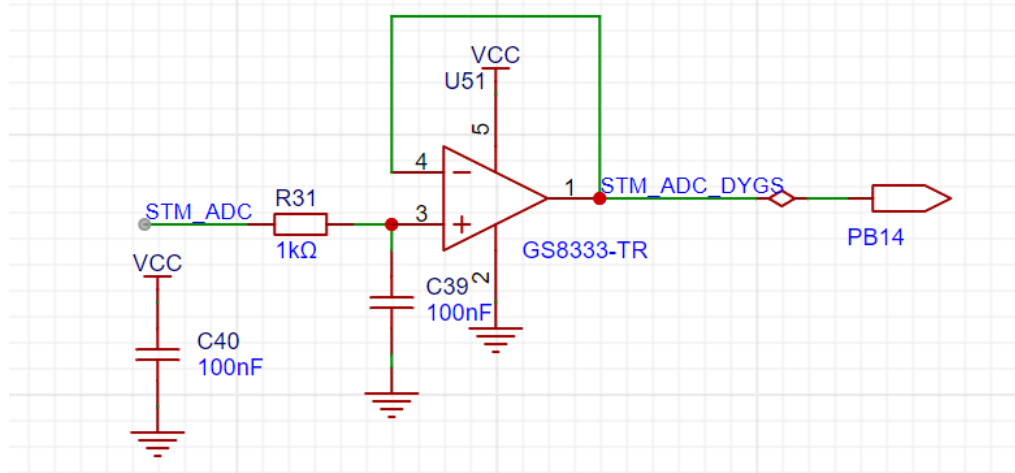
部分外设采用移位寄存器读取状态，大大减少了IO口的使用。

数码管采用单片机io扫描驱动



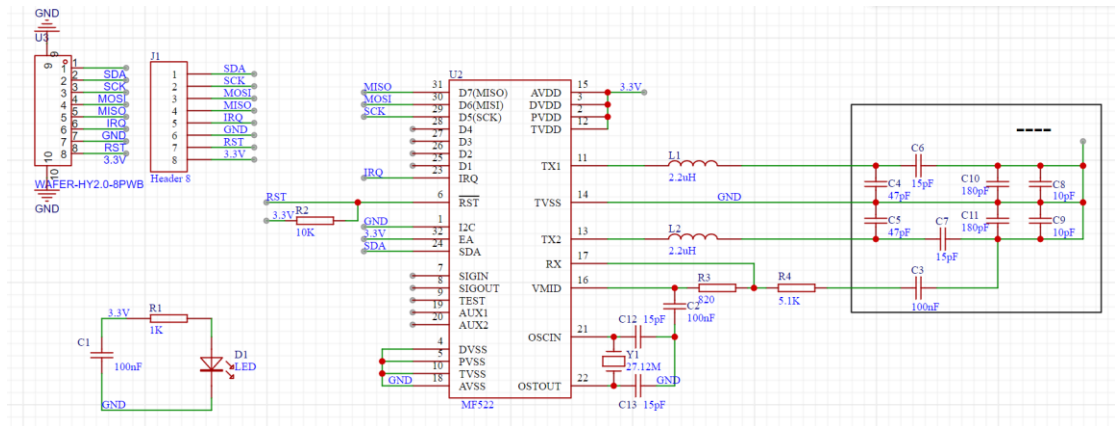
数码管采用单片机 IO 扫描驱动，大大节省了 IO 口的资源。

ADC

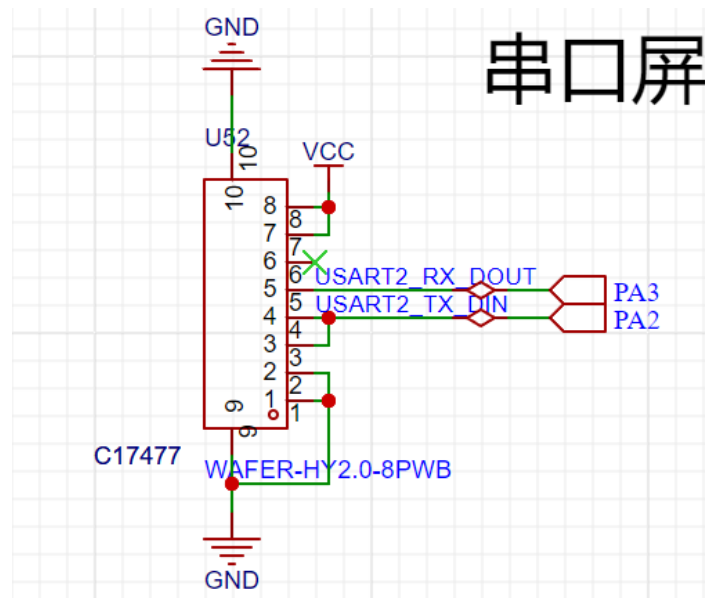


电压采集使用电压跟随器，提高了的输入阻抗，减小对输入信号源的负载影响，确保信号源能够稳定输出原始的电压信号，能有效避免信号的失真和衰减。能够在一定程度上隔离前后级电路，减少后级电路对前级的干扰，提高采集的准确性和稳定性。降低了输出阻抗，可以为 ADC 提供 stronger 的驱动能力，确保信号能够快速、准确地传输到 ADC 输入端。对输入信号中的

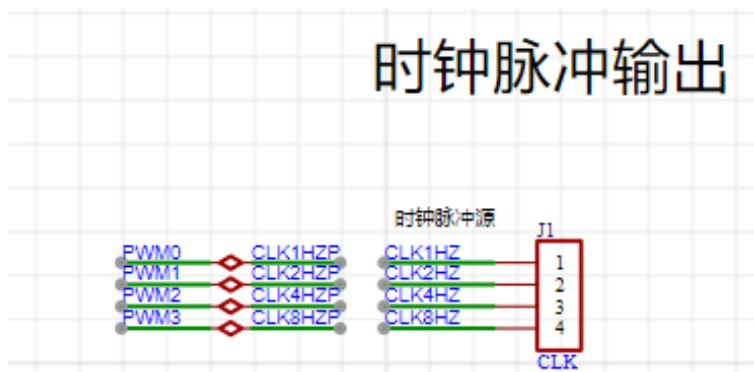
噪声具有一定的抑制作用，减少噪声对 ADC 转换结果的影响。



RFID 模块。

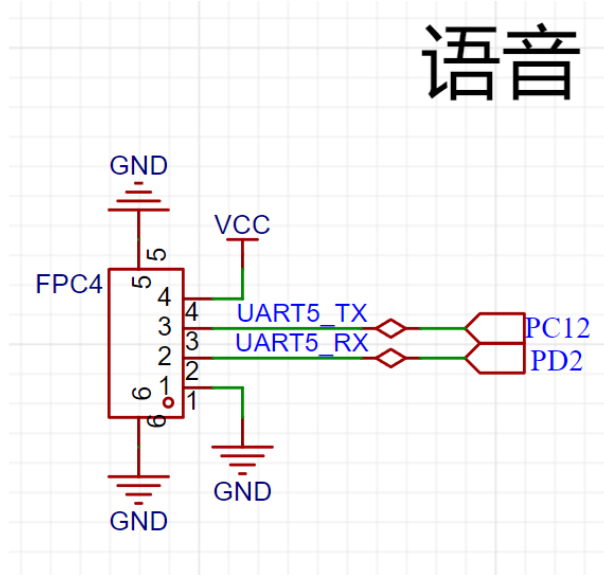


串口屏串口。

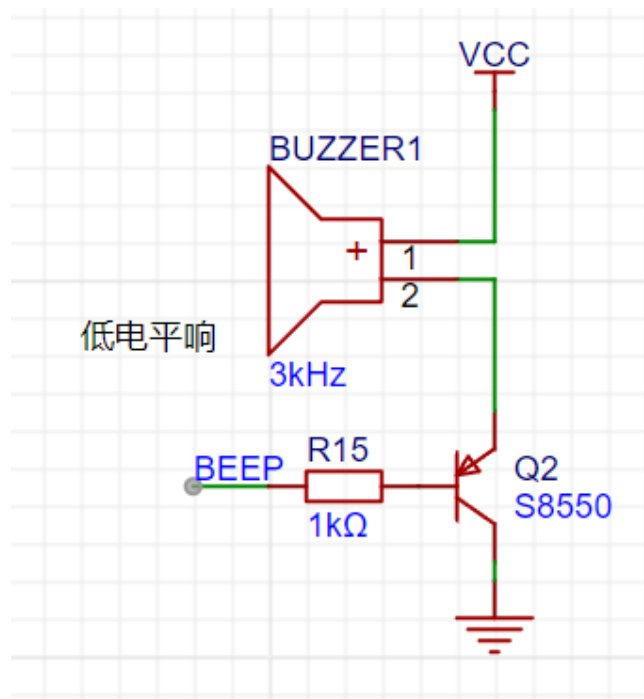


时钟脉冲由单片机直接产生。

语音

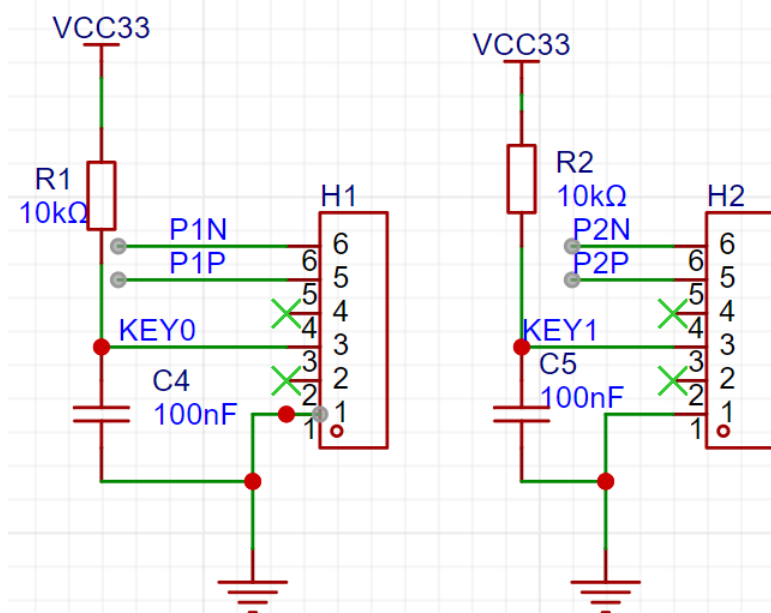


语音串口。

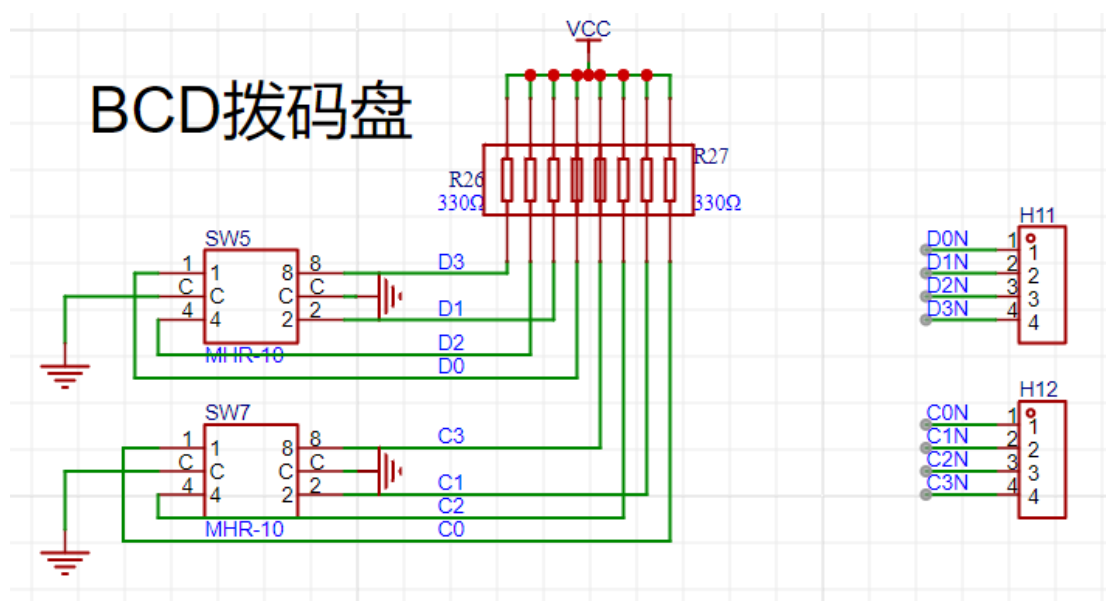


蜂鸣器模块。

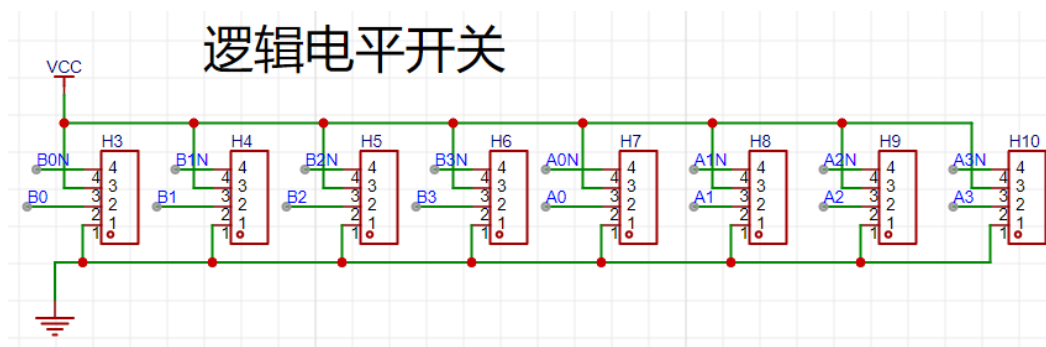
单脉冲源



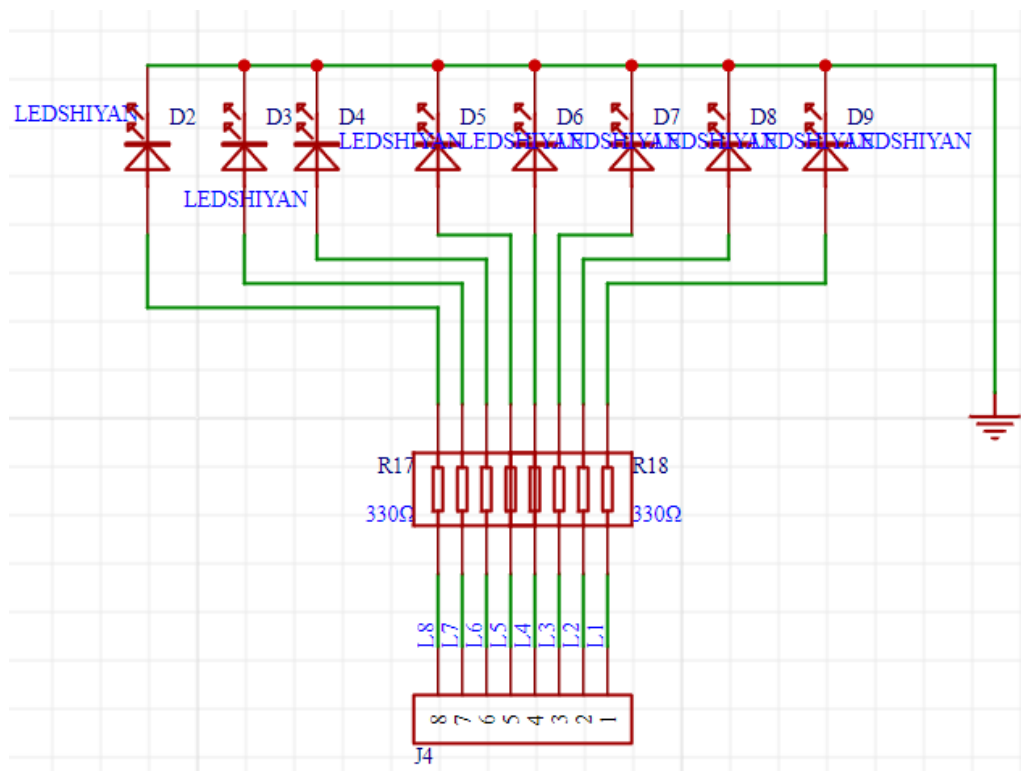
单脉冲源模块。



BCD 拨码盘模块。

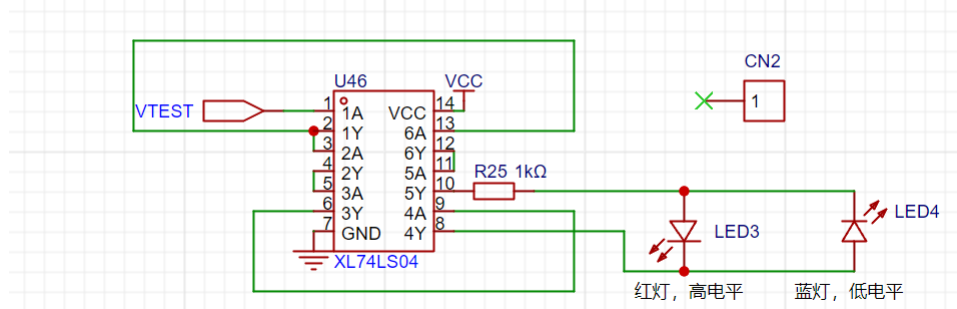


逻辑电平开关模块。



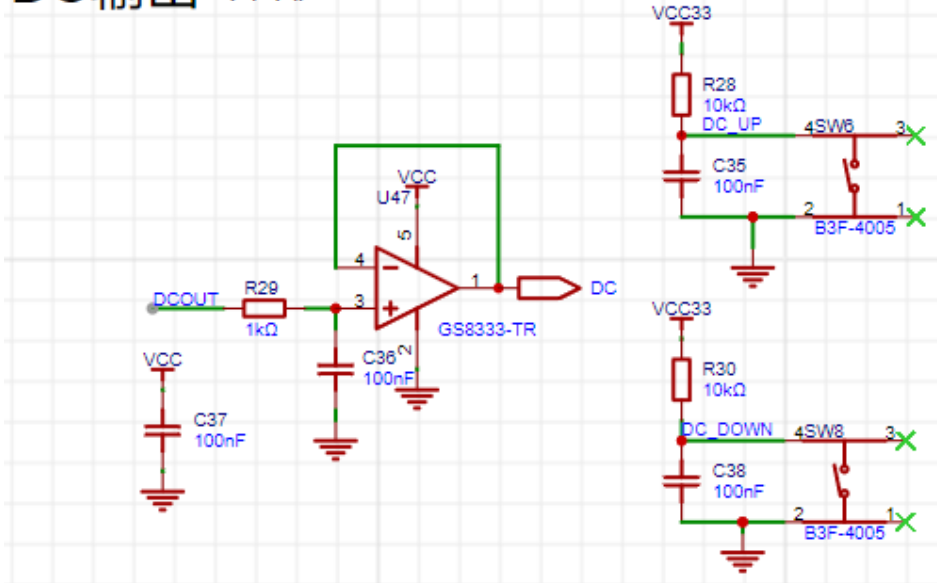
发光二极管采用共阴接法。

逻辑笔

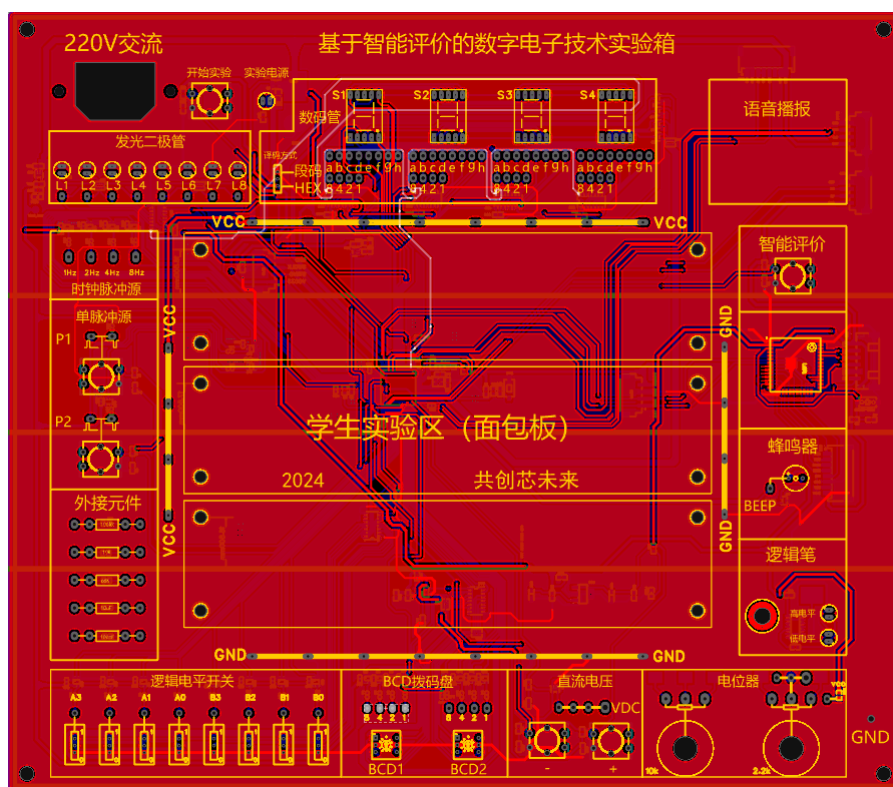


逻辑笔模块。

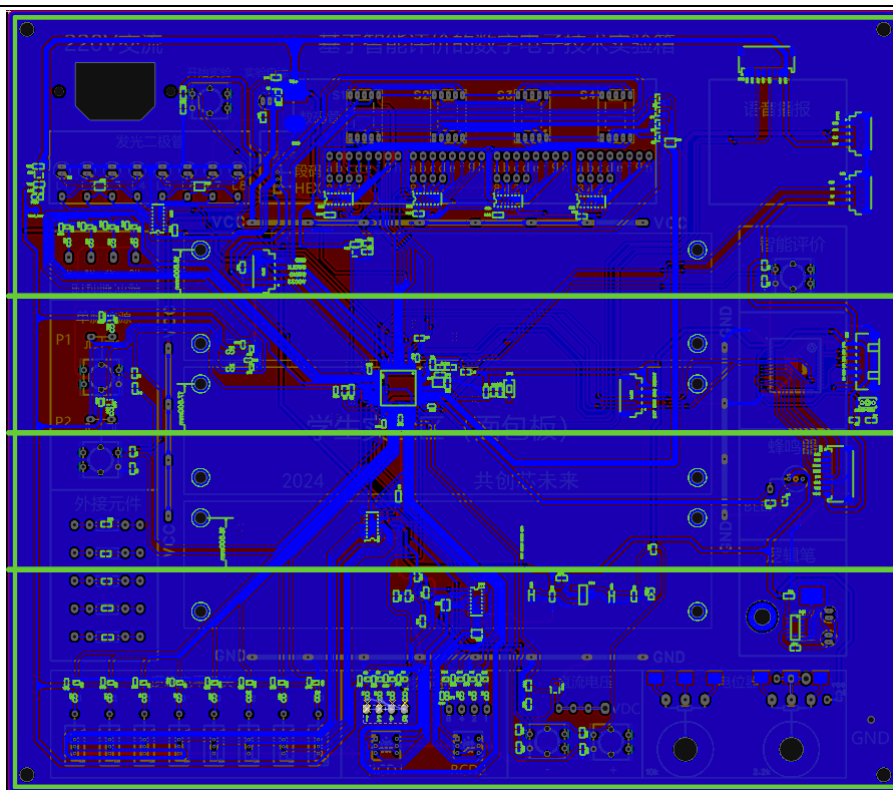
DC输出 单片机IO: DCOUT



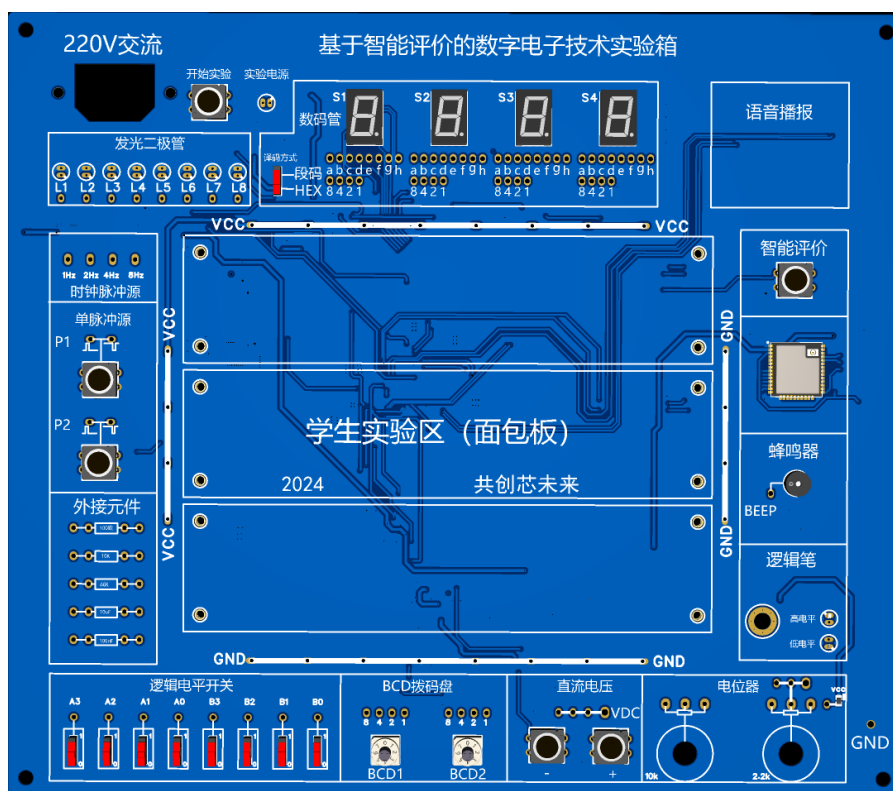
直流电压输出模块。



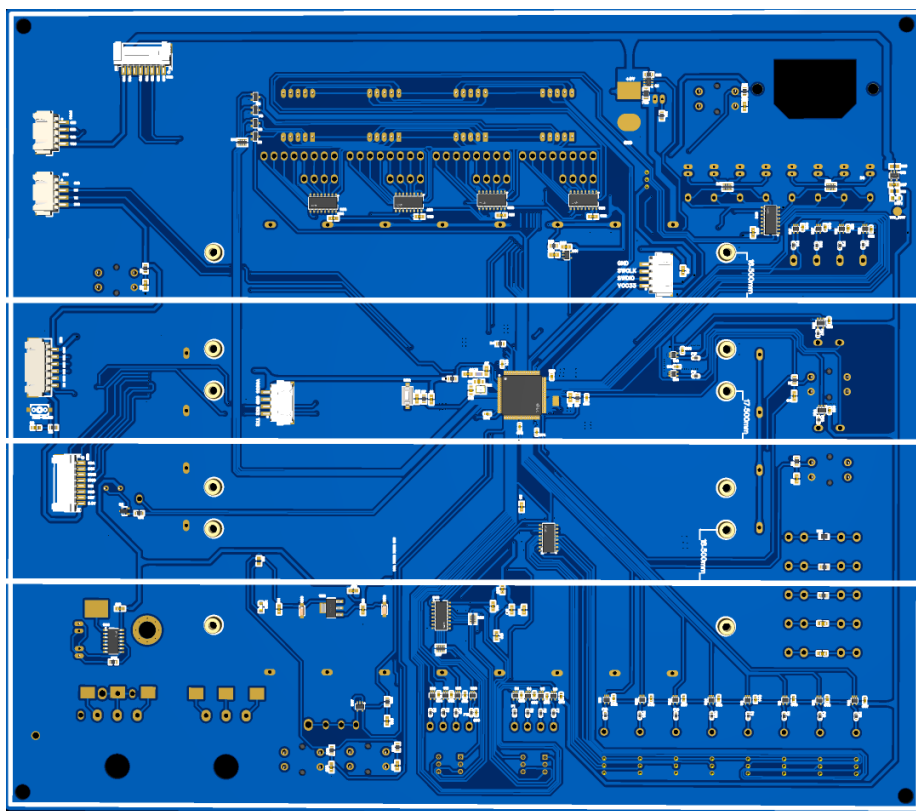
主板 PCB 正面



主板 PCB 背面



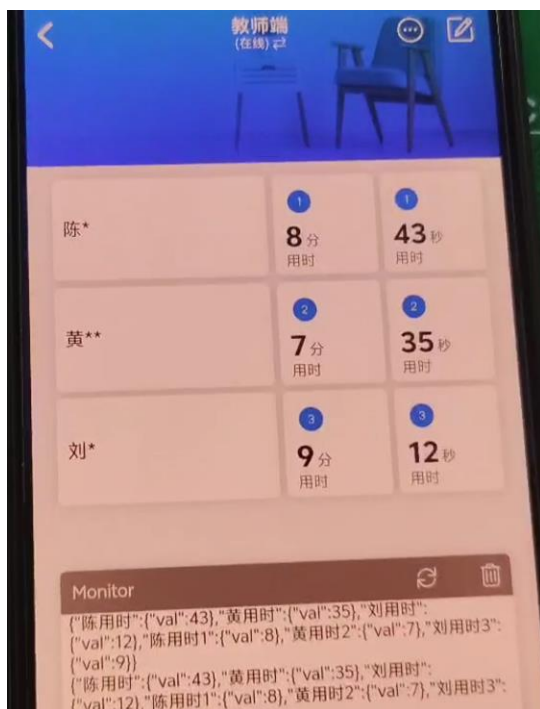
主板 PCB 3D 效果图正面



主板 PCB3D 效果图面

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍（含 PC 端或云端，结合关键图片）；



2.3.2 软件各模块介绍（根据总体框图，给出各模块的具体设计说明。从顶层到

底层逐次给出各函数的流程图及其关键输入、输出变量)；

1. UART 通信线程

功能：初始化 UART 设备并处理 UART 接收中断。

关键输入：UART 设备标识符

关键输出：接收到的 UART 数据

具体设计说明：

UART2_Init 和 UART4_Init:

寻找 UART 设备。

打开 UART 设备。

配置 UART 设备参数。

设置 UART 接收中断回调函数。

初始化信号量 sem2 和 sem4。

serial_thread_entry2 和 serial_thread_entry4:

持续读取 UART 数据。

通过信号量同步数据接收和处理。

2. 移位寄存器读取线程(thread4_entry, readShiftRegister)

功能：读取 HC165 移位寄存器的值并更新拨码开关状态。

关键输入：无

关键输出：LED 状态 LEDstate 和拨码开关状态

具体设计说明：

readShiftRegister:

拉低 LOAD 引脚以加载数据到移位寄存器。

读取移位寄存器中的每一位数据。

更新 LEDstate 和拨码开关状态引脚。

翻转拨码开关数据并输出到相关引脚。

thread4_entry:

定时调用 readShiftRegister 函数。

每次读取间隔为 100ms。

3. 电源管理线程 (thread5_entry)

功能：监测电源保护引脚并控制电源。

关键输入：电源保护引脚状态（GPIO 输入）

关键输出：电源控制信号

具体设计说明：

持续检测电源保护引脚状态。

如果电源保护引脚为低电平，则关闭电源。

每次循环延时 10ms。

4. 智能评价线程 (thread2_entry, znpj)

功能：根据按键输入进行智能评价。

关键输入：按键状态（GPIO 输入）、LED 状态

关键输出：通过 UART 发送的评价结果

具体设计说明：

thread2_entry:

如果 mode 为 1，切换实验电源状态并复位 mode。

如果 mode 为 2，执行智能评价 znpj。

根据评价结果通过 UART 发送数据。

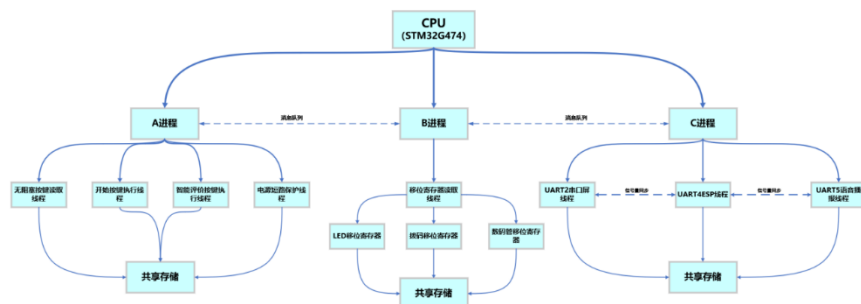
每次循环延时 15ms。

znj:

通过组合键状态和 LED 状态进行智能评价。

返回评价结果。

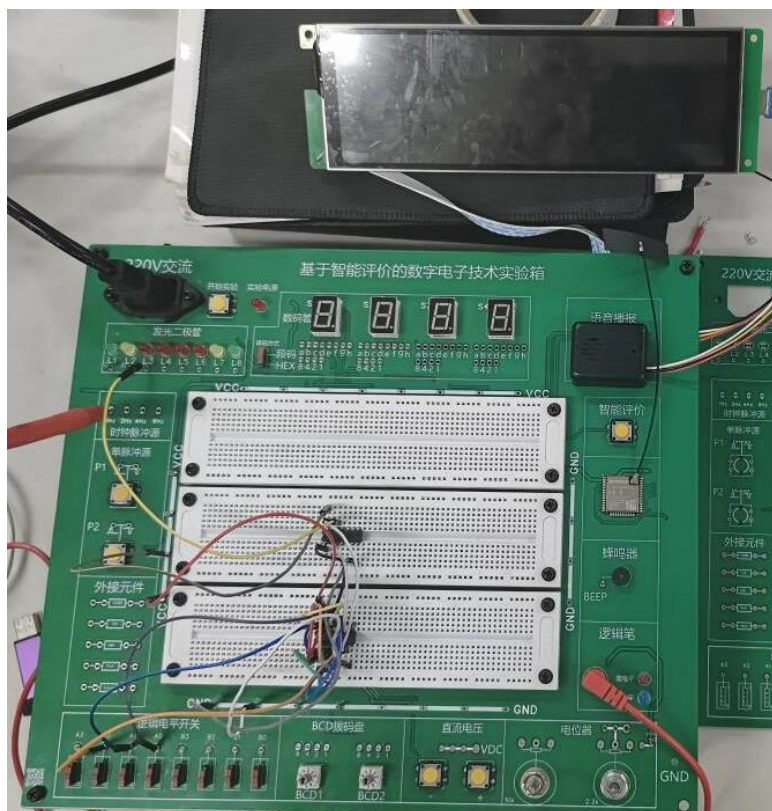
基于RTT的智能评价数电实验箱



第三部分 完成情况及性能参数

阐述最终实现的成果（图文结合，实物照片为主）

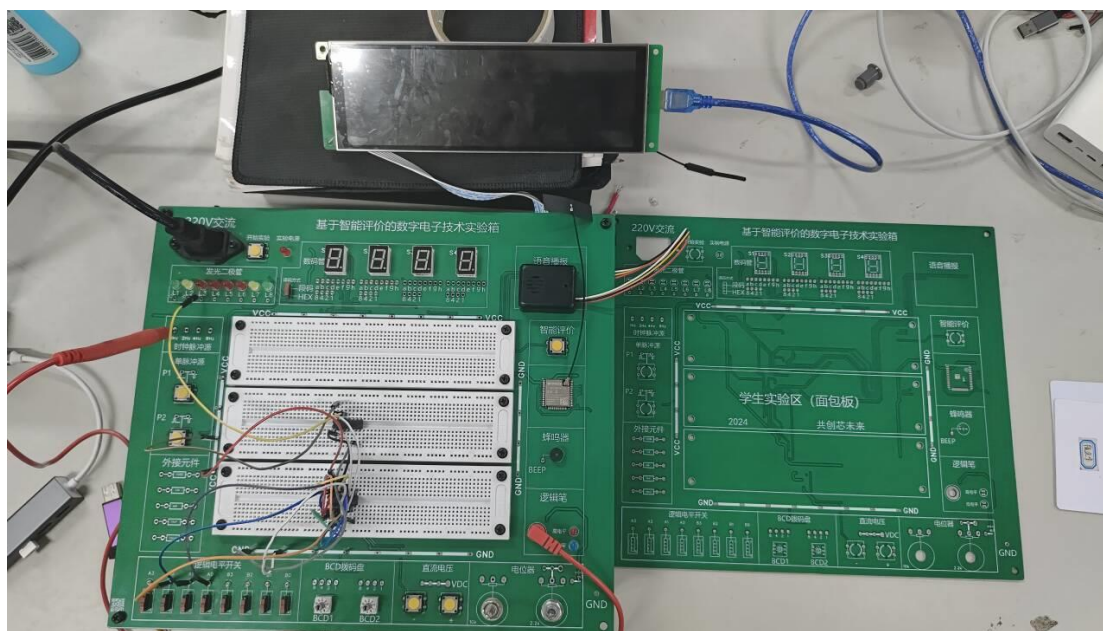
3.1 整体介绍（整个系统实物的正面、斜 45° 全局性照片）



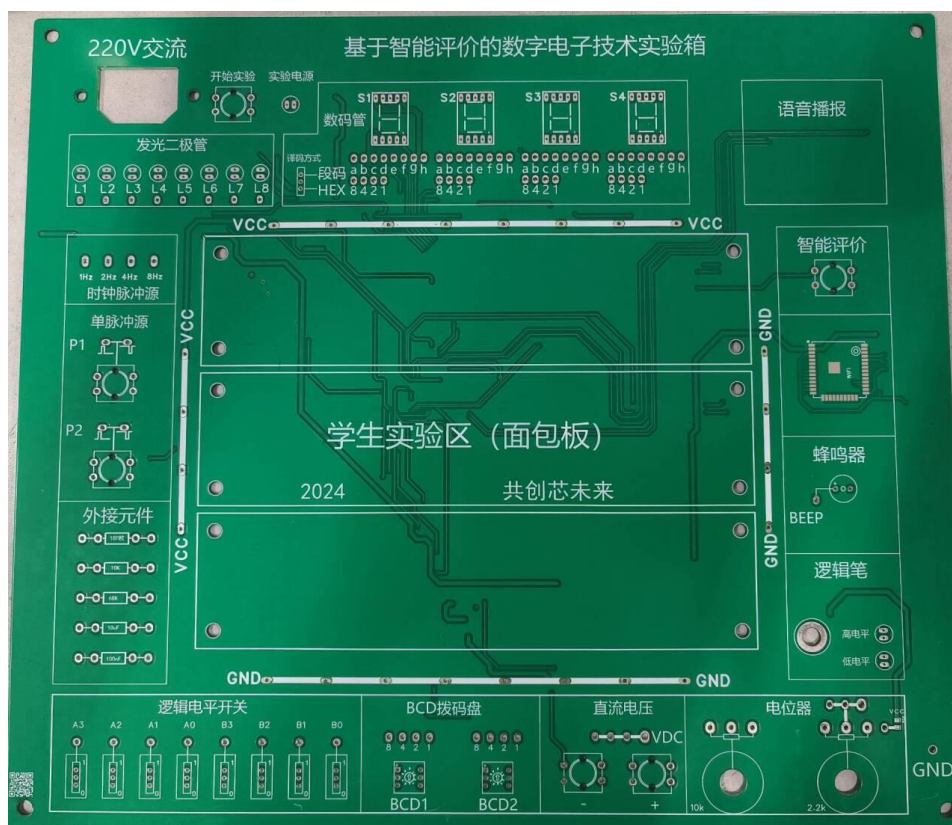
整个实验平台集成为一个箱子，集成度高，方便携带。

3.2 工程成果（分硬件实物、软件界面等设计结果）

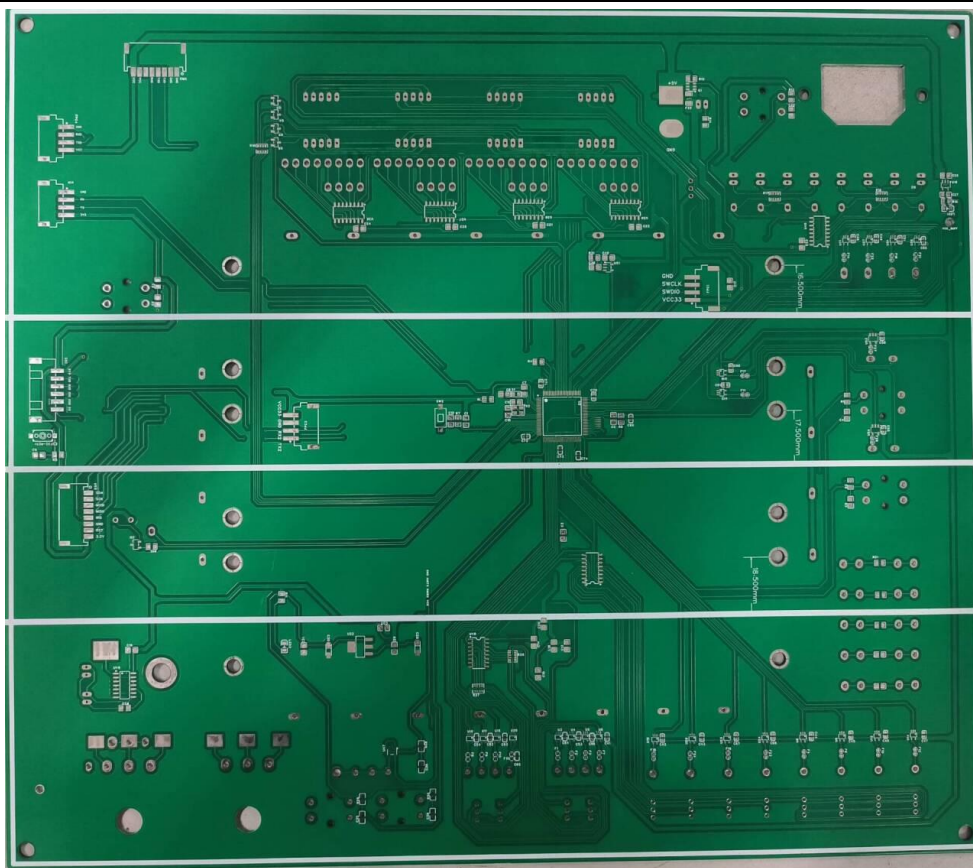
3.2.1 机械成果；（实物照片）



3.2.2 电路成果；（实物照片）

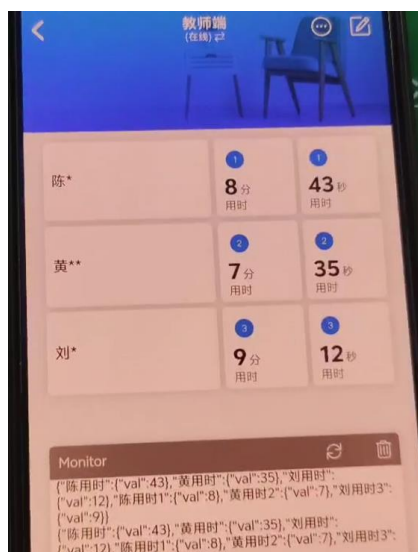


实物电路图正面



实物电路背面

3.2.3 软件成果：（界面照片）



3.3 特性成果（逐个展示功能、性能参数等量化指标）（可加重要仪器测试或现场照片）；

第四部分 总结

4.1 可扩展之处

可以添加更多实验的相关代码和智能评价逻辑，以支持更复杂的数字电路实验。配备可编程逻辑器件如 CPLD 或 FPG，让学生能够进行更高级的数字逻辑设计。

4.2 心得体会

设计之初，面对众多的需求和功能要求，我们深感任务艰巨。从确定实验箱的整体架构到选择合适的芯片和元器件，每一个决策都需要深思熟虑。在这个过程中，我们不仅需要扎实的数字电路知识，还需要对市场上的电子元件有充分的了解，以在性能、成本和可用性之间找到最佳平衡。

电路设计阶段充满了挑战和乐趣。绘制电路图时，需要精确计算每个元件的参数，考虑信号的完整性和抗干扰能力。一次次的仿真和调试，让我们对数字电路的工作原理有了更深入的理解。当看到设计的电路在仿真中按照预期运行时，那种成就感难以言表。

硬件制作阶段则考验了我们的动手能力和耐心。焊接元器件需要高度的专注和细心，一个微小的焊接失误都可能导致整个电路的故障。而在组装过程中，合理布局电路板和元器件，确保实验箱的结构紧凑、易于操作和维护，也是需要精心考虑的。

系统测试是整个设计中至关重要的环节。通过对各个模块进行全面测试，发现并解决了许多潜在的问题。这个过程让我们学会了如何准确地定位故障，分析原因，并采取有效的解决措施。同时，也让我们明白了在设计阶段充分考虑可靠性和稳定性的重要性。

在整个设计过程中，团队合作发挥了巨大的作用。与队友们的交流和协作，让我们能够集思广益，共同克服遇到的难题。每个人的专业知识和经验都为项目的成功贡献了力量，也让我们深刻体会到了团队的智慧和力量是无穷的。

回顾整个设计过程，虽然充满了艰辛，但收获也是巨大的。我们不仅提升了自己的专业技能，还培养了解决问题的能力、创新思维和团队协作精神。

第五部分 参考文献

-
- [1]杨杰,班琼.一种“数电”与“EDA”共享的移动实验平台[J].大学教育,2018,(03):11-13.
- [2]张伟,祁才君.MDS-III型现代数字电路实验箱介绍[J].电气电子教学学报,2000,(02):108.
- [3]陈桃放.基于 RT-Thread 多线程程序的可穿戴心理健康监测设备设计研究[J].自动化与仪器仪表,2024,(05):227-231+236.DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2024.05.227.
- [4]杨怡,韦炳宇,张志明,等.基于 RT-Thread 的多智能体节点小车设计[J].制造业自动化,2024,46(03):204-207.
- [5]高中淦,岳凤英,王恩怀,等.基于 RT-thread 的精确时间同步系统设计[J].国外电子测量技术,2024,43(03):114-120.DOI:10.19652/j.cnki.femt.2305770.