

报 告 2

基本信息

学校名称	东南大学		
参赛学生 1	唐华泽	E-mail	213170105@ seu. edu. cn
参赛学生 2	王 尧	E-mail	213171815@ seu. edu. cn
参赛学生 3	顾 泽	E-mail	213170442@ seu. edu. cn
指导教师 1	黄慧春	E-mail	huanghuichun@ seu. edu. cn
指导教师 2	吴剑锋	E-mail	wjf@ seu. edu. cn
获奖等级	全国二等奖		
指导教师简介	<p>黄慧春,女,副教授,在东南大学电工电子实验中心从事电工电子实验教学 10 余年,自 2005 年以来一直担任东南大学“全国大学生电子设计竞赛”的组织管理和竞赛辅导工作,指导的学生获得多个全国和省级奖项。</p> <p>吴剑锋,男,副研究员,在东南大学仪器科学与工程学院从事科研教学 10 余年,自 2014 年以来一直担任东南大学“全国大学生电子设计竞赛”的竞赛辅导工作,指导的学生获得多个全国和省级奖项。</p>		

1 设计方案

1.1 预期实现目标与技术方案分析比较

(1) 负载网络判断模块

题目规定的负载网络类型一共有 11 种,原件类型包括电阻、电感、电容。利用 3 种元件不同的频率响应特征可以分析出网络结构。

方案 1: 设计可控电压源进行扫频。将负载网络与采样电阻串联,通过电压采样获得幅频特性关系。依据 11 种网络的幅频特性进行分析,鉴别结构。

方案 2: 设计可控电压源进行扫频。将负载网络与采样电阻串联,利用比较器与 FPGA 测量相频特性关系,依据 11 种网络相频特性进行分析,鉴别结构。

方案 3: 在方案 1 的基础上,先对低频(100 Hz)、中频(10 kHz)、高频(5 MHz)3 个特殊频率点进行频率特性采样分析,将 11 种结构先分为 3 组后再扫频测量。

方案 3 判断方法最简单、合理,单片机计算时间最短。综合比较,选择方案 3。

(2) 负载参数测量模块

题目要求在单一负载下,测量电阻阻值 $200\ \Omega \sim 2\ \text{k}\Omega$,电容 $200 \sim 2\ 000\ \text{nF}$,电感 $100\ \mu\text{H} \sim 1\ \text{mH}$ 。

方案 1: 已判断出负载类型后,以固定频率点幅度特性采样,计算阻抗值。

方案 2: 判断出负载类型后,多个频率点幅度特性采样,拟合计算阻抗值。

方案3: 电阻负载情况下,直接在采样电阻上采样电压值,由比例得出。电容电感负载下,外加电容电感元件测量 RLC 谐振点计算阻抗值。

依据题目要求的数值计算,方案1要求采样精度大于12位,对ADC要求较高。方案3需用继电器切换,过于烦琐。综合比较,选择方案2。

(3) 短路位置测量模块

题目要求负载短路后可测得短路位置。考虑到较理想情况下电阻丝阻值与长度成正比,问题转化为短路线的小阻值测量。通常采用恒流源激励方法。

方案1: 恒流源交流激励。网线两端电压经过仪表放大电路,接入峰值检测电路,输出直流信号再接入AD采样口。

方案2: 恒流源直流激励。网线两端电压经过仪表放大电路,接入AD采样。

考虑到拓展要求中的噪声引入,采用直流激励并经过滤波模块可消除噪声影响,选择方案2。

1.2 系统结构工作原理

系统流程图如图1-C-8所示。

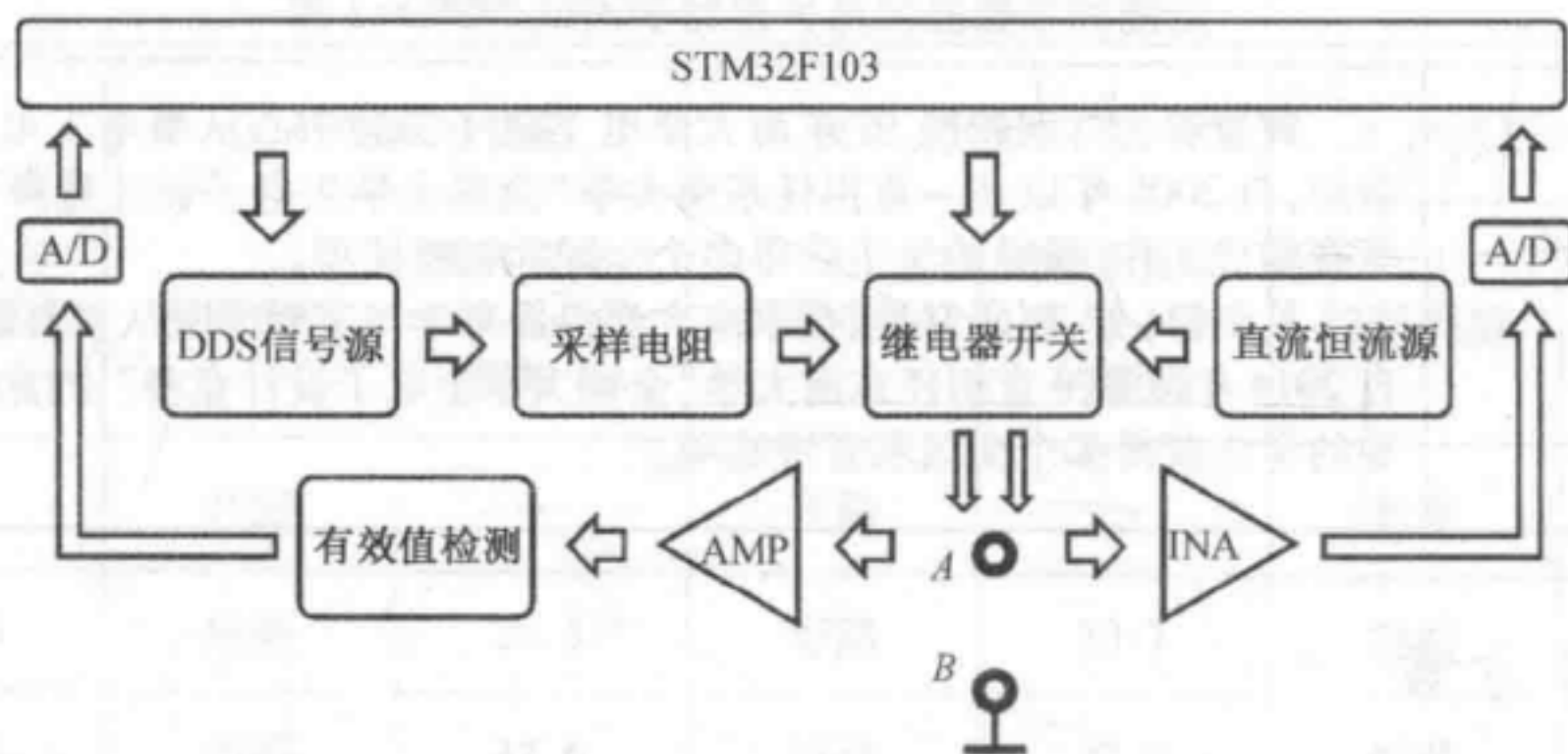


图 1-C-8 系统流程图

电路分为两个主要路径。一路由DDS输出扫频信号,获得负载网络与采样电阻串联结构的幅频特性数据,用于判断负载结构与负载元件值。另一路由直流源激励短路线圈,获得微小信号,利用仪表放大器放大。两路电路间由继电器切换。单片机选用STM32F103控制DDS信号源及继电器开关位置,并进行高速AD采样。

依据题目对电感、电容、电阻的要求,选择初始测量频率点为100 Hz,10 kHz,5 MHz,高频电感阻抗约为3~30 k Ω ,低频时电容阻抗约为0.8~8 k Ω ,理论计算的范围能够达到电阻阻值的量级,因此可以鉴别电路中是否存在电容或电感。其后在100 Hz~5 MHz频率范围内以20点/十倍频进行扫频,获得幅频特性数据。然后与理论计算值进行比较,判断是否出现串联谐振、并联谐振等现象,区分11种网络。

为判断元件值需先判断元件类型。若已知原件类型为电阻,则直接由DDS合成幅度确定的1 kHz正弦波,经过电阻网络分压,由电阻分压定律直接算出负载电阻值。若已知元件类型为电感,则DDS按照2 kHz的步进,合成频率从260 kHz开始,最高频率为280 kHz的正弦波,此时电感阻抗约为170 Ω ~1.7 k Ω ,与采样电阻处于同一量级,分压明显。已知元件类型为电容,则DDS按照20 kHz步进,合成频率从500 kHz开始,最高频率为700 kHz的正弦波,此时

电容阻抗约为 $132\ \Omega \sim 1.3\ \text{k}\Omega$, 与采样电阻处于同一量级, 分压明显。采得的数据进入单片机进行拟合。

为判断短路位置, 首先测量了网线电阻丝的单位长度电阻, 为 $1.5\ \text{m}\Omega/\text{cm}$, 考虑到对恒流源输出电流与 A/D 口 $0 \sim 3.3\ \text{V}$ 采样范围的充分利用, 决定利用仪表放大器将电阻丝两端电压放大 100 倍。短路位置距给定点 $20\ \text{cm}$ 时输出电压 $1.5\ \text{V}$, 短路位置距给定点 $50\ \text{cm}$ 时输出电压 $3.3\ \text{V}$, 恒流源设计输出电流 $200\ \text{mA}$, 实际输出为 $180\ \text{mA}$, 此时在最远位置短路点接入 INA128, 输出电压 $3\ \text{V}$, 保护 A/D 接口电路。

网线 B 端点接地, 引入噪声产生的电路干扰极小。网线 A 点接入的噪声信号经过低通滤波器滤除, 仅留下直流信号。同时程序利用 ADC 多次采样的平均值, 在保证测量速度的情况下最大可能减小干扰。

2 核心部件电路设计

2.1 信号源模块

采用直接数字频率合成器芯片 AD9959。输出信号频率最高达 $200\ \text{MHz}$, 频率最小步进 $1\ \text{Hz}$, 输出幅度最大 $500\ \text{mV}$ 。AD9959 输出信号通过七阶无源滤波网络去除杂散信号。单片机控制 AD9959 在扫频带内输出幅度在 $200\ \text{mV}$ 左右, 波动极小。后级再接入一级宽带超低噪声运放 OPA847 进行 12 倍放大获得最佳动态范围, 为后级调理电路提供便利。由于 OPA847 带宽为 $3.9\ \text{GHz}$, 放大 12 倍后 $0.1\ \text{dB}$ 带宽大于 $10\ \text{MHz}$, 非常适合做 DDS 输出调理电路。

2.2 负载网络测量后级调理模块

调理信号决定了负载阻抗测量的精度与阻抗网络的判断。设计经过两级运算放大器电路获得处理信号。第一级选用宽带运放 OPA690 做反相跟随电路, 第二级选用宽带运放低噪声 OPA820, 将信号放大两倍。输出接入峰值检测模块。模块电路图如图 1-C-9 所示。

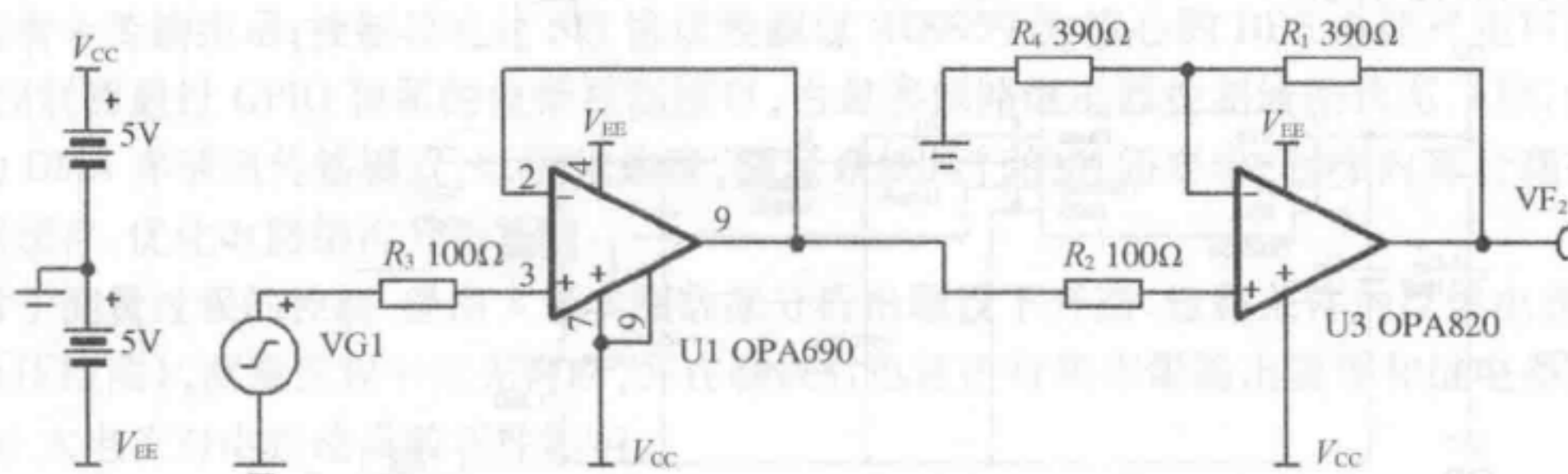


图 1-C-9 负载网络测量调理模块电路图

2.3 小电阻测量模块

经测量, 网线电阻约 $1.5\ \text{m}\Omega/\text{cm}$, 双路网线即 $3\ \text{m}\Omega/\text{cm}$ 。短路点测量范围 $20 \sim 50\ \text{cm}$ (不含接入端口额外的 $5\ \text{cm}$), 等效电阻范围 $150 \sim 330\ \text{m}\Omega$ 。

利用精密稳压源 TL431 与 NPN 三极管 2N2222 搭建恒流源, 输出约 $180\ \text{mA}$ 直流电流。通过网线后, 电阻两端微弱信号进入精密仪表放大器 INA128 放大 50 倍, 再通过低噪声宽带运放 OPA820 放大 2 倍, 获得 $30\ \text{mV}/\text{cm}$ 的理想间距。模块电路图如图 1-C-10 所示。

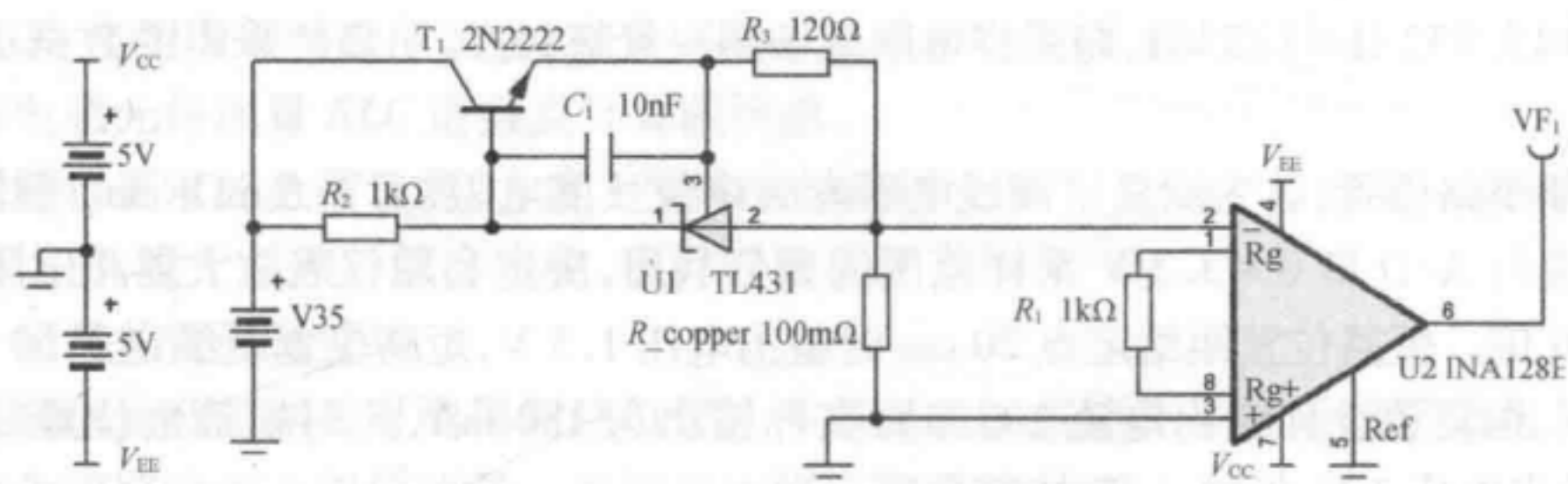


图 1-C-10 小电阻测量模块电路图

2.4 峰值/有效值检测模块

扫频最高频率可达到 5 MHz,不可用二极管进行峰值检波。采用均方根直流转换芯片 AD637 搭建有效值检测模块。输入信号幅值 2 V 时,检测频率带宽 8 MHz。输出经过电容倍增器有效滤除交流纹波,提高 A/D 采样精度。模块电路图如图 1-C-11 所示。

2.5 电源调理模块

题目要求单电源 5 V 供电。经过升压芯片 XL6009 升压到 15 V。再通过开关稳压芯片 TPS5430 获得 $\pm 5\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$ 供电。其中 $\pm 12\text{ V}$ 再通过三端稳压集成电路 LM7805, LM7905 消除开关纹波,为运算放大器与仪表放大器提供稳定电压。开关稳压芯片 TPS5430 的电路图如图 1-C-12 所示。

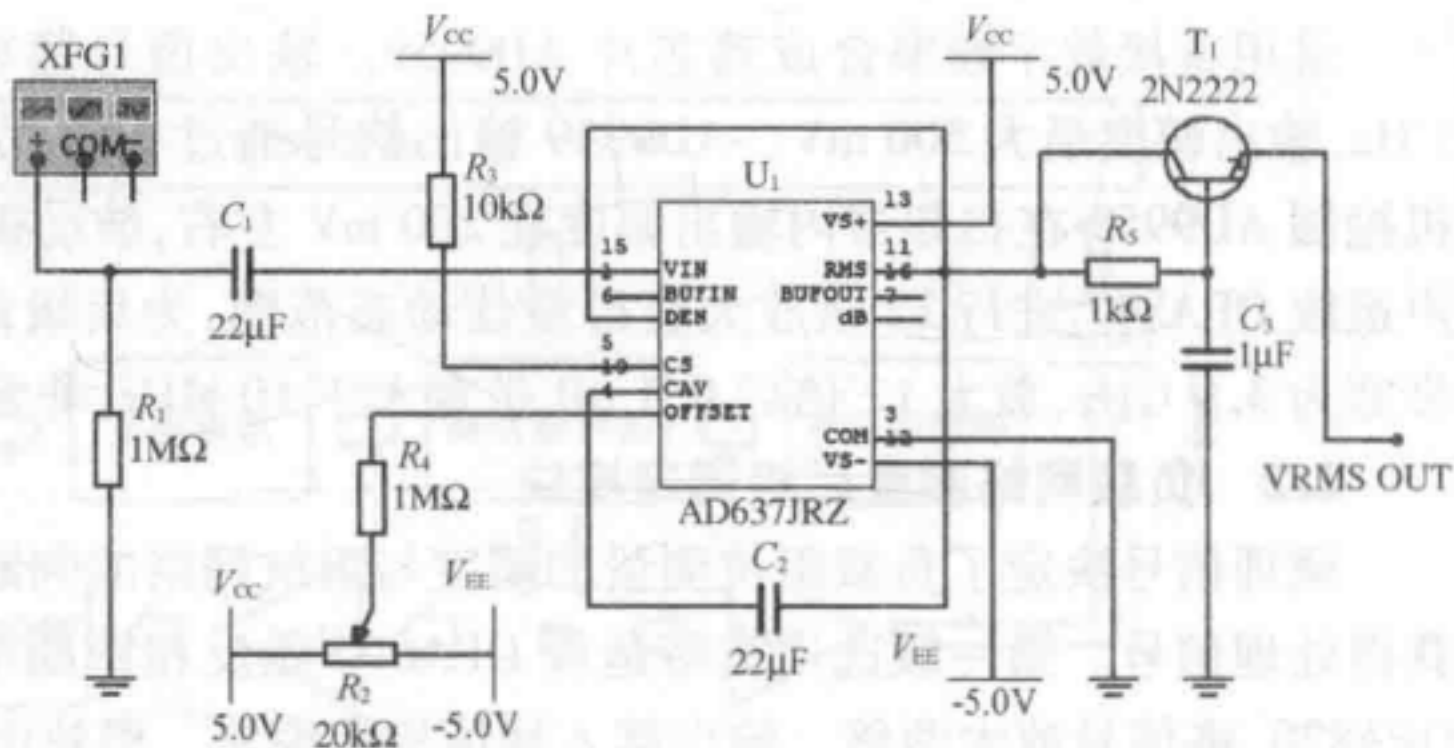


图 1-C-11 有效值检测模块电路图

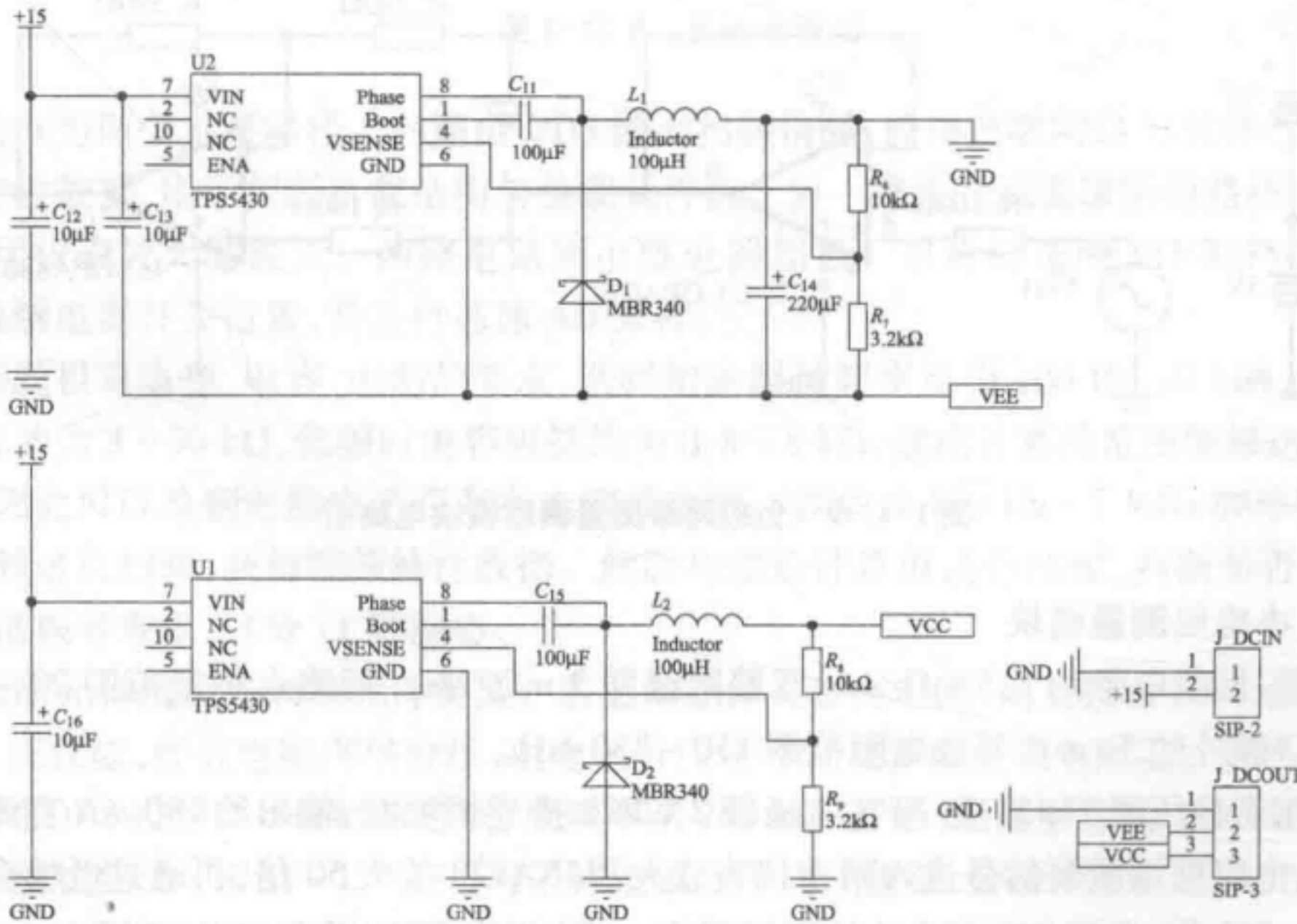


图 1-C-12 开关稳压芯片 TPS4530 转换电路图

3 系统软件设计分析

3.1 软件工作流程

软件工作框图如图 1-C-13 所示。

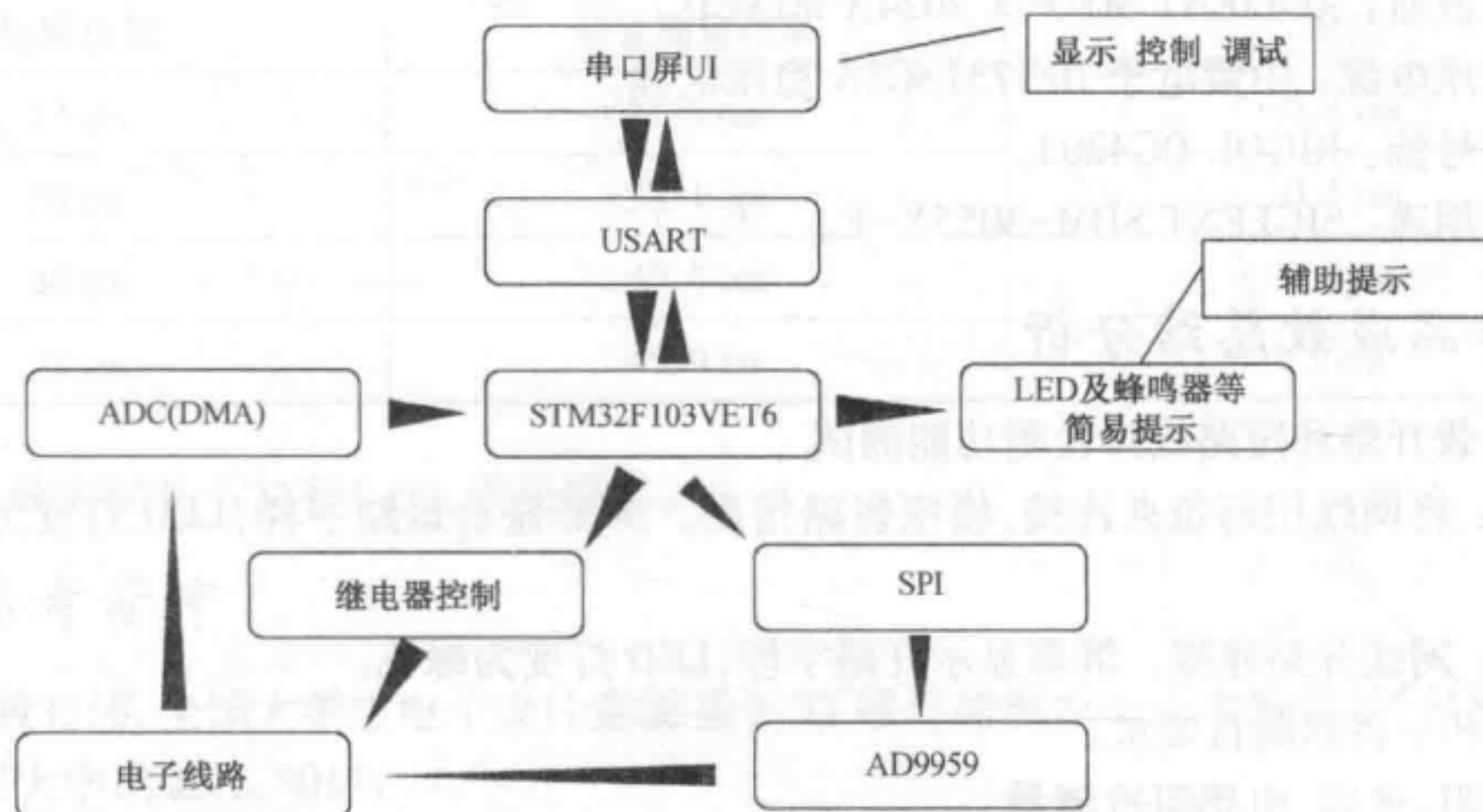


图 1-C-13 系统总体框图

3.2 主要模块程序设计说明

控制核心采用 STM32F103, 在成本与运行性能间取得了较好的平衡, 利于快速的系统开发。

用户 UI 借助 TJC 串口屏实现, 信号传输仅使用两根串口线, 通过自定义的指令解析方式完成控制与测量显示, 兼具独立调试界面用于系统分析、检查及调试, 辅以 LED 及蜂鸣器提供警报与指令传输指示; 控制器通过 SPI 协议控制以 AD9959 为核心的 DDS 电路产生可控交流信号; 控制器通过 GPIO 预留的位带控制接口, 由最多四路继电器控制线路状态; ADC 外设初始化为 DMA 多通道传输模式, 以优化速度, 满足系统运行的时间要求; 程序内部合理控制外部数据缓存, 优化电路结构分析算法。

对于测量过程的控制, 经由大量实测数据分析出题设下开路、短路条件的反馈电参量(主要是电压检测), 测量流程中优先判断, 并在确认后迅速进行频率源输出置零和继电器断开操作, 防止大电流对电路造成破坏性影响。

工程文件由以下部分组成: 启动文件, 内核文件, 固件库, 主控程序, 说明文档, 串口驱动, LED 驱动, ADC 驱动, AD9854 驱动(作为备用方案本次并未使用), 自定义延时函数集合, 定时器驱动, AD9959 驱动, 蜂鸣器及继电器驱动(位带操作)。

4 竞赛工作环境条件

4.1 设计分析软件环境

- (1) EDA 软件: Tina, Filter-Solution, Multisim。
- (2) PCB 设计软件: Altium Designer。
- (3) 单片机与开发环境

单片机：STM32F103VET6；程序开发环境：Keil 5.27。

(4) 显示屏与开发环境

显示屏：4.3 英寸 USART HMI 串口屏；程序开发环境：USART HMI v0.57。

4.2 仪器设备硬件平台

(1) 示波器：AGLIENT MSO-X 2024A MIXED。

(2) 稳压电源：中策电子 DF1731SC2A 稳压电源。

(3) 信号源：RIGOL DG4202。

(4) 万用表：SIGLENT SDM-3055X-E。

5 作品成效总结分析

(1) 负载开路 and 短路故障检测功能测试

测试 1：将网线用鳄鱼夹连接，模拟短路情况。屏幕显示短路字样，LED 灯变为红色，蜂鸣器鸣叫。

测试 2：网线开路连接。屏幕显示开路字样，LED 灯变为绿色。

结果分析：达到题目要求。

(2) 电阻、电容、电感阻抗测量

测试：通过鳄鱼夹将元件连接在网线距离 A、B 点 40 cm 处。装置自动扫描，读取屏幕上数据。元件实际值由精密电桥测量仪器测试，结果记录于表 1-C-6 中。

表 1-C-6 电阻、电容、电感阻抗测量表

类型	元件 实际值	测量值	误差	类型	元件 实际值	测量值	误差	类型	元件 实际值	测量值	误差
电阻	101	105	3.9%	电感	95	96	1.1%	电容	221	231	4.5%
	330.2	338	2.4%		232	230	0.9%		462	467	1.1%
	509.1	518	1.7%		466	484	3.9%		1 031	1 061	2.9%
	998	1 020	2.2%		971	1 013	4.3%		1 464	1 511	3.2%

注：表中电阻单位 Ω ，电感单位 μH ，电容单位 nF 。

结果分析：电阻测量精度误差小于 4%，电感、电容测量误差小于 5%，符合题目要求。

(3) 网络结构检测测试

测试：通过鳄鱼夹将负载连接在网线距离 A、B 点 30 cm 处。装置自动扫描，读取屏幕上测量结果。测试结果记录于表 1-C-7 中。

表 1-C-7 负载网络结构检测测试结果表

结构	电阻值	电感值	电容值	装置测量结果	是否正确判断
LC 串联	—	470 μH	1 μF	LC 串联	正确
RC 并联	1 k Ω	—	220 nF	RC 并联	正确
RLC 串联	200 Ω	1 mH	470 nF	RLC 串联	正确
LC 并联	—	100 nH	470 nF	LC 并联	正确

(4) 故障短路点距离测量

测试:通过鳄鱼夹将短路线连接在网线距离 A 、 B 点 20 ~ 50 cm 处,位置由木板上坐标纸读出。读取屏幕上测量短路位置读数。测试结果记录于表 1-C-8 中。

表 1-C-8 短路位置测试结果表

短路位置	装置测量结果	误差
22 cm	21.6 cm	0.4 cm
30 cm	30.1 cm	0.1 cm
40 cm	40.6 cm	0.6 cm
45 cm	46.0 cm	1 cm

分析:最大误差不大于 1 cm,满足要求。

6 参考资料

[1] 黄智伟. 全国大学生电子设计竞赛基于 TI 器件的模拟电子电路设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2014.

[2] 刘火良,杨森. STM32 库开发实战指南:基于 STM32F103[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2017.

[3] 黄智伟,王明华. 全国大学生电子设计竞赛常用电路模块制作[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2016.

报 告 3

基本信息

学校名称	南京信息工程大学		
参赛学生 1	邵文逸	E-mail	1031626454@qq.com
参赛学生 2	张 钊	E-mail	276072145@qq.com
参赛学生 3	谢仁杰	E-mail	1294793608@qq.com
指导教师 1	徐 伟	E-mail	xw@nuist.edu.cn
指导教师 2	刘建成	E-mail	jianchengliu@nuist.edu.cn
获奖等级	全国二等奖		
指导教师简介	徐伟,博士,高级实验师,主要从事电子线路和电子系统设计实践教学工作。研究方向为气象观测方法和仪器。2007 年以来,多次指导学生参加全国大学生电子设计竞赛并获得全国奖。		