简易电路特性测试装置

**摘要：**本设计实现了一种简易电路特性测试装置，具有测量特定放大器电路的特性，进而判断电路故障或变化原因的功能。系统由主控制器STM32F407、数字合成器（DDS）、真有效值检波模块、模数转换模块（ADC）、信号放大电路和显示屏组成。主控STM32F407控制DDS模块生成符合要求的正弦波，经由信号放大电路处理后输入放大器电路。再由ADC模块和真有效值检波模块采集电路各点的电压信息，然后在STM32中进行DFT（离散傅里叶变换）和FFT（快速傅里叶变换）处理，进而分析得到信号的幅度，相位等参数。再经过计算后，可以得到该电路的输入电阻、输出电阻、增益和频幅特性曲线等信息。同时，通过这些参数的变化，即可判断得到放大器电路元器件变化而引起故障或变化的原因。

**关键词：**数字合成器；真有效值检波；离散傅里叶变换；快速傅里叶变换

1. 系统方案
2. 比较与选择

1.1 峰峰值检测方案

方案一：利用AD8688数模转换模块直接采集电压，然后收集一段时间内的最大值和最小值，求差值即可得到信号峰峰值。

方案二：利用AD8688数模转换模块采集电压后，对采集到的信号做DFT变换，由于已知输入信号的频率，所以由幅度谱即可得到所求信号的峰峰值；同时在输出端采用AD637真有效值检测模块，获得输出信号的均方值，再计算得到峰峰值。

方案选择：方案一，电路结构简单，计算简单，但是要求产生波形标准，毛刺对测量影响较大，测量精度不高；方案二，在AD采样精确的情况下，STM32F407计算得到的幅度值准确，并且AD637模块使得幅频特性曲线测量时消耗的计算资源更少。综合考虑，使用方案二。

1.2 相位差计算方案

方案一：通过鉴相器AD8302直接获得输入信号和输出信号的相位差。

方案二：利用AD8688数模转换模块采集输入和输出信号，利用DFT算法，求解两信号的相位差。

方案选择：方案一，操作简单，但在相位相差不大时，难以输出稳定可靠的鉴相成果；方案二，电路结构简单，且精度较高。综合考虑，使用方案二。

1. 方案描述

系统框图如图1所示。系统采用STM32F4系列单片机为主控制器，通过LCD串口屏进行人机交互。STM32F407通过AD9959数字合成器模块产生1kHZ的正弦波输入信号，然后采用AD模块，获取采样电阻两端的信号，然后利用数字正交分解算法计算得到小信号的峰峰值，从而计算得出输入电阻。在输出端利用AD637模块得到输出信号的峰峰值，即可得到增益。并且，通过控制AD9959模块扫频并保存增益值，绘制得到幅频曲线。通过控制继电器模块，从而控制采样电阻在输出端的并联和断开，通过增益的变化得出输出电阻。

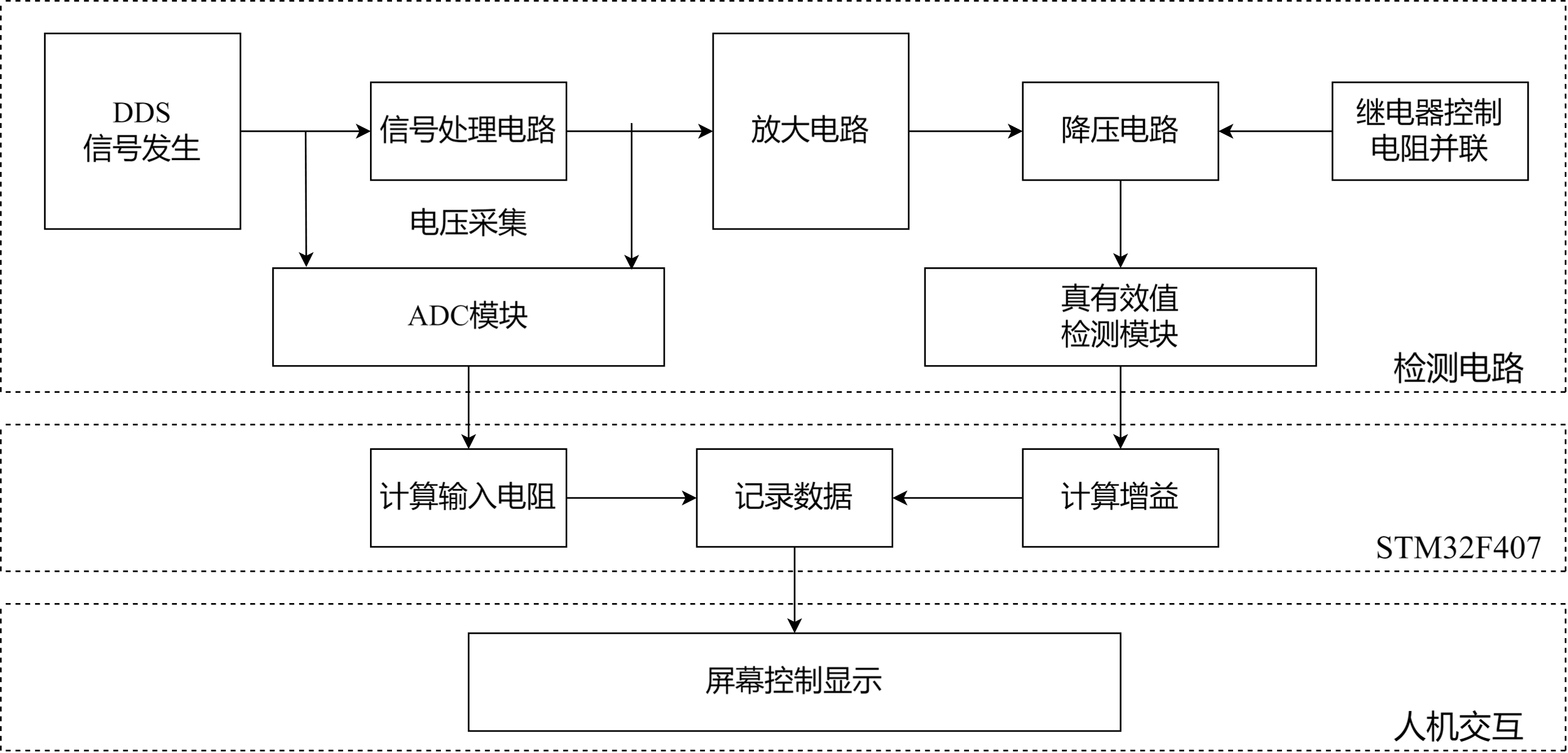


图 1 系统框图

1. 理论分析与计算
2. 峰峰值求解分析

根据离散傅里叶变换（DFT）理论，由于已知信号频率为1kHZ，将采集到的信号C分解到基波分量上，取模值即可得到特定频率上的功率谱值，从而去除直流分量，然后再通过幅度谱和功率谱的关系即可求解。

求解功率的表达式为：

式中SC、CC为信号C在正弦和余弦上的分量，P为信号1kHZ分量的功率。

再由功率谱与幅度谱的关系：

1. 相位差检测原理及分析

根据离散傅里叶变换（DFT）理论，由于正弦分量与余弦分量是正交的，上述两个计算结果SC与CC之比等于实际信号中频率为1kHZ的信号的初始相位φ的正切值。即可以通过下式计算初始相位：

1. 电路与程序设计
2. 输入电阻检测电路设计

通过在输入端串联已知阻值的标准电阻，再去测量出该电阻两端的电压值和，即可根据分压关系获取输入电阻：

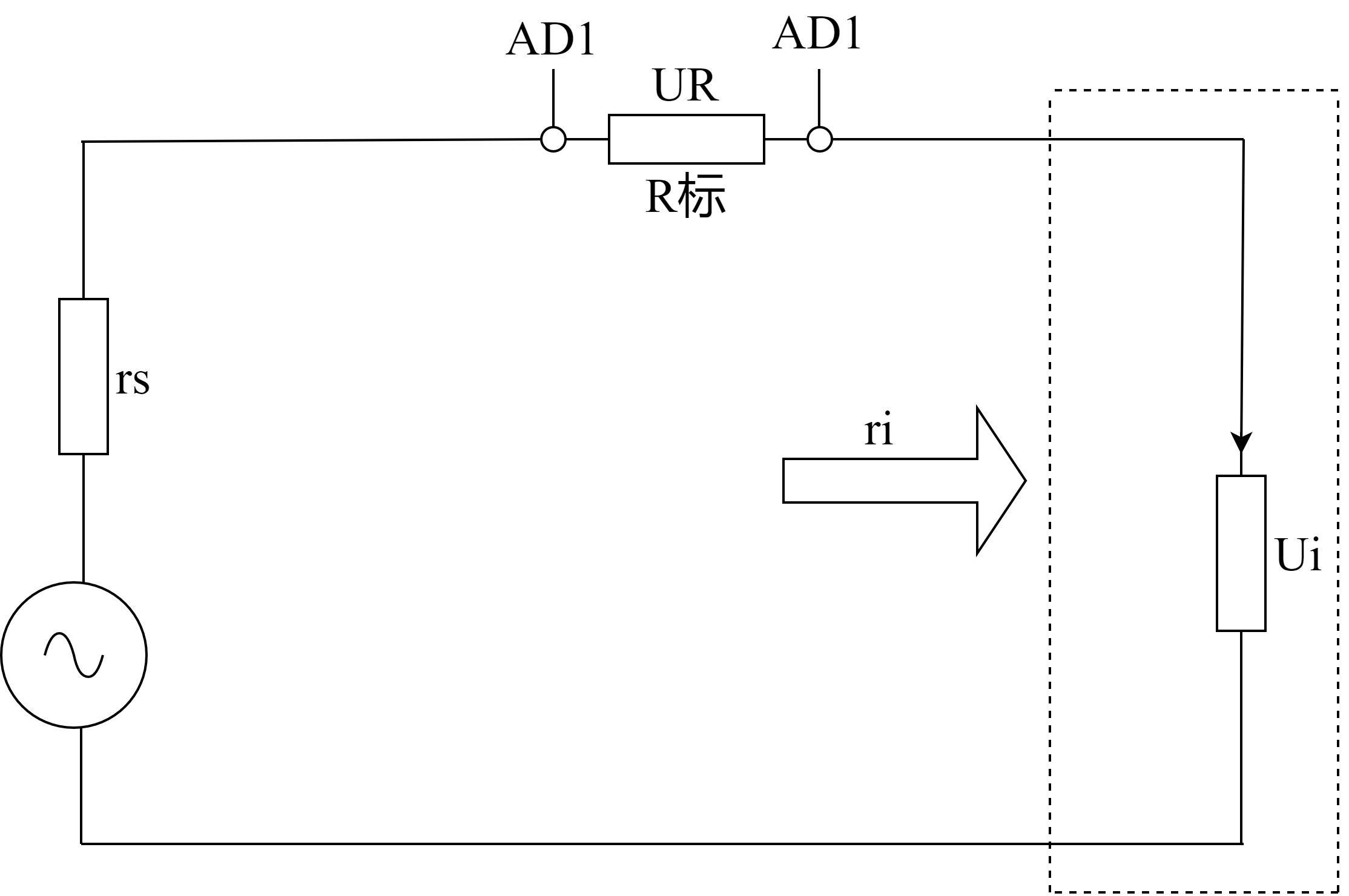


图 2 输入电阻检测电路

1. 输出电阻检测电路设计

输出电阻检测电路如图3所示。当并联上已知阻值的负载电阻时，输出信号的峰峰值为；当控制继电器开关打开时，再次测量得出信号的峰峰值为，根据公式即可求得输出电阻：

式中取值。

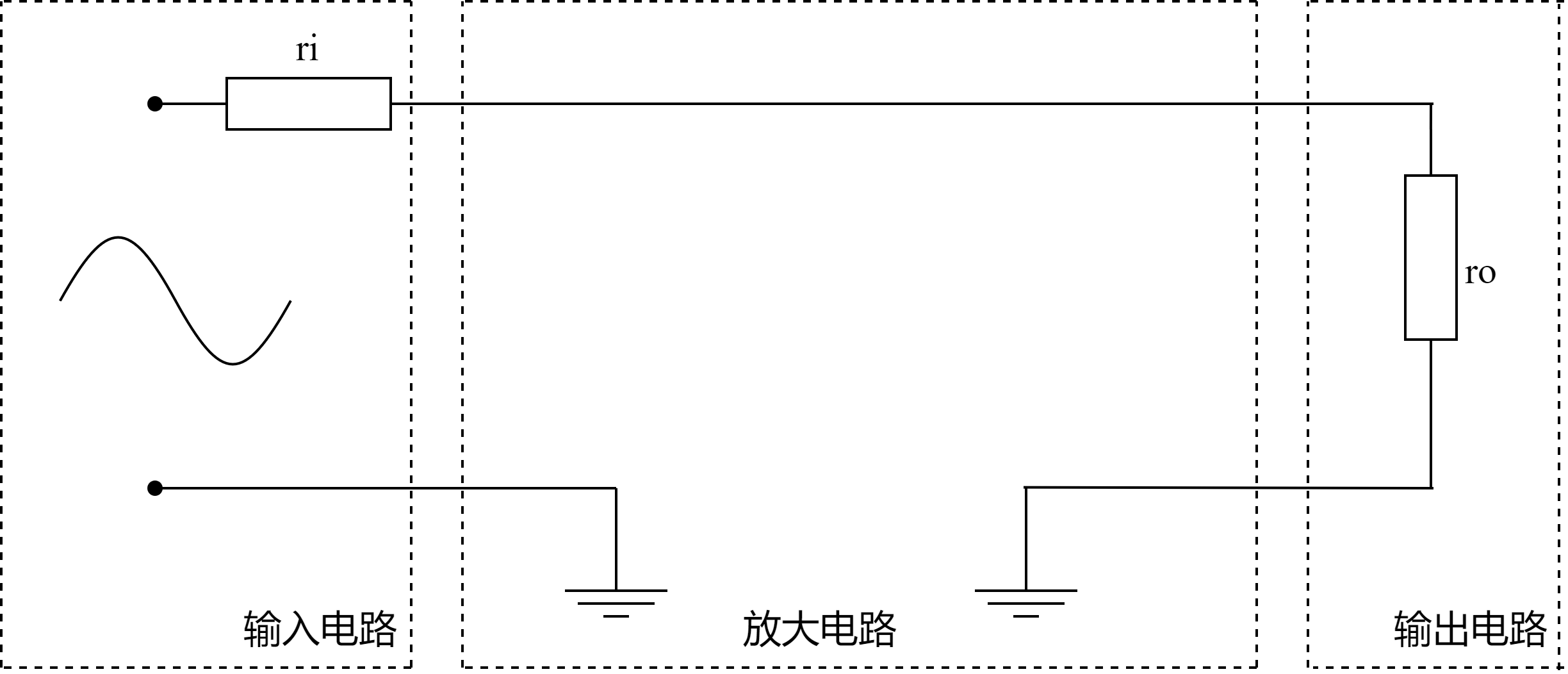


图 3 输出电阻检测电路

1. AD8688电压采集电路设计

AD8688电压采集电路如图4所示。板载ADR444提供4.096V基准源，在外部供电范围为2.7V~5.5V范围内时，该电路能正常工作。ADS8688可实现八通道同时采集电压，支持、、、输入范围，并且所有通道可独立配置输入范围和输入极性。该电路具有集成模拟前端的16位ADC，设计了1MΩ的恒定阻性输入阻抗，满足本装置的电压精度要求。



图 4 ADS8688电压采集电路

1. 软件程序设计

程序设计流程图如图5所示。在程序初始化后，实时监控LCD屏的按下情况。

当按下“参数测量”后，LCD屏工作状态显示为“正在检测”，系统进入放大器电路特性测试模式，通过主控制器STM32F407对ADC模块采集电路各点的电压信息，计算出当前接至装置的放大器的电路特性。当计算完成后，LCD屏工作状态显示为“结果保持”，并将结果显示在LCD屏上。

当按下“故障检测”后，LCD屏工作状态显示为“正在检测”，系统进入故障检测模式，通过主控制器STM32F407对ADC模块采集电路各点的电压信息，计算出当前电路的电路特性，并与正常放大器的电路特性进行比较，比较推断得出当前电路故障。在进行完测量后，LCD屏工作状态显示为“结果保持”，并显示出故障的类型。

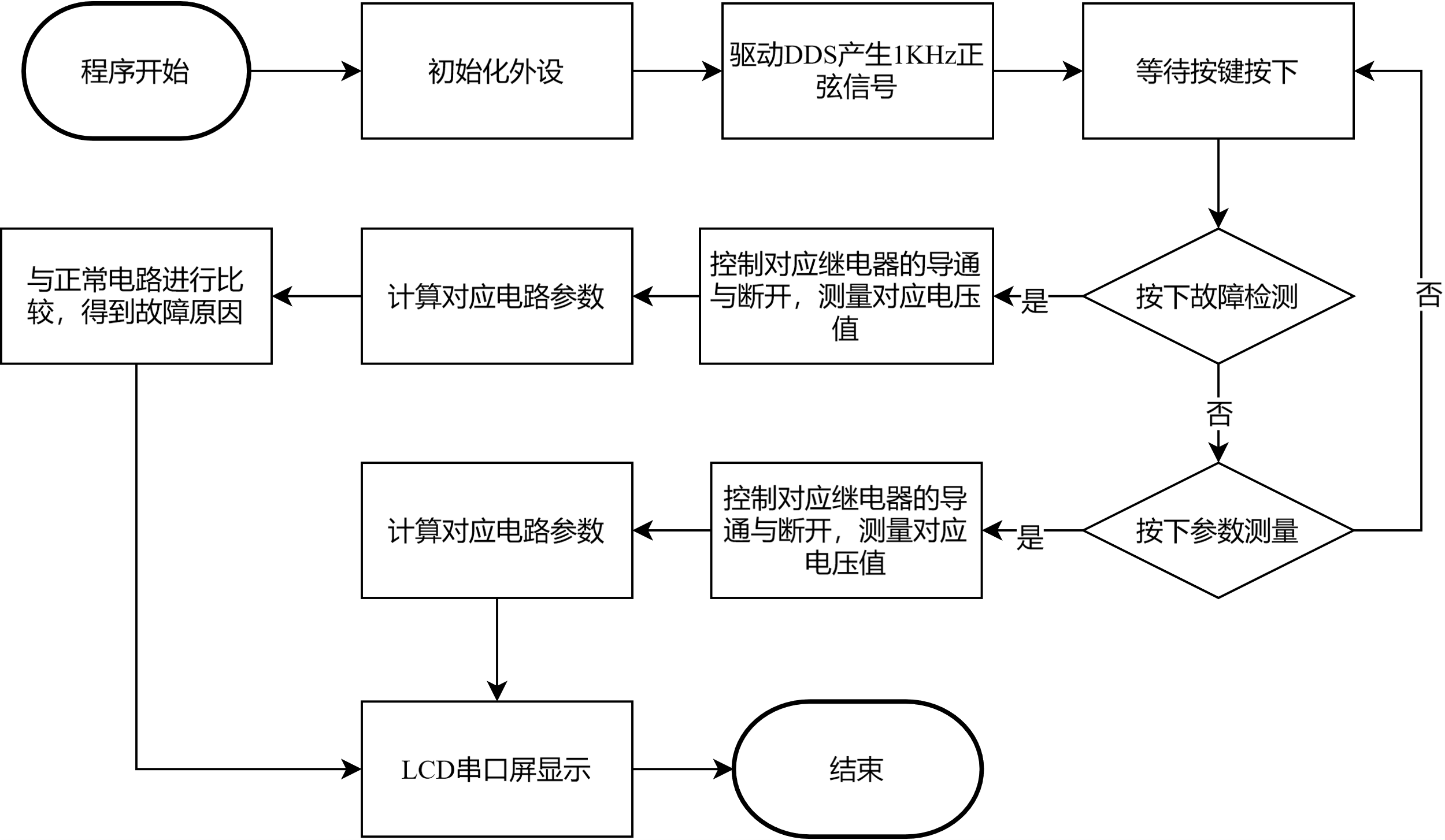


图 5 软件程序设计流程图

1. 测试方案与测试结果
2. 测试环境

示波器： GWINSTEK MDO-2204ES型数字示波器；

信号发生器： RIGOL DG1062型60M任意波形发生器；

电 源： RIGOL DP832型稳压源；

1. 测试方案

## 电路特性测试方案

接入放大器电路，观察装置测量完成时间，并读取检测结果，计算测量误差。

## 故障测试方案

接入放大器电路，并且认为给电路加上故障，并且按“故障检测”按键，开始检测。记录检测时间以及结果是否正确

1. 测试结果与数据

放大电路参数测试

表1 放大电路参数测试表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参数名称/单位 | 实际值 | 测量值 | 误差 | 误差是否满足要求 |
| 输入阻抗/Ω | 2098.14 | 2079.44 | 0.89% | 能 |
| 输出阻抗/Ω | 756.36 | 762.12 | 0.76% | 能 |
| 1kHZ的增益/dB | 44.50 | 44.52 | 0.40% | 能 |
| 上限频率 | 135214 | 134500 | 0.53% | 能 |

幅频特性曲线

放大电路故障类型测试

表3故障测试表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 判断次数 | 判断故障类型 | 实际故障类型 | 是否判断正确 | 能否2s内完成测量 |
| 1 | R1开路 | R1开路 | 是 | 能 |
| 2 | R3开路 | R3开路 | 是 | 能 |
| 3 | R2短路 | R2短路 | 是 | 能 |
| 4 | R3短路 | R3短路 | 是 | 能 |
| 5 | C1开路 | C1开路 | 是 | 能 |
| 6 | C2开路 | C2开路 | 是 | 能 |
| 7 | C3开路 | C3开路 | 是 | 能 |
| 8 | 倍增C2 | 倍增C2 | 是 | 能 |
| 9 | 倍增C3 | 倍增C3 | 是 | 能 |

1. 测试结果分析

4.1 测试仪测试放大器参数的分析：由数据结果知，测量误差均小于1%，满足题目要求。误差主要来源于传输损耗与采样精度损失。

4.2

4.3 测试仪测试放大器故障原因的分析：由数据结果知，任意开路或短路R1~R4中的一个电阻，本装置均能够判断并显示故障原因；任意开路C1~C3中的一个电容，本装置均能够判断并显示故障原因；任意增大C1~C3中电容的容量，使其值达到原来的两倍，本装置均能够判断并显示故障原因。上述判断时间均小于2s，且均判断正确，满足题目要求。误差主要来自传输损耗。

1. 参考文献
2. 罗杰,谢自美.电子线路-设计·实验·测试(第五版),2015,电子工业出版社.
3. 康华光.电子技术基础(模拟部分)(第六版).2013,高等教育出版社.
4. [美]Bruce Carter.运算放大器权威指南(第四版)2014,人民邮电出版社.
5. 全国大学生电子设计竞赛组委会.第十一届全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编,北京理工大学出版社.