**摘要：**本系统以STM32F103为核心控制芯片，通过单片机对DDS模块、电子开关模块、片上AD模块、串口屏模块等控制，实现对放大器相关电路特性的测量。DDS模块使用成熟的AD9833芯片产生频率可调的正弦信号，通过前后端调理电路经单片机采样测量处理相关参数。系统经串口屏上触摸按键进行控制，并在屏幕上进行结果显示。

由题意，使该电路测试仪能满足题目所要求的相应功能，结合题目的精度要求，本系统由DDS模块、串口屏显示模块、A/D 采集模块、辅助电源模块和单片机控制模块等组成。

**关键词：**STM32F103，DDS模块，片上AD模块，串口屏模块，放大电路

简易电路特性测试仪（D 题）

【本科组】

1. 系统方案
2. 比较与选择

1.1信号产生方案

方案一：采用正弦波振荡电路。使用振荡电路产生正弦波电路较简单，满足一定的参数条件即可起振，但缺点是很难输出稳定的波形。

方案二：采用先进的DDS技术。利用DDS芯片产生信号，可根据需求对芯片编程控制设计出任意的信号波形，具有频率分辨率高、转换速度高、信号纯度高、输出波形无电流脉冲叠加等优势。在对题目进行仔细分析后，我们使用AD9833模块，最高频率输出可达12.5MHz,分辨率可达0.1Hz,可满足题目要求的上限频率范围，可靠性较高，符合产品设计的思路。

方案选择：方案一输出正弦波形失真较大且输出频率有限；方案二输出频率范围大，输出可靠。综合考虑，选择方案二，使用成熟的DDS模块 AD9833。

1.2 A/D 采集模块方案

方案一：采用串行ADC模块。使用成熟的ADC对放大电路的输出进行采样，具有高精度、高速率等优点，但是增添了外围电路，使电路设计复杂化且增加了成本。

方案二：采用单片机板内的 ADC 模块。利用单片机内置ADC实现采样，具有实现简单、精度和速度较快、单片机资源利用率高和成本较低的优势。

方案选择：方案一电路设计复杂；方案二使用方便采样率足够。综合考虑，我们选择方案二。

1.3前端调理方案

方案一：采用电阻分压对输入信号进行放大，然后输入给测试电路和ADC。

方案二：采用运算放大器对DDS输出信号进行放大并电压跟随输出给测试电路，测试输入端信号经过运算放大器放大到合适幅值给ADC。

方案选择：方案一输出波形不稳定，幅值较小且不易改变，其输出电阻易影响后端电路；方案二输出电压稳定，给ADC的信号幅值可调，且其输出电阻对后端电路影响小。综合考虑，我们选择方案二。

1.4后端调理方案

方案一：输出信号直接通过电容进行隔直，再采用电阻分压进行偏置。

方案二：输出信号通过电压跟随器，使信号不受后端电路影响，再经电容进行隔直，再进行放大，偏置后给ADC。

方案选择：方案一输出信号易受后端影响，波动较大；方案二信号输出稳定，ADC输入信号幅值可调。综合考虑，我们选择方案二。

1.5辅助电源方案

方案一：采用可调线性分压元件。利用线性分压的方法具有电路简单的优势，但是会造成资源浪费且输出电压容易因分压元件的热效应而不稳定。

方案二：采用三端稳压器模块。通过三端稳压器对直流电源进行分压、滤波等调整，可获得所需稳定的电压。

方案选择：方案一输出方便但电压不稳；方案二输出稳定。综合考虑，选择方案二，使用LDO模块。

1.6单片机控制方案

本系统使用外围资源丰富的单片机 STM32F103 作为主控模块，基本可满足需要。

1. 方案描述

本设计以单片机 STM32F103为核心，通过对 DDS 模块、A/D 采集模块、继电器控制模块实现控制的产生与信号的处理，利用串口屏显示模块实现人机交互。总体框图如图1所示。连接好相关连线，把测试仪的两个端口与放大电路连接后即可开始进行电路特性的测试。串口屏上有三个按键分别对应功能：1.测量输入电阻；2.输出电阻；3.通频带电压增益、幅频特性曲线及上限频率；4.故障检测；5.复位。按下相应测量按键后，在串口屏上将会显示目标参数；按下检测故障按键后，则会显示出放大器电路里的电路故障；按下复位键，系统初始化。



**图 2.1系统框图**

1. 理论分析与计算
2. 放大器电路分析

（1）放大器静态分析



图 2.1静态等效电路

假设选取的三极管s9013的=100。

当流过偏置电阻R1和R2的电流远大于晶体管s9013的基极电流时，则它的静态工作点可以用下式估算，为供电电源，在此为12V。











（2）放大器动态分析



图 2.2动态等效电路

电压增益： 

输入电阻： 

输出电阻： 

1. 对电路测试仪的分析
2. 输入电阻测量电路

为了测量放大器的输入电阻，电路在被测放大器的输入端与信号源之间串联一个已经电阻R，在放大器正常工作的情况下，通过AD采样模块获得和，由输入电阻的定义式可得



由于工作点不变，因此两者的是相等的，可得





由上面各式可得



注意：根据题意，输入电阻测量范围 ，因此电阻 R 的值不宜取得过大或过小,以免产生较大的测量误差，此处取与Ri为同一数量级最佳，可令。



1. 输出电阻测量电路

为了测量放大器的输出电阻，在放大器正常工作的情况下，测出输出端不接负载RL的输出电压UO和接入负载后输出电压UL，根据分压公式可得



亦即



注意：①测试时候必须保持接入前后输入信号的大小不变；②根据题意，输出电阻的测量范围，因此可取负载电阻。



1. 测量电压增益

保持放大器的静态工作点和输入信号的情况下，通过AD采样模块获得，则



1. 测量幅频特性曲线

通过测量不同频率信号相应的电压放大倍数,通过描点法测出多组数据即可作出相应幅频特性曲线。

注意：①在改变放大器输入信号频率时，要保持输入信号的幅度不变，且输出波形不能失真；②测量时要注意取点要恰当，在低频段和高频段要多测几点，在中频可以少测。（5）故障分析

表2.1 故障分析表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 参数变化 | 三极管状态 | 判断说明 |
| 断路 | 截止 | 的直流电压为12V左右，且逐渐增大DDS模块输出的信号的幅度大于三极管以后，会有脉动信号的产生 |
| 短路 | 饱和 | 的直流电位等于12-0.7=11.3V(继电器4接通的负载时） |
| 短路 | 近饱和 | ；所以的直流电位等于和的分压，所以约等于直流的左右 |
| 断路 | 截止 | ；此时通入交流大于的信号也会输出交流信号为0；此时，让继电器1-3在电路测试仪的输出端并联接入纯阻性负载，如果的大小仍然为0，则表明短路 |
| 断路 | 饱和 | 的直流电位等于0V |
| 短路 | 放大 | 的直流电位等于12V，此时通入交流大于的信号时输出交流信号为0；此时，让继电器1-3 在电路 测试仪的输出端并联接入纯阻性负载，的大小不为0，且有一定幅值，则表明正常R2正常。接着，让继电器2-3 在电路测试仪的输入并联接入纯阻性负载，如果得到的的直流电位仍为 12V，说明短路 |
| 断路 | 截止 | 的直流电位等于12V，此时通入交流大于的信号时输出的交流信号为0；此时，让继电器1-3 在电 路测试仪的输出端并联接入纯阻性负载，的大小不为 0，且有一定幅值，则表明正常正常。接着，让继电器2-3在电路测试仪的输入并联接入纯阻性负载，得到的的直流电位为6V，说明开路 |
| 短路 | 饱和 |  |
| 断路 | 放大 | 没有交流信号输出 |
| 断路 | 放大 | 交流信号输出幅度降低明显 |
| 断路 | 放大 | 放大器上限频率会明显增大 |
| 增大 | 放大 | 单管放大电路的下限频率下降，但不是差别不太大 |
| 增大 | 放大 | 单管放大电路的下限频率下降，且下降比较明显 |
| 增大 | 放大 | 上限频率明显变化（高频交流信号会被交流短路了，上限频率会下降） |

1. 误差分析

3.1.放大器静态误差

（1）实际上并不等于与支路的分压，只有流过和的电流时才能近似处理。

（2）同上，也是近似等于，另外，由于制作工艺和材料的差别，三极管9013的开启电压不一定为0.7V。

3.2.放大器动态误差

（1）交变信号对于耦合电容可以近似为短路，实际上耦合电容依旧会有容抗，因此耦合后信号存在衰减和相位差；另外极间电容、旁路电容等容性元件对交流电也会有类似影响。

（2）交流电对于内阻很小的直流稳压源才可视为短路，实际上电源内部存在大阻抗或 者容性元件，会产生较大误差。

3.3.测试仪的误差

（1）由于元件精度的存在，会存在不可避免的误差。

（2）射极跟随器的增益不可能为1，尽量选择小的三极管，使跟随器增益迫近1，减小衰减。

（3）由于 AD 采样精度和单片机内部运算的精度限制，会有不可抗因素。

（4）在测量方法的系统设计上，均采用了理想化的计算分析，实际测量时候可能会与 理想值有较大偏差，可在不断调试中调整测量物理量的基准。

1. 电路与程序设计
2. 测试电路

测试电路如图3.1所示。

图3.1 测试电路

1. 前端电路设计

前端调理电路如图3.2所示。

**图3.2前端调理电路**

前端调理电路将DDS信号先进行衰减再通过电压跟随减小对后续电路的影响；通过S1控制是否接入输入测试电阻；再经过运放放大输入信号到合适的幅值给ADC测量 。

1. 后端电路设计

后端调理电路如图3.3所示。

R2

R3

S4

R8

R7

GND1

+12

+12

-

12

-

12

-

12

+12

Vout

-

+

-

+

+

-

C1

GND3

R9

R10

GND4

+12

ADC2

R5

R6

GND5

R1

S2

GND2

S3

**图3.3后端调理电路**

输出信号通过S2控制是否接入负载；输出信号经电压跟随减小影响，通过S3控制是否通过电阻分压测量输出直流电压；输出信号通过电容隔直再经过运放进行加法运算使信号附加直流偏置，通过S4控制是否测量输出正弦波幅值。

1. DDS电路设计
2. 主要电路的设计

由 AD933组成的DDS模块产生频率可调的正弦波信号，通过单片机 STM32F103 对继电器、 AD9833、串口屏等模块的控制，实现相应的功能；另外，为了减小测量仪对放大器电路测量的误差和提高测量仪的精度和稳定性，我们在放大器电路前后级设计了射极跟随器进行阻抗隔离。

1. 程序的设计

1.程序功能描述

根据题目要求软件部分主要实现对 DDS 和继电器控制、AD采集、串口屏的显示与交互。

（1）DDS 和继电器控制：产生一定频率的正弦波信号并且控制输出支路。

（2）AD 采集：对放大器的相关参数采样至CPU 运算。

（3）串口屏键盘：选择测试或者故障检测功能。

（4）串口屏：显示电路特性参数。

2.程序流程图

主程序流程图如图所示



**图3.4程序框图**

1. 测试结果
2. 测试环境

测试条件：多次检查仿真电路和硬件电路必须与系统原理图完全相同，并且检查无误，硬件电路保证无虚焊。

测试仪器：

示波器： Tektronix MDO2002B型数字示波器；

电 源： ZhongCe DF1743003C型稳压源。

1. 测试方案

2.1测试电路参数测试方案

将系统组装好，连接电源，确认无误后上电，通过串口屏控制此次测量的参数，观察屏幕上是否显示参数及其是否正确。

2.2故障检测测试方案

在屏幕上点击故障测试，并随机制造错误故障观察屏幕上是否显示故障及其类别是否正确。

1. 测试结果与数据

3.1参数测试

表x xxx测试表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | |  | | |  | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3.2故障测试

表x xxx测试表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | |  | | |  | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |