

# 基于 AD9854 的简易频率特性测试仪的设计

曾繁政, 廖斯哲, 杨雄珍

(贺州学院, 广西 贺州 542899)

[摘 要] 基于直接数字式频率合成集成芯片(Direct Digital Synthesizer, 简称 DDS)AD9854 和零中频正交解调, 设计了一款简易频率特性测试仪。详细叙述了系统的原理与软硬件的设计过程。实验表明, 系统在很宽范围内不受信号频率的影响, 具有较高的精度, 在频率特性分析方面有一定的使用价值。

[关键词] 频率特性测试; AD9854; 正交解调

[中图分类号] TN98 [文献标识码] A [文章编号] 1673-8861(2015)01-0133-06

## 1 引言

频率特性测试仪是电子技术领域的常用仪器, 扫频法能够快速测量系统的频率特性和动态特性, 可以用频率连续变化的正弦信号激励被测网络, 利用包络检波等方法测量系统的动态频率特性。而如今 DDS 直接数字频率合成技术在信号合成领域已经有了很大发展, 采用 DDS 集成芯片作为测试扫频信号源具有频率转换时间短、频率分辨率高、频率稳定度高、输出信号频率和相位可快速程控切换等优点<sup>[1]50</sup>。通过正交解调将载频去除得到零中频, 对零中频信号采样计算得出被测网络增益及相移, 能够同时分析被测系统的幅频特性和相频特性, 克服了包络检波及相位检测方法中电路复杂和精度低的缺点。

## 2 系统结构及原理分析

### 2.1 系统结构

系统以 STM32 单片机为核心, 通过控制 DDS 芯片 AD9854 产生两路正交的正弦波扫频信号, 经过待测 RLC 谐振网络, 通过乘法器分离信号的实部和虚部, 将信号通过低通滤波器滤除高频分量, 通过 A/D 转换采集后进入单片机进行运算, 运算结果从液晶显示输出, 最终完成幅频特性及相频特性的测试。系统结构框图如图 1 所示。

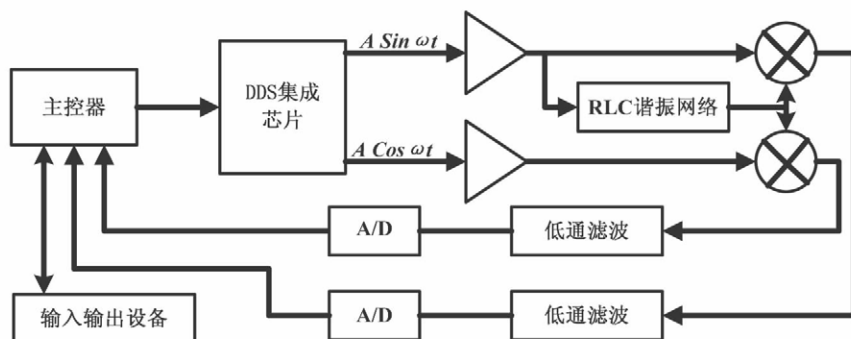


图1 系统结构框图

[收稿日期] 2015-01-23

[作者简介] 曾繁政(1983-) 男, 广西梧州人, 贺州学院讲师, 硕士。主要研究方向: 智能控制。

[基金项目] 2013年贺州市科技开发项目(贺科能 1304022)、2014年广西大学生创新训练项目(201411838001)。

## 2.2 零中频正交解调原理分析

正交解调也叫正交基带变换,其目的是去掉信号中的载频,将信号变为零中频<sup>[2]172</sup>。无论中频信号的调制方式如何,都可以先使用正交解调,然后再根据调制方式处理恢复信号。信号通过正交解调后中频为零,镜频和信号自身重叠在一起,因为采用 I/Q 正交的结构抑制镜像频率干扰,所以不再需要高 Q 值滤波器,可以使用无源低通滤波器完成滤波。I/Q 两路信号滤波后可以直接进行 A/D 转换,电路简单。零中频正交解调需要完全正交的两路正弦波信号,可以由锁相环或 DDS 产生,实际系统采用高性能 DDS 芯片 AD9854 为核心的宽频信号发生模块,所产生的信号由电流反馈放大器 AD811 进行缓冲放大。正交解调器由两个模拟乘法器 AD835 构成,四象限高速模拟乘法器 AD835 具有精度高、失真小和输出增益可以通过外接电阻方便设定的优点,它主要应用于乘、除、乘方、开方运算,调制解调和有效值检测等方面。零中频正交解调框图如图 2 所示。

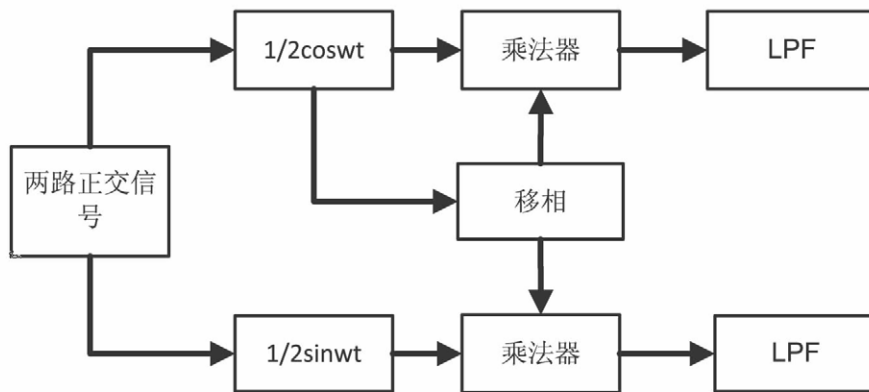


图2 零中频正交解调框图

系统采用 DDS 模块产生两路正交载频:

$$V_I = A \sin \omega t \quad (1)$$

$$V_Q = A \cos \omega t \quad (2)$$

$$\text{经过被测网络: } V_r = G A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (3)$$

$$\text{I 乘法器输出: } V'_I = G \frac{A^2}{2} [\cos \varphi_0 - \cos(2\omega t + \varphi_0)] \quad (4)$$

$$\text{Q 乘法器输出: } V'_Q = G \frac{A^2}{2} [\sin \varphi_0 + \sin(2\omega t + \varphi_0)] \quad (5)$$

$$\text{I 低通滤波输出: } V_{IO} = G \frac{A^2}{2} \cos \varphi_0 \quad (6)$$

$$\text{Q 低通滤波输出: } V_{QO} = G \frac{A^2}{2} \sin \varphi_0 \quad (7)$$

从式 (6) 和式 (7) 可以看出,式 (3) 信号与正交载波相乘并经过低通滤波后,输出的信号是被测网络相移 $\varphi_0$ 和增益 $G$ 的函数,这两路信号通过 A/D 转换为数字信号后输入单片机,通过反三角函数和向量

模运算,可以得到被测网络的相移和增益。利用正交解调原理,设计相应的正交解调电路,配合正交信号发生电路及滤波电路,能够方便地对被测网络频率特性进行测量。

### 3 系统硬件设计

系统硬件主要由正交信号发生模块、RLC 谐振网络模块、正交解调模块、单片机最小系统模块、显示模块和电源模块 6 个模块组成。在设计中模数转换由 STM32 内部的两路 12bit ADC 完成,可以对两路信号同步采样,对于低速高精度的应用,加入滤波算法可以达到很好的效果。单片机最小系统模块、显示模块和电源模块为常规电路,文中主要介绍正交信号发生电路、正交解调电路和 RLC 谐振网络的设计。

#### 3.1 正交信号发生电路

正交信号发生单元由具有 48 位频率分辨率的 DDS 芯片 AD9854 数字合成器构成。AD9854 片内整合了两路高速度、高性能的正交 D/A 转换器,在高稳定度时钟驱动下,通过主控器设置它的模式和频率控制字就可以产生高稳定频率、相位和幅度的正弦和余弦信号<sup>[3]139</sup>,该信号通过视频运算放大器 AD811 进行放大和阻抗匹配,满足正交解调两路参考信号的需要。正交信号发生电路如图 3 所示。

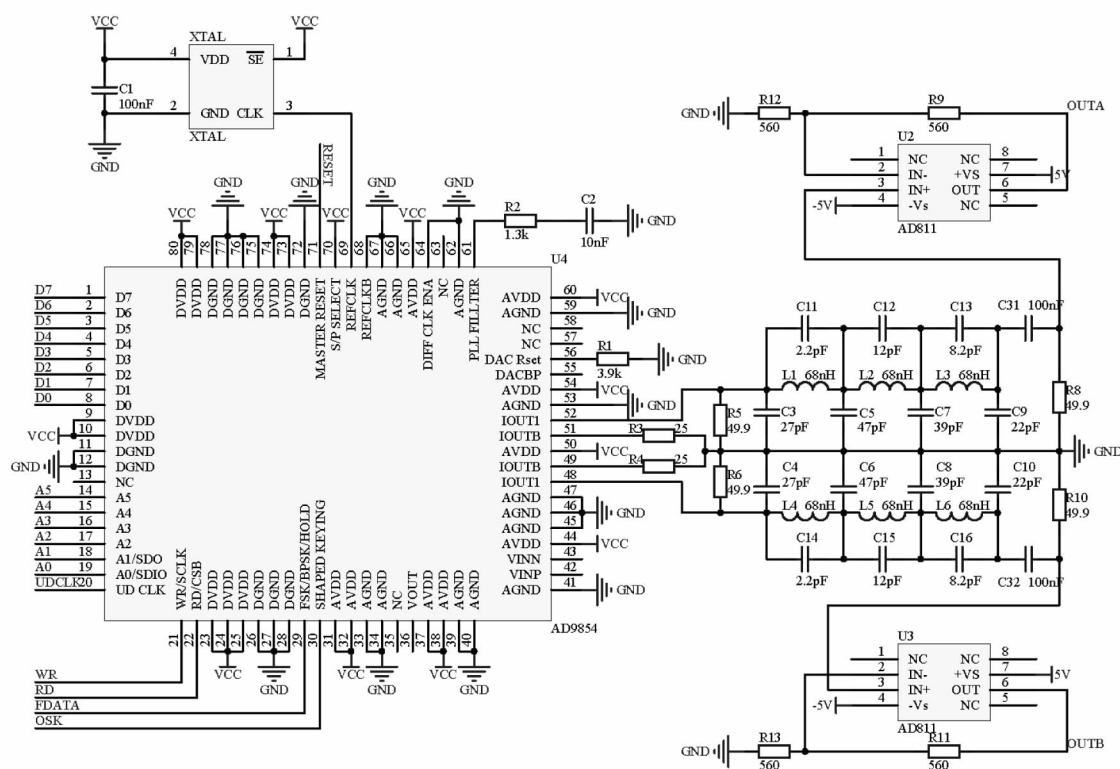


图3 正交信号发生电路图

#### 3.2 正交解调电路

乘法器常用于调制、解调、混频、鉴相和自动增益控制,在通信系统中用途十分广泛。在本系统中,正交解调电路由模拟乘法器 AD835 构成,AD835 是一款四象限电压输出模拟乘法器,它输出 X 和 Y 电压的线性乘积,-3 dB 输出带宽为 250 MHz,Z 输入端能使 AD835 的输出电压放大约 10 倍。被测信号与正交载频输入两路乘法器,实现正交解调。

正交解调电路如图 4 所示。两路正交载频从 OUTA、OUTB 输入,分别连接到两个乘法器的输入端 Y,TEST 为被测系统的输入端。从 OUTA 输入的正弦信号通过被测系统后在 R17 上形成参考电压信号,该信号从两个乘法器的 X 端输入,Z 端连接的反馈网络能使输出电压放大约 10 倍,解调后的两路信号分别由 AD835 的

5 脚输出, 即 I、Q 解调输出  $I_{OUT}$ 、 $Q_{OUT}$ 。

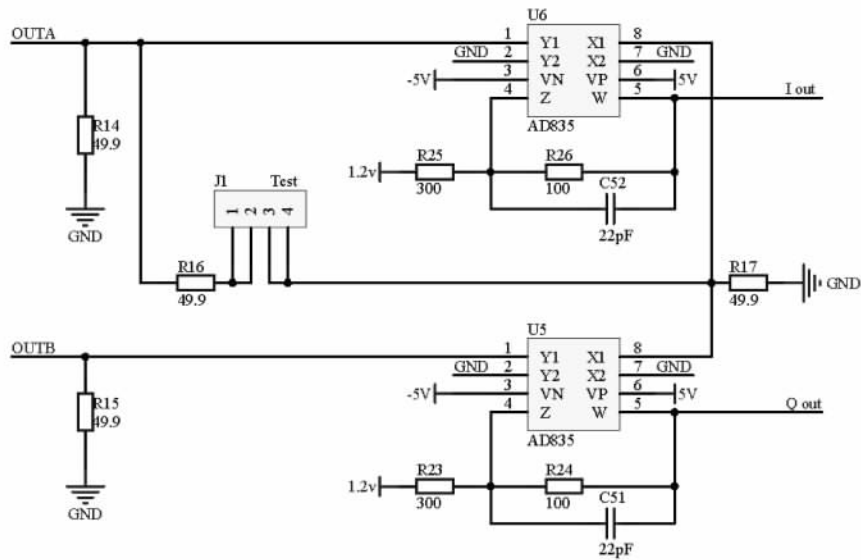


图4 正交解调电路图

### 3.3 RLC 串联谐振电路

RLC 串联谐振电路如图 5 所示。

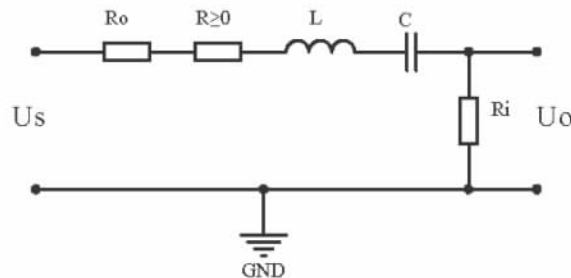


图5 RLC串联谐振电路图

$$Q = \frac{1}{\omega_0 CR} \quad (8); \quad C = \frac{1}{2\pi f_0 RQ} \quad (9); \quad Q = \frac{R}{\omega_0 L} \quad (10); \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (11)$$

令  $Q = 4$ ,  $f_0 = 20 \times 10^6 \text{ Hz}$ , 由以上 (8)、(9)、(10)、(11) 式解得:

$$C \approx 20 \text{ pF} \quad R = 100 \Omega \quad L = 3.18 \mu\text{H}$$

实际电路中, 使用多个电容并联, 中频变压器作为电感, 通过微调中频变压器以实现谐振频率微调, 串并联电阻实现  $Q$  值微调。

### 3.4 低通滤波器电路

系统基于零中频正交解调原理设计, 只需关注信号的直流分量, 因为噪声 (即和频分量) 基本分布在数十倍频程以外, 所以使用低  $Q$  值的无源滤波器即可达到设计要求。综合考虑系统动态特性和成本, 采用了二阶无源滤波器, 电路如图 6 所示。



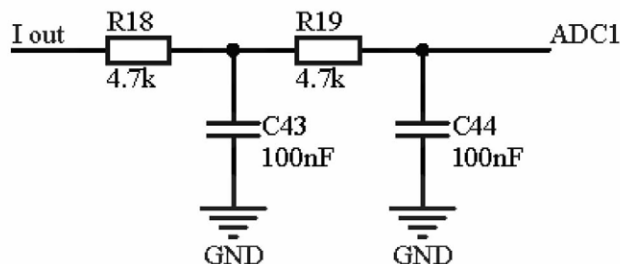


图6 低通滤波器电路图

#### 4 软件设计

系统以 STM32F103ZE 单片机为控制核心, 使用键盘设定扫频范围等参数, 控制 AD9854 产生扫频信号, 由 12bitADC 完成信号采样, 对采样的数据进行计算处理后得出被测系统的频率特性, 最后在液晶显示测试结果。软件任务可归结为以下几个: 第一, 控制 AD9854 产生所设定频率的正交载波, 记录信号的频率, 完成频率定标; 第二, 定时触发 ADC 采样, 并进行软件滤波处理; 第三, 对数据进行计算得出被测系统的频率特性; 第四, 使用状态机完成按键响应和功能的转换; 第五, 在 LCD 上显示测试结果、描绘相应图表。系统主程序流程图及扫频程序流程图如图 7、图 8 所示。

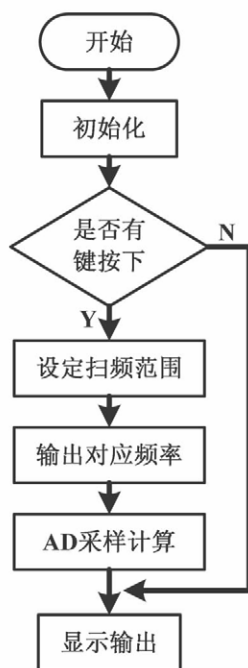


图7 系统主程序流程图

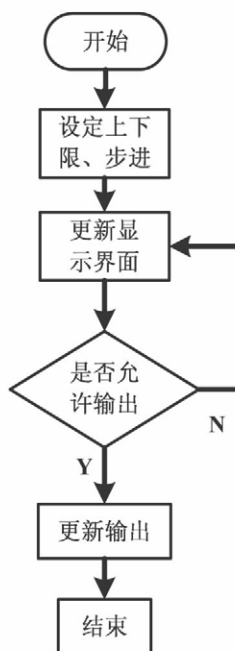


图8 扫频程序流程图

#### 5 测试结果及数据分析

系统测试主要是分析 DDS 产生的单频信号的频率误差和相位误差, 以及解调后信号的幅度误差。测试信号的频率范围从 1MHz 到 40MHz, 从正交信号发生电路输出端测出频率和相位差, 从正交解调电路输出端测出幅度。测试时随机读取 5 次数据, 取平均值作为最终测试结果, 测试数据如表 1 所示。

表 1 测试数据表

设定 频率 (MHz)	I 频率 (MHz)	Q 频率 (MHz)	I 幅值 (v)	Q 幅值 (v)	频率绝 对误差	幅值相 对误差	幅值绝 对误差	IQ 相 位差
1	1.00763	1.00762	1.18	1.19	0.76%	0.85%	0.84%	90.0
8	7.99992	7.99992	1.19	1.18	0.00%	-0.84%	-0.84%	90.3
20	19.9995	19.9995	1.19	1.18	0.00%	-0.84%	-0.84%	89.2
30	29.9992	29.9992	1.21	1.20	0.00%	-0.83%	-0.84%	88.5
35.3	35.2991	35.2991	1.21	1.20	0.00%	-0.83%	-0.84%	88.2
40	39.999	39.999	1.20	1.20	0.00%	0.00%	0.00%	87.8

由表 1 可知,在整个输出频率范围内,两路输出信号的频率保持同步,且误差不超过 1%,相位差在  $90\pm 5^\circ$  范围内,解调后信号的幅度误差小于 1%。通过分析可知,系统精度高,具有较好幅值稳定性和相位稳定性,可以满足一般的频率特性测试的要求。

## 6 结 语

本文分析了基于零中频正交解调原理的频率特性测量方法,利用直接数字式频率合成技术产生高稳定度正交载波,为高精度测量提供基础。相对包络检波法和相位比较器测相法,零中频正交解调法具有以下优点:一是通过正交解调电路分离被测信号的实部和虚部,进行 A/D 转换并计算即可得到被测网络的相移和增益。二是配合高稳定度的扫频信号发生电路,能够快速和准确地测定系统的频率特性。三是电路结构简单、算法容易实现。四是工作频率范围宽,具有较好的一致性和较高的准确度。

## [参考文献]

- [1] 李青鹏,路军,李俊杰.基于单片机和 DDS 的高精度频率信号实现[J].电子工程师,2002(9):50-52.
- [2] 叶金来,黄洁,江桦.中频信号正交解调原理与实现[J].福建工程学院学报,2004(2):172-175.
- [3] 李刚,卢宗武等.基于正交解调的脉搏波电阻抗谱测量方法[J].纳米技术与精密工程,2008(4):137-141.

## Simple Frequency Characteristic Tester Design Based on AD9854

ZENG Fan-zheng, LIAO Si-zhe, YANG xiong-zhen  
(Hezhou University, Hezhou Guangxi 542899)

**Abstract:** A simple frequency characteristic tester is designed based on direct digital synthesizer (DDS) AD9854 and zero intermediate frequency orthogonal demodulation. The principle and the design process of hardware and software for the system are described in detail. Experiments show that the system is not affected by the signal frequency in a very wide range, and has high accuracy. The system has their value in the analysis of frequency characteristics.

**Key words:** frequency characteristic tester; AD9854; orthogonal demodulation

[责任编辑] 张琴芳