

基于AD9854的简易频率特性测试仪

王敏

(东南大学吴健雄学院 江苏南京 211189)

摘要:在双端口网络频率特性测试仪的设计过程中,根据零中频正交解调原理,采用数字直接频率合成技术(DDS)专用的集成电路AD9854输出两路正交正弦信号,作为正交扫描信号源,以单片机MSP430F6638为控制核心,通过A/D和D/A转换器、放大器、模拟乘法器、低通滤波等外围电路,可以对测试网络进行点频以及1MHz~40MHz频率范围内扫频等测量,并在320x240超大液晶屏上清晰地显示被测双端口网络的幅频特性和相频特性曲线,具有电压增益、相移和频率坐标刻度,人机交互界面友好。

关键词:DDS 正交解调 模拟乘法器 滤波 扫频

中图分类号:TN98

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2013)09-0069-02

扫频测量在现代电子测量中占有重要的地位,运用频率特性测试仪可以动态地测量被测网络的传输特性。传统的模拟扫频仪大多是用LC电路构成的扫频振荡器,其结构复杂,价格昂贵,体积庞大,而且只能显示幅频特性曲线,不能得到相频特性曲线,给使用者带来诸多不便。

目前,国内外的频率特性测试仪主要集中在射频和高频,中低频的产品比较少,而且价格相当昂贵,因此,我们设计的频率特性测试仪频率范围为1MHz~100MHz,幅度测量精度小于1dB,相位测量精度小于1度,可以在320x240超大液晶屏上清晰地显示被测双端口网络的幅频特性和相频特性曲线,并且具有电压增益、相移和频率坐标刻度。

1 DDS技术及AD9854芯片简介

(1)DDS技术。DDS(直接数字式频率合成技术)是将波形数据先存储,然后在频率数据和基准脉冲的作用下通过相位累加器从存储器中读出波形数据,经数模转换和滤波输出。DDS技术具有频率转换时间短,频率稳定度高、相位噪声低、相位分辨率高、输出相位连续以及良好的调制特性等特点。传统的数字锁相环频率合成技术频率范围较大,但难以达到很小的频率间隔,频率转换时间较长,达ms级,并且难以达到很小的频率间隔,整个测试仪的反应速度就会很慢。因此采用DDS技术对信号源电路进行设计是一种较为合适的方法。

(2)AD9854芯片。芯片AD9854以DDS为核心,内部集成了2个正交D/A转换器、1个高速比较器,可以输出I、Q两路合成信号。在高稳定度时钟的驱动下,AD9854将产生一高稳定的频率、相位、幅度可编程的正弦和余弦信号,允许输出的信号频率高达150MHz,而数字调制输出频率可达100MHz。芯片内置有各种控制字和状态字寄存器,用户可通过并口或串口I/O与这些寄存器通信。此外,AD9854具有良好的动态性能,在100MHz的输出下,无寄生杂波动态范围(SFDR)高达80dB。

2 系统设计

2.1 系统原理

本系统根据零中频正交解调原理,系统的总体设计框图如图1所示。

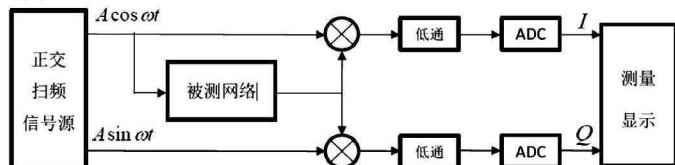


图1 频率特性测试仪示意图

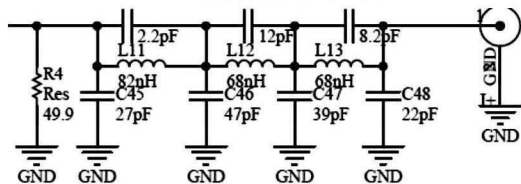


图2

步进式扫描信号源在 ω_m 频率点时产生激励电压 u_1 和正交基准电压 u_x, u_y 为

$$\begin{cases} u_1 = \sqrt{2}U_1 \cos \omega_m t \\ u_x = \sqrt{2}U \cos \omega_m t \\ u_y = \sqrt{2}U \cos(\omega_m t + \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

设被测电路的转移电压比函数为

$$A(j\omega) = A(\omega)e^{j\theta(\omega)}$$

则稳态响应电压为

$$u_2 = \sqrt{2}A(\omega_m)U_1 \cos[\omega_m t + \theta(\omega_m)]$$

使乘法系数K, 低通增益K'与U三者之积等于1, 分别滤得 $KK'u_x u_2$ 和 $KK'u_y u_2$ 的直流分量为

$$\begin{cases} U_{x2} = A(\omega_m)U_1 \cos \theta(\omega_m) \\ U_{y2} = A(\omega_m)U_1 \sin \theta(\omega_m) \end{cases}$$

由这两个值用下式计算即可得测量值

$$\begin{cases} A'(\omega_m) = \sqrt{U_{x2}^2 + U_{y2}^2} / U_1 \\ \theta'(\omega_m) = \arctg(U_{y2} / U_{x2}) \end{cases}$$

2.2 硬件设计

(1)DDS电路。DDS电路是本系统中的关键电路,根据AD9854的数据手册,DVDD和AVDD分别为数字电源和模拟电源,分别通过磁珠接入5v电源中。为了保证提高系统的可靠性,降低电源纹波的影响,在设计中加入若干贴片封装的10uF和0.1uF的电容进行电源滤波。在电流差分输出端接入七阶椭圆低通滤波电路,既可以将电流转换为电压,又可以减少输出信号的杂散分量。图2即为七阶椭圆低通滤波电路。

(2)放大电路。DDS输出的信号在320mV左右,为了使信号电压的峰峰值 $\geq 1V$,需要在DDS输出信号后面接一级放大电路。放大电路采用同相放大,可以有效地将信号源输出信号与后级电路进行隔离,同时提高输入阻抗并减小输出阻抗。我们采用TI公司的运算放大器OPA695,这款运放的单位增益带宽1500MHz(典型值),输入失调电压 $\pm 0.5mV$,适用于高频信号的放大。由于DDS输出具有直流分量,为了滤除直流分量,在运放输出端接一个电容即可。电路如图3。

(3)模拟乘法器电路。AD835是一款完整的四象限电压输出模拟乘法器,它产生X和Y电压输入的线性乘积,−3dB输出带宽为

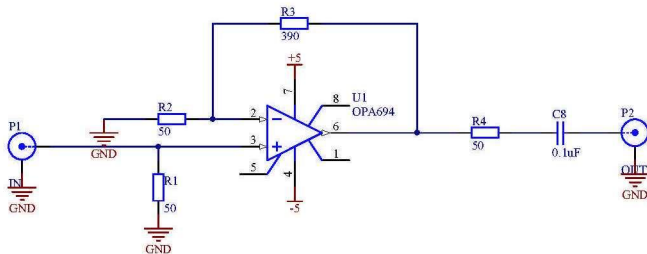


图3

250MHz。电路如图4。

(4)低通滤波电路。我们利用TI公司推出的一款专用于滤波器设计的软件——filterpro设计一个巴特沃斯型的截止频率为10kHz的二阶低通滤波器。电路如图5。

(5)ADC设计。模数转换电路功能是对含有输入信号大小、幅度和相位差信息的模拟电压信号进行模数转换,并把数据交给后续电路进行数据处理。在综合考虑速度和成本等因素后,决定采用MSP430F6638内部自带的ADC。

(6)被测网络的设计。为了方便检测的系统的可靠性,我们设计了一个中心频率为20MHz、有载品质因数为4的RLC网络。由于RLC串联电路的

$$\text{谐振频率 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

$$\text{品质因数 } Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

因此,我们设计了图6的被测网络。

2.3 软件设计

系统软件部分由单片机和DDS芯片AD9854组成,单片机主要完成人机交互部分的处理和系统的控制,数据的处理。AD9854主要产生两路正交正弦信号。设计中模块化思想贯穿始终。

系统软件设计包括主程序、中断服务子程序、键盘扫描子程序、字符显示子程序、LCD清屏子程序和字母组合子程序等。主程序完

成初始化任务,释放P0端口和中断,等待按键输入。当有按键按下时,调用扫描子程序,判断LCD清屏、数字/字母键、大小写转换等,调用相应功能子程序。为了克服按键抖动和LCD显示不稳定,采用延时程序进行解决。相关的软件设计流程图如图7所示。

3 误差分析

本系统的误差来源有以下几点:(1)由于AD9854工作频率较高,容易引入较大噪声,因此需要注意电源与地线的连接和外围电路的空间摆放。为避免高频干扰,要注意对高频信号的输入输出进行必要的阻抗匹配控制。(2)模拟乘法器的输出漂移造成影响,这是硬件电路难以避免的。

4 结语

本文通过对双端口网络频率特性测试仪的设计,最终可以实现对测试网络进行点频以及1MHz~40MHz频率范围内扫频等测量,被测双端口网络的幅频特性和相频特性曲线可以清晰地显示在液晶屏上。

该系统基本达到全数字化,大大地缩小了仪器的体积和重量,降低了成本,而且系统提供了丰富的外围接口,方便了用户的使用。

系统还有值得改进的地方,在对被测网络进行扫频测量时,其步长变化规律在开始扫描前就已经确定,不能根据不同的网络进行自适应的调整,如果需要改变步长的变化规律,就需要重新修改程序,缺乏灵活性和通用性。因此,可以考虑设计一种算法能够根据测量的实时数据,动态的改变扫频步长,实现自适应扫频,提高测量的速度和精度。

参考文献

- [1] 阙继泰.用正交乘法测量频率特性[J].北京理工大学学报,1991,12(3):86-90.
- [2] 谢敏等.基于AD9851及FPGA的网络特性测试仪[J].化工自动化及仪表,2011,38(7):834-836.
- [3] 刘艳云,朱雷.基于MSP430单片机和DDS技术的频率特性测试仪的设计[J].2011,34(5):521-524.

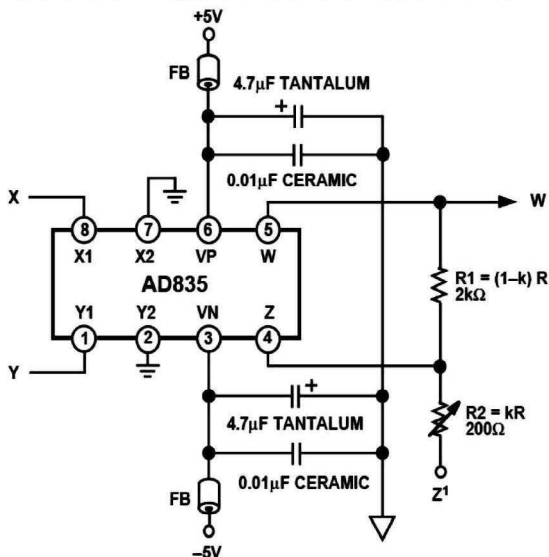


图 4

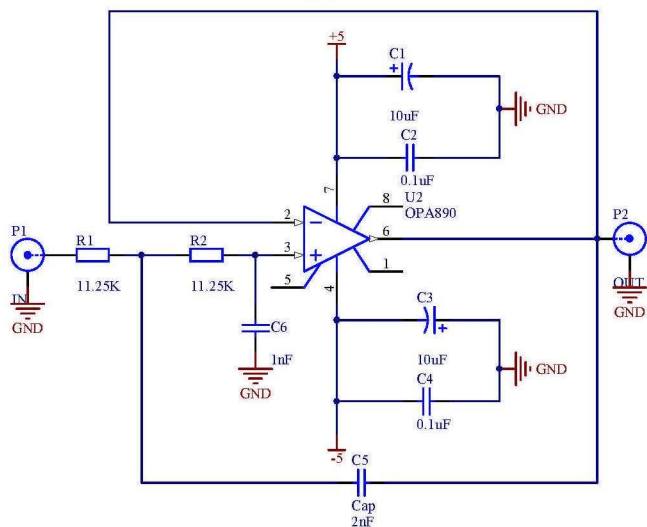


图 5

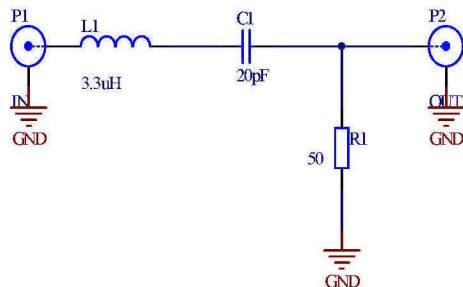


图 6

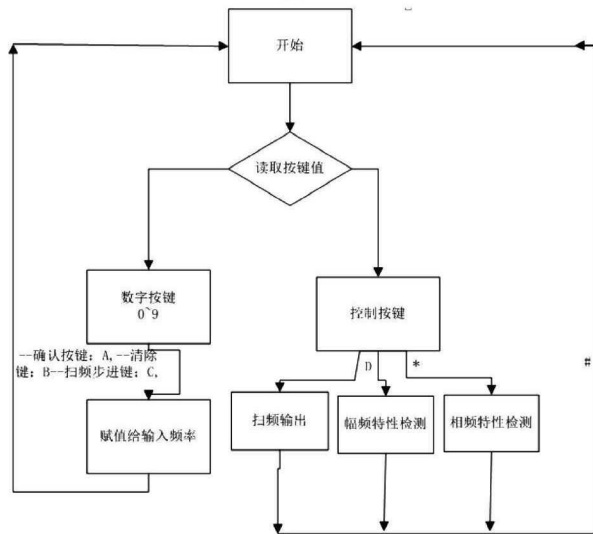


图 7