

文章编号: 1004-4353(2017)01-0074-04

# 基于 DDS 与 AGC 的频谱分析仪设计

林俊武, 洪海莲, 饶连周

( 三明学院 机电工程学院, 福建 三明 365004 )

**摘要:** 为了提高信号测量频率范围及实现小信号频谱的测量, 采用超外差式原理, 结合 DDS 与 AGC 设计了一款简易的频谱分析仪, 该频谱分析仪可以测量频率范围为 1~30 MHz、幅度为 0.02~2 V 信号的频谱。经实测表明, 该频谱分析仪具有测量精度高、测量带宽大、成本低和便捷等优点, 具有良好的实用价值。

**关键词:** 频谱分析仪; DDS; AGC; 超外差式

**中图分类号:** TP216

**文献标识码:** A

## The design of spectrum analyzer based on DDS and AGC

LIN Junwu, HONG Hailian, RAO Lianzhou

( Department of Electromechanical Engineering, Sanming University, Sanming 365004, China )

**Abstract:** In order to improve the measurement frequency range of the signal and measure the spectrum of small signal, a simple spectrum analyzer is designed based on DDS and AGC with the super heterodyne principle. The spectrum analyzer can measure the spectrum of signal with the frequency range from 1 MHz to 30 MHz, and can measure the spectrum of signal with amplitude from 20 mV to 2 V. The results of test show that the spectrum analyzer has the advantages of high measurement precision, wide measurement bandwidth, low cost and convenient, so it has good practical value.

**Keywords:** spectrum analyzer; DDS; AGC; super heterodyne

随着通信技术的不断更新, 频谱分析作为信号的一种分析手段, 它的应用领域越来越广泛, 如通信以及航空等领域, 而频谱分析仪作为一种信号频谱分析的设备, 主要用于测量以及显示信号的频域特征<sup>[1-3]</sup>。目前, 频谱分析仪主要有数字类频谱分析仪和模拟类频谱分析仪。数字类频谱分析仪<sup>[4]</sup>主要采用数字采样技术, 先将信号通过数字采样技术转换为数字信号, 再利用快速傅里叶变换进行计算, 从而得到信号的频谱特性, 但由于采样率的限制, 它无法完成对高频信号的频谱分析。模拟类频谱分析仪<sup>[5-6]</sup>大都采用超外差扫描技术, 它不依靠数学变换进行分析, 而是利用硬件电路来实现信号分析, 其分析能力取决于元器件的

频率。本文为解决微弱信号分析以及现有频谱分析信号频率范围比较小的问题, 采用几种现代集成的元器件 AD9854 及 VCA821, 利用超外差式原理, 并结合高集成的数字合成器 DDS 与自动增益电路 AGC, 设计了一种简易的频谱分析仪, 并对其进行了实测。

### 1 系统的组成及工作原理

频谱分析仪设计主要由预处理模块、DDS 模块、程控放大模块、混频模块、滤波模块、电位抬升模块及 STM32 显示控制模块等组成, 系统硬件的设计框图如图 1 所示。

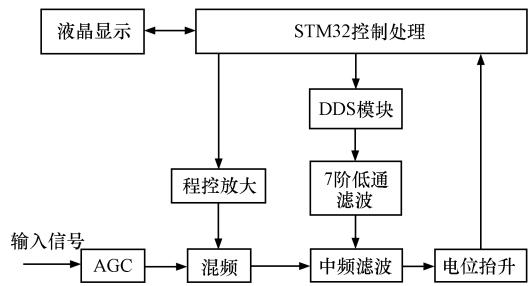


图 1 频谱分析仪硬件设计框图

本系统的工作原理为:由 STM32 处理器控制 DDS 模块产生一定步进频率的本振信号,本振信号经过低通滤波和程控放大后,与经过预处理模块处理后的被测信号通过混频器进行混频,产

生上混频信号和下混频信号;利用中频滤波器分离出下混频信号,再经过电位抬升将下混频信号送到 STM32 处理器进行 A/D 转换、存储和处理,由此通过信号的频率及幅度画出信号的频谱图,并在液晶屏上显示。

2 系统软硬件的设计

2.1 AGC 模块

自动增益控制电路 AGC 的目的是为了满足后续混频电路工作的需求,即通过对不同频率和不同幅度的输入信号进行预处理,使得信号的幅度大小保持在一个合理的范围内,其原理图<sup>[7]</sup>如图 2 所示。

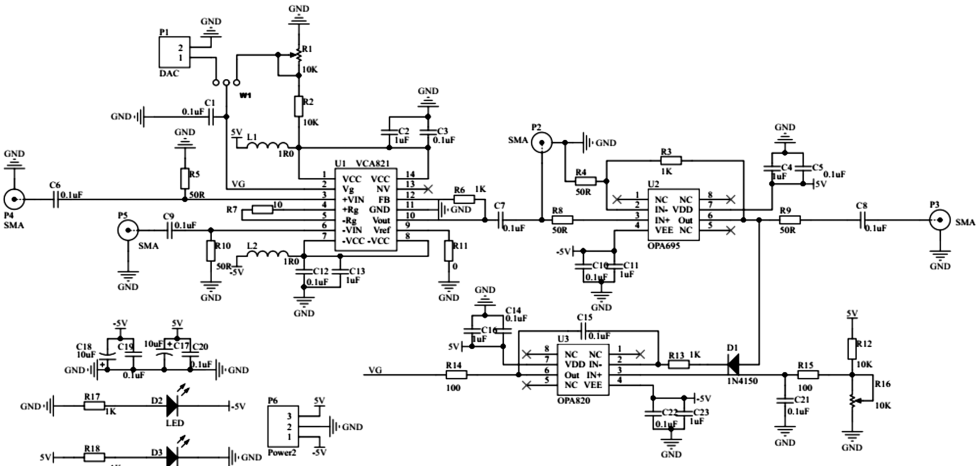


图 2 自动增益控制模块原理图

AGC 的工作原理为:通过压控放大器 VCA821 和高速放大器 OPA695 对输入信号进行两级放大,并利用 OPA820、二极管和 RC 将 OPA695 的输出信号反馈到压控放大器 VCA821,以此实现对其放大倍数的控制,使得输出信号的幅度基本相同.由于本系统中后续混频器的输入电压要求在 2 V 左右,所以通过自动增益电路,可以有效地将不同频率和不同幅度的输入信号幅度保持在 2 V 左右。

转换器,而且是电流输出型的,其输出电流的大小

2.2 DDS 扫频模块

DDS 模块用来产生本振频率(也称为扫频信号),其频率随时间变化而变化.扫频电路采用 AD9854 高集成的数字合成器(图 3),可产生高达 150 MHz 的信号频率.该合成器采用的是先进的 DDS 技术,片内通过数字编程产生两路高速 D/A

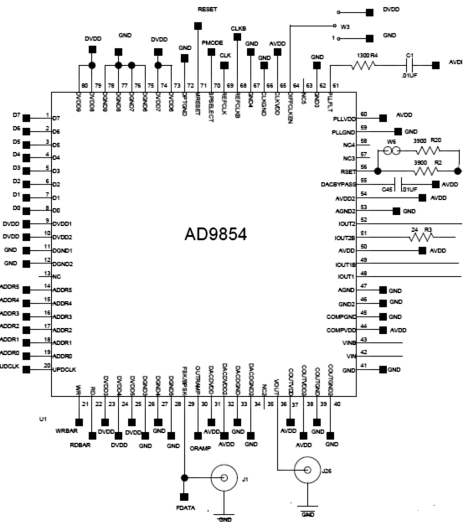


图 3 AD9854 高集成的数字合成器

可通过电阻  $R_2$  调节 ( $I_{out} = 39.9/R_2$ ). 本文中的  $R_2 = 2 \text{ kHz}$ , 输出电流为  $20 \text{ mA}$ , 因为输出电阻为  $50 \Omega$ , 所以输出电压为  $1000 \text{ mV}$ . 为了防止高频干扰, 在 AD9854 模块输出连接了 LC 无源低通滤波器. 本设计中扫频信号的范围为  $1 \sim 30 \text{ MHz}$ , 步进频率为  $10 \text{ kHz}$ . 为了保证本振信号幅度稳定且不失真, 尤其是高频的本振信号, 在 DDS 扫频模块之后增加了程控放大模块和 7 阶低通滤波器模块.

### 2.3 程控放大模块

为了使本振信号输出幅度能够保持稳定, 在系统中添加了 AD603 程控放大电路, 以使 DDS 模块的输出电压随着频率的变化而保持稳定, 如图 4 所示. 放大倍数根据 AD603 芯片引脚 1 和 2 间的电压差进行控制, 引脚 2 的电压由 TL431 提供, 引脚 1 的电压由 STM32 的 DA 端口通过程序来控制.

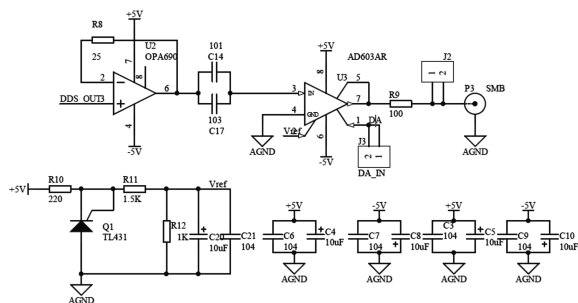


图 4 程控放大电路

### 2.4 混频器模块

混频的原理就是实现信号频谱的搬移过程, 当本振信号和输入信号通过混频器后会得到两者的差频信号及和频信号, 通常提取的是差频信号. 本电路模块采用 AD835AR 作为混频器, 如图 5 所示, 本振信号和输入信号分别接混频器的 X2 和 Y2 的通道, 输入阻抗和输出阻抗均为  $50 \Omega$ , 输入电压范围为  $-1 \sim +1 \text{ V}$ , 带宽为  $40 \text{ MHz}$ .

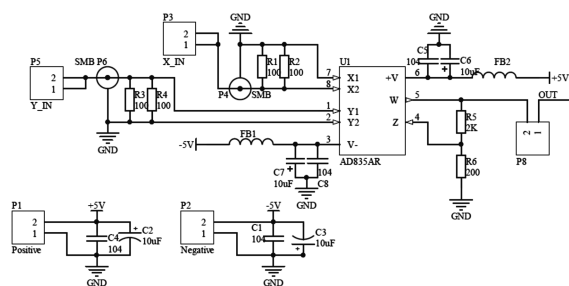


图 5 混频器电路

### 2.5 滤波器模块

本设计中的滤波器为四阶低通滤波器, 如图 6 所示, 截止频率为  $10 \text{ kHz}$ , 其目的是使输入信号的频谱搬移到低频区域, 以便于处理器的采集和显示. 滤波器模块采用的是有源滤波, 芯片为 OPA1612 高速运放芯片, 电路中的电阻值和电容值利用 TI 公司的 Filter Pro 滤波计算软件进行计算.

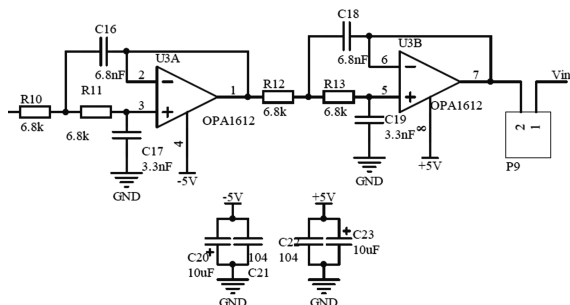


图 6 滤波器电路

### 2.6 电位抬升模块

通过滤波器电路获得的差频信号还要利用电位抬升将其控制在所需范围内, 以便于信号的处理. 电位抬升电路采用 OP07cs 芯片, 如图 7 所示. 电位抬升电路的工作原理为: 在同相端加直流电压, 通过分压计算可得约为  $1.6 \text{ V}$  的直流电压; 反馈端是反向比例放大电路, 放大倍数为 2 倍. 由此可知, 经电位抬升后即可满足 STM32 的内部 A/D 所需  $0 \sim 3.3 \text{ V}$  的电压范围.

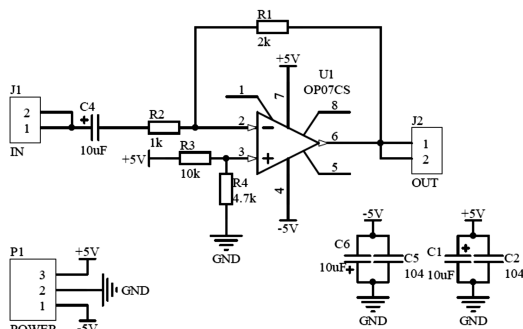


图 7 电位抬升电路

### 2.7 系统主程序设计

本文采用 STM32 作为系统的控制器, 其功能是: 首先, 初始化系统, 包括液晶初始化、AD 和 DA 初始化、按键初始化、AD9854 初始化、引脚初始化等等; 其次, 编程控制 AD9854 和程控放大电

路,使其产生幅度稳定且不失真的各种频率的本振信号,设定扫频范围为 1~30 MHz,步进频率为 10 kHz. 再次,设置按键用于控制频谱显示量程范围,宽度设定为 2 MHz;最后,利用编程实现差频信号的采集,并将采集到的信号以频谱形式显示在液晶屏上. 系统的主流程图如图 8 所示.

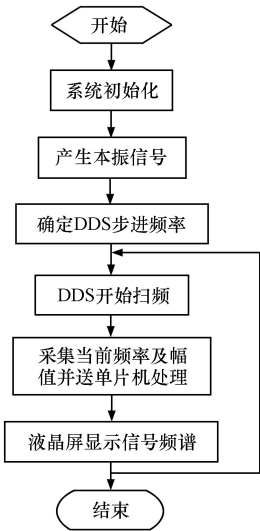


图 8 系统主程序流程图

3 测试及结果分析

为了验证本文设计的频谱仪的准确性,本文对幅度为 0.02~2 V、频率范围为 1~30 MHz 的正弦波信号进行测试,步进频率为 10 kHz.

1) 选取 1、5、10、20、30 MHz 5 个频率点进行测试,测量输入信号幅度为 0.5 V,其功率理论值为 0.97 dBm,并计算相对误差,测试结果如表 1 所示.

2) 选取频率为 10 MHz 的正弦波进行测试,其幅度分别为 0.02、0.05、0.1、0.5、1、2 V,其理论功率值分别为 -26.99、-19.03、-13.01、0.97、6.99、13.01 dBm,并计算相对误差,测试结果如表 2 所示.

由表 1 和表 2 可以看出:频率的测量精度都保持在 0.5% 范围内,说明精度较高. 幅度大于等于 100 mV 的信号,其所测的精度基本保持在 2% 左右,说明精度较高;而对于幅度小于 50 mV 的小信号,由于受干扰影响,其精度有所下降. 但总体来说,该频谱仪测量信号的频率范围和幅度范围较宽,而且其测量精度较高,具有较好的实用性.

表 1 动态频率的测量数据

输入频率/ MHz	频率测量		功率测量	
	测量值/MHz	误差/%	测量值/MHz	误差/%
1	1.00	0	0.96	1.0
5	4.99	0.2	0.95	2.1
10	10.00	0	0.96	1.0
20	20.06	0.3	0.98	1.0
30	29.88	0.4	0.99	2.1

表 2 动态幅度的测量数据

输入幅度/ V	频率测量		功率测量	
	测量值/MHz	误差/%	测量值/MHz	误差/%
0.02	9.97	0.3	-25.65	4.9
0.05	9.95	0.5	-19.56	2.8
0.1	10.04	0.4	-12.85	1.2
0.5	10.02	0.2	0.95	2.0
1	10	0	7.08	1.3
2	10	0	13.15	1.1

4 结论

本文将几种现代集成元器件与 DDS 与 AGC 电路结合,利用超外差式原理设计了一种简易的频谱分析仪,并对频率范围为 1~30 MHz、幅度为 0.02~2 V 信号的频谱进行了测量. 实测表明,该频谱分析仪测量精度较高,其测量频率范围和信号幅度范围较宽,而且方便快捷、成本低,具有较好的实用价值. 本文设计的频谱分析仪在要求分辨率较高时,分析时间较长,即不能做到实时,因此如何缩短分析时间将是下一步研究的内容.

参考文献:

[1] Ganderton R. Spectrum analysis today[J]. Electronics & Power, 1978,24(1):42-44.  
[2] 班万荣. 频谱分析仪的原理与发展[J]. 现代电子技术, 2005,28(7):130-132.  
[3] 魏凤英. 频谱分析仪的原理、维修以及发展趋势[J]. 电磁场与微波, 2006,63(7):39-41.  
[4] 刘轩,杜梦圆,陈适. 基于 FPGA 的频谱仪设计[J]. 计量与测试技术, 2010,37(12):27-29.  
[5] 卢炜. 基于外差法的简易频谱分析仪设计[J]. 湖南农机, 2012,39(7):37-38.  
[6] 梁龙学,杜水文. 基于分辨率可调的频谱分析仪设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2010,12(6):95-99.  
[7] 林俊武,饶连周,林东东. 基于 AGC 的等精度数字频率计设计[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2016,42(2):161-164.