

智能宽带信号检测系统^①

俞延江¹, 赵婷¹, 袁鑫¹, 王如刚^{1,2}, 赵力²

¹(盐城工学院 信息工程学院, 盐城 224051)

²(东南大学 信息科学与工程学院, 南京 210096)

摘要: 为了能够准确的测量信号的参数, 设计了一种宽带交直流信号检测系统, 该系统的控制芯片采用的是STC12C5A32S2 单片机. 首先, 信号采集电路采集到的信号经交直流测量电路进行处理; 然后, 通过分压和自动增益放大电路等处理后, 在频率和相位检测电路中测量信号的频率和相位; 最后, 在液晶显示器上显示待测信号的幅度、相位和频率等信息. 在实验中, 测量了频率为 0-20KHz 的不同幅度信号, 实验结果表明, 在低频情况下测量误差可以忽略, 在高频信号测量时的测量误差小于 1%.

关键词: 信号检测; 数字控制; 采样; 频率; 相位

Intelligent Wideband Signal Detection System

YU Yan-Jiang¹, ZHAO Ting¹, YUAN Xin¹, WANG Ru-Gang^{1,2}, ZHAO Li²

¹(School of Information Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

²(School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing, 210096, China)

Abstract: In order to accurately measure the parameters of the signal, a wideband AC and DC signal detection system is proposed, the STC12C5A32S2 microcontroller is used as control chip of the system. First, the signal is collected by the AC and DC and signal measurement circuit is processed and analyzed. Then, the signal will be processed by dividing and automatic gain amplification circuit, the frequency and phase of the signal is measured in the frequency and phase detection circuit. Finally, the amplitude, phase and frequency information of the signal is shown on the LCD. In the experiment, the signal with 0-20KHz frequency at different amplitudes is measured, the experimental results shows that the measurement error can be ignored in the low-frequency signal measurement, and in the high-frequency signal measurement error is less than 1%.

Key words: signal detection; digital control; sampling; frequency; phase

在电子技术中, 频率、相位和幅值是最重要和最基本的参数, 这些参量的测量与许多电参量的测量方案、测量结果有十分密切的关系, 因此信号的准确测量系统和方法在计算机、通讯、科研等各个领域显得非常重要. 同时, 在一些工程应用和科学研究中, 经常会遇到强信号掩盖有用信号的情况, 将会增加信号检测的难度. 为此, 研究人员做了大量的工作, 获得了一定的进展^[1-7]. 2014年, 孟浩玉等人提出了基于锁相放大原理的微弱信号信号检测系统设计, 系统采用

OPA124 作为前级运放, AD630 作为锁相放大器, 该系统的灵敏度为 4.51V/V, 精度大于 0.05%^[8]. 2015年, 陈松等人提出了一种数字控制的微弱信号的检测装置, 通过带通滤波、程控放大进行预处理后的信号在 AD630 中进行互相关检测处理, 实现了对 20mVpp 微弱信号的检测^[9]. 2015年, 毕晓君等人设计了基于自适应匹配追踪的窄带干扰检测, 在该检测方法中利用压缩感知的自适应匹配追踪窄带干扰信号检测算法, 实验表明该算法可以实现窄带干扰信号的精确检测^[10].

① 基金项目:江苏省产学研前瞻性项目(BY2015057-39);中国博士后科学基金(2015M571637);江苏省高校自然科学基金(14KJB510034);盐城工学院人才引进项目(KJC2013014)

收稿时间:2016-02-13;收到修改稿时间:2016-03-22 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005394]

从目前的报道中可以看出，目前的检测系统只能够单一的测量信号的强度、频率等信息。

为了同时检测未知信号的频率、相位和强度等信息，本文提出一种基于单片机的智能宽带信号检测系统，该检测系统的控制芯片采用宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1T)的微控制器 STC12C5A32S2，完成硬件电路的设计和软件程序控制，并进行系统的性能测试。

1 系统设计方案

智能宽带信号检测系统结构主要由单片机、液晶显示器、键盘输入、信号采集电路、交直流测量电路、自动增益电路、相位频率检测电路和分压电路等构成，其系统结构如图 1 所示。该系统的核心处理单元采用宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1T)的微控制器 STC12C5A32S2，该芯片是高速/低功耗/超强抗干扰的新一代 8051 单片机，指令代码完全兼容传统 8051，但速度快 8-12 倍，其内部集成 MAX810 专用复位电路，2 路 PWM 等模块。微控制器通过信号采集电路首先对被测信号初步判断，获得被测信号的幅值范围，其次，控制继电器选通相应的电路，完成自动分压功能，最后，经过自动增益电路将被测信号放大稳定到一定的幅值，放大稳定后的信号经过频率、相位检测电路后可以获得信号的频率值。通过参考信号发生电路可以产生一个频率可调及幅值一定的交流电压信号，通过按键调节信号发生电路的频率值，使其与被测交流电压信号的频率值保持一致，因此，可以获得两路信号的相位差。对于交流信号的有效值和直流电压值的测量，该系统采用有效值转化器和信号采集电路来完成，将分压后的信号同时输入到交直流测量电路和交流测量电路之中，获得被测信号的真有效值。被测信号的频率、相位、交流信号的有效值、直流信号的电压值都将通过液晶屏显示。

1.1 信号采集电路模块

为了实现宽带信号的采集功能，本系统利用可变增益放大器(VGA)，使用超低噪声可变增益放大芯片 AD8331 和 AD9215 模数转换芯片等器件，其电路设计如图 2 所示。AD8331 芯片是单通道、超低噪声、线性可变增益放大器(VGA)，工作频率最高达 120MHz。AD8331 与 AD9215 在频率范围和差分接口匹配方面非常兼容，AD8331 内置一个低噪声前置放大器，后接

一个差分衰减器和增益级。ADC的低噪声 3V 电源可由与 5V 电源相连的 LDO 提供，经过实验调试该电路可以较好的完成信号采集的功能。

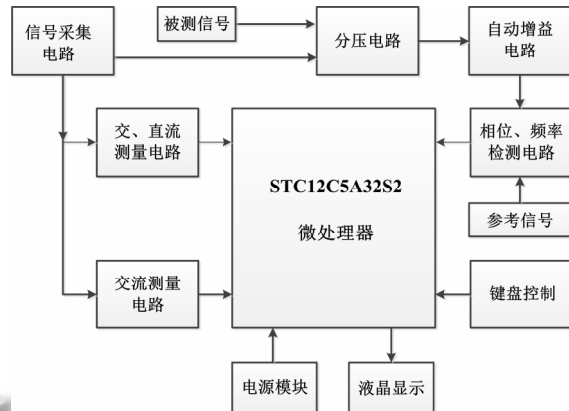


图 1 检测系统原理结构图

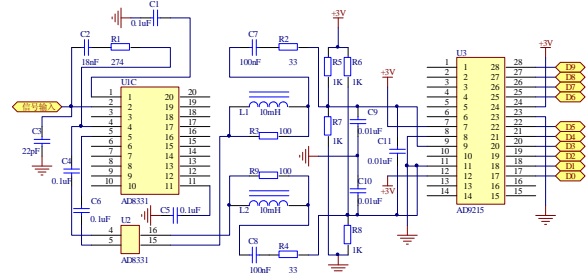


图 2 信号采集电路示意图

1.2 自动分压及幅度检测电路模块

为了检测幅值变化较大信号的相位和幅度，需要将该信号进行分压处理。在本模块中，通过电阻和继电器结合单片机来完成自动分压目的，其电路如图 3 所示。本模块电路中，将待测信号分成 20V 和 5V 两个档位。通过对被测信号的幅度进行预检测，确定其幅度范围，结合继电器的开关作用和单片机的控制，完成自动分压的功能。

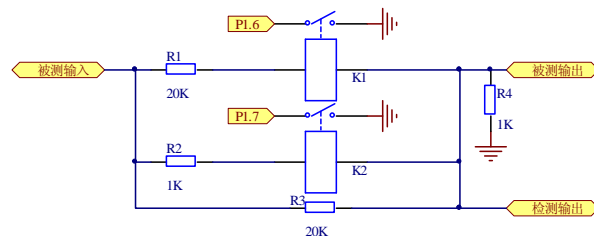


图 3 自动分压及幅度检测电路图

1.3 自动增益放大电路模块

由于输入信号的幅值是一个不确定的值，因此需

要设计自动增益放大电路来对微弱信号进行放大稳压处理,设计的自动增益放大电路如图 4 所示.在该电路中,首先通过 OPA690 进行前期的缓冲放大,使得后端放大电路能够检测到一定幅值的电压信号;再通过两级 AD603 进行自动调节放大,调节电位器使得电压幅值稳定到 3V,再通过电阻分压实现自动增益的目的.

1.4 频率相位检测电路模块

相位测量方法采用的是过零点检测方法,将相位测量变为时间测量,基准信号的过零时刻与被测信号的过零时刻进行比较,由二者之间的时间间隔与被测信号周期的比值推算出两信号之间的相位差和被测信号的频率值,其电路如图 5 所示.为了获得被测信号的相位,设计了参考信号和被测信号电路,参考信号电路如图 6 所示.该电路采用 DDS 直接数字频率合成技术,选用 AD9854 作为参考电路的主要元件,具有 300MHz 时钟速率,输出信号频率范围为 0~100MHz,在 AD9854 的输出后级加入了巴特沃斯滤波,可以得到更好的输出波形.被测信号和参考信号通过反相器电路整形为矩形波信号,通过鉴相器,得到相位差信号,构成了相位测量系统的测量电路.最后得到所要测量的相位差和频率值,并在液晶显示器上显示出测量结果.

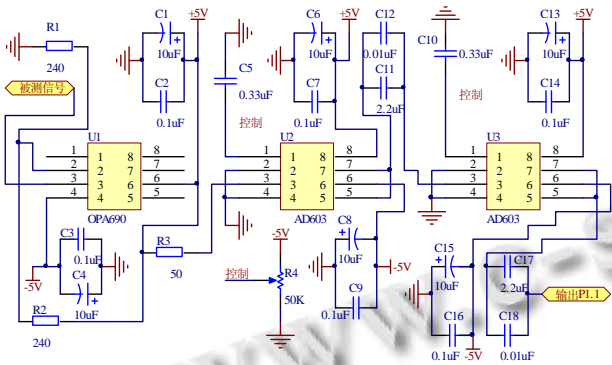


图 4 自动增益放大电路图

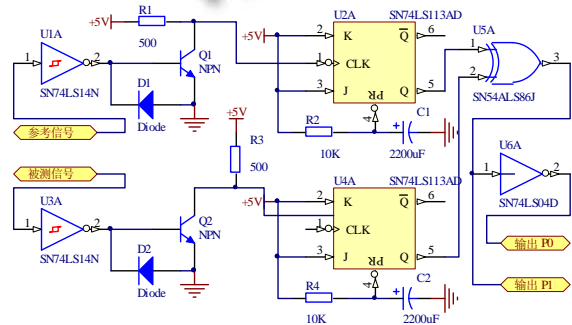


图 5 频率相位检测电路图

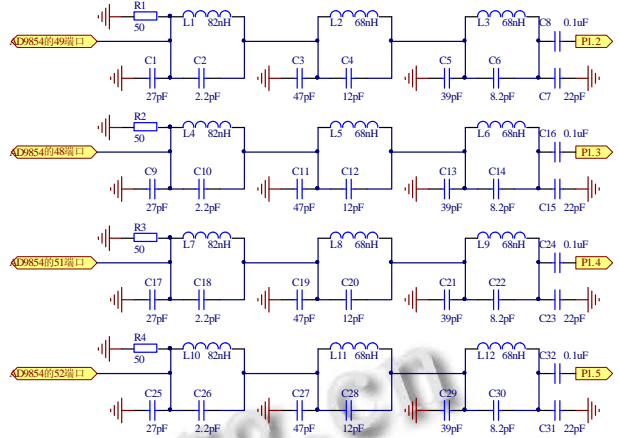


图 6 参考信号电路图

1.5 交直流检测电路

通过对交流输入信号的瞬时值进行均方运算来实现交直流电压信号的测量,其电路如图 7 所示.电路采用 AD637 单片真有效值/直流转换器来完成均方值的运算过程,通过软件处理使其转化成需要测量的幅值.为了减少纹波电压产生的交流误差,在电路中增加了电容 C6,但是,这样将造成系统稳定时间的增加,为解决这一矛盾,系统采用双极型滤波器,该滤波器由 C8、R2 和 R3 组成.电容 C2、C4 与 C3、C5 分别为正负电源的去耦电容和旁路电容,可以对电源的高频杂波起到很好的抑制作用,同时也可以保证输入电源的稳定.为了单独测量交流信号,在信号输入端加了隔离直流电容.

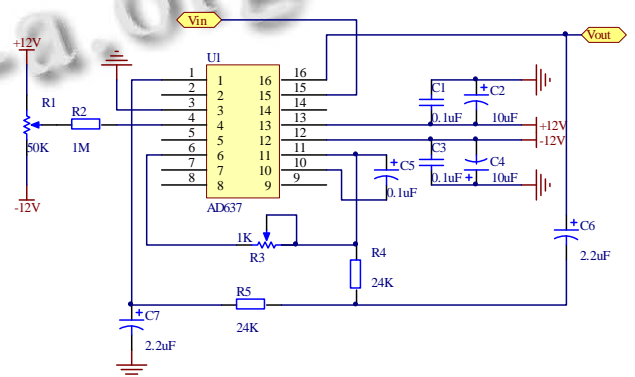


图 7 交直流测量电路图

1.6 系统软件设计方案

图 8 为软件设计总体运行流程图,包括驱动程序、数据采集与自动分压程序、数据分析的算法程序以及显示界面等设计.系统运行时,首先初始化底层定时

器、数据采集和液晶显示等模块。进入主程序后,首先判断被测交流信号的幅度大小,当幅度小于5V时,选通小量程电路,当幅度大于5V同时小于20V时,选通大量程电路,当幅度大于20V时,断开两路分压电路,蜂鸣器报警,并显示超出量程。当被测信号的幅值满足测量要求时,首先测量被测信号的频率值并显示,根据被测信号的频率值的大小,通过按键设置参考信号的频率值使其与被测信号的频率值保持一致。得到同频的两路信号后,通过软件数据处理算法,可以得到被测信号与参考信号的相位差。通过数据采集模块和程序算法处理可以分别得到交直流信号的有效值和交流信号的有效值,两者相减就可以得到直流信号的电压值并显示。

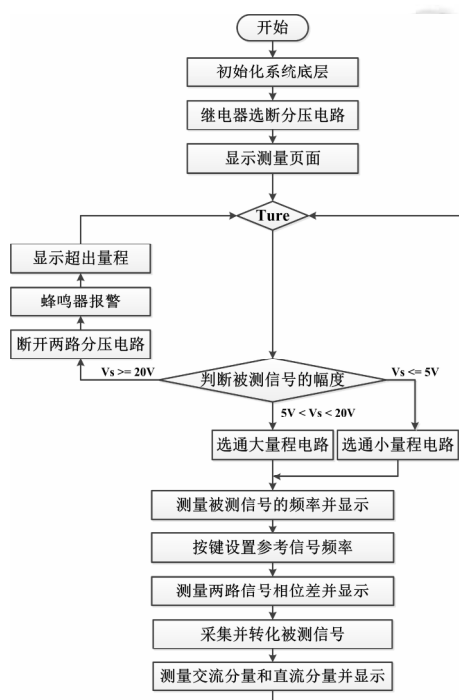


图9 软件流程图

2 实验结果与分析

为了测试系统的性能,首先对各个模块进行测试,以保证每个模块的技术指标符合设计要求。在自动分压及幅度检测电路测试中,其测试条件为输入信号的幅度范围为100mVpp~20Vpp,频率范围为20Hz~20KHz,确保可靠地工作。自动增益模块电路的测试条件为输入信号的幅度为50mVpp~5Vpp,频率范围为20Hz~20KHz,确保自动增益模块稳定工作在以上条件中。随后,对参考信号模块、频率相位检测电路

模块、交直流检测模块和单片机主控模块以及液晶显示屏模块进行单独测试。最后,将各个模块组合起来进行综合测试,对程序进一步的优化处理。系统优化后,测量了0Hz~20000Hz之间的6个频率值,输入幅值在100mVpp~20Vpp之间的信号,不同幅值情况下不同频率信号的测量结果如表1所示。从表中我们可以看出,对于低频信号的频率值,可以无误差的测量,对于高频信号,测量的最大误差约为0.01%。在频率为20Hz~20KHz,测量了信号的相位性能,测试的结果如表2所示。从测试结果我们可以看出,在低频范围内,测试数据是准确无误的,在高频范围内,由于频率的测量带来的误差,相位差的测试结果出现了一些误差,但误差约为1%。

表1 不同幅值频率测量结果

频率/Hz	输入幅值/V	测量频率/Hz	误差/%
20	0.1	20	0
	5	20	0
	20	20	0
1000	0.1	1000	0
	5	1000	0
	20	1000	0
20000	0.1	20003	0.015
	5	20001	0.005
	20	20002	0.01

表2 不同频率相位测量结果

频率/Hz	相位差/°	测量相位差/°	误差/%
20	5	5	0
	100	100	0
	350	350	0
1000	5	5	0
	100	100	0
	350	350	0
20000	5	5	0
	100	101	1
	350	352	0.57

当输入信号频率范围为20Hz~20KHz,输入幅值范围为100mVpp~20Vpp的条件下,测量交流信号的峰峰值如表3所示。从测试数据我们可以发现,对于交流分量的测试,测试数据非常准确,没有误差的产生。当输入信号的电压范围为100mV~5V,频率范围为20Hz~20KHz,测量的直流信号幅值如表4所示。从测试数据可以看出,对于直流分量的测量,输入信号频率的变化对信号的测量并没有影响。

表3 不同频率交流分量测量结果

输入频率/Hz	输入幅值/V	测量幅值/V	误差/%
20	0.1	0.1	0
	5	5	0
	20	20	0
1000	0.1	0.1	0
	5	5	0
	20	20	0
20000	0.1	0.1	0
	5	5	0
	20	20	0

表4 不同频率直流分量测量结果

输入频率/Hz	输入电压/V	测量电压/V	误差/%
20	0.1	0.1	0
	1	1	0
	5	5	0
1000	0.1	0.1	0
	1	1	0
	5	5	0
20000	0.1	0.1	0
	1	1	0
	5	5	0

4 结论

为了能够准确的测量信号的参数,提出并实验验证了一种宽带交直流信号检测系统,该系统由单片机、液晶显示器、键盘输入、信号采集电路、交直流测量电路、自动增益电路、相位频率检测电路和分压电路等构成,该系统的控制芯片采用的是STC12C5A32S2单片机。首先,信号采集电路采集到的信号经交直流测量电路分析,然后,通过分压和自

动增益放大电路等处理,信号在频率和相位检测电路中测量其频率和相位,最后,在液晶显示器上显示待测信号的幅度、相位和频率等信息。在实验中,测量了频率 0-20KHz 不同幅度的信号,实验结果表明,在低频情况下测量误差可以忽略,在高频信号测量时的测量误差小于 1%。实验结果表明该系统可以自动实现未知信号的频率、相位和强度等参数的准确测量。

参考文献

- 1 杨汉祥.微弱信号检测技术的研究.科技广场,2009,1: 27-30.
- 2 赵吉祥,陈超婵,王欢,陆福敏,桑昱.微弱电信号检测方法回顾.中国计量学报,2009,20(3):202-208.
- 3 王阳,徐加欢,陈军宁,刘高平.集成微电容式传感器检测电路设计与研究.电子器件,2013,36(2):230-234.
- 4 孙诚.基于 MATLAB 的微弱信号检测方法仿真分析.水雷战与舰船防护,2015,23(1): 47-51.
- 5 饶正婵,蒲天银.大型云计算网络下的疑似危险信号检测系统的设计与研发.现代电子技术,2015,38(22):105-107.
- 6 张庆彬,董文雷,马伯元,贺媛媛.基于分布估计算法的单路口交通信号控制.计算机系统应用,2015,24(12):182-185.
- 7 吴建宁,徐海东.用 EMD 和小波消噪的加速度信号压缩重构新方法.计算机系统应用,2015,24(11):99-106.
- 8 孟浩玉,王彦,汪诚伟,等.基于锁相放大原理的微弱光信号检测系统设计.光学与光电技术,2014,12(6):88-91.
- 9 陈松,荣军.一种简易数字控制微弱信号检测装置的设计.电子器件,2015,38(5):1098-1104.
- 10 毕晓君,夏晓蕾.基于自适应匹配追踪的 MIMO-OFDM 窄带干扰检测.哈尔滨工程大学学报,2015,36(9):1287.