

FPGA 与单片机在 RLC 测量系统设计中的应用

李 林 王心刚

(中国石油大学(华东) 信息与控制工程学院, 山东 东营 257061)

摘 要 提供了一种采用 FPGA 和单片机实现自动测量 RLC 参数的测量系统。系统以 C8051F020 MCU 单片机作为系统控制器, 利用直接数字频率合成(DDFS)技术使用 FPGA 来产生测试用正弦波, 利用电抗元件串联分压原理, 实现对电阻、电容、电感的精确测量。本测量系统结构简单, 并进行了抗干扰设计, 使其具有较好的抗干扰能力, 保证系统可靠工作。

关键词 C8051F020 FPGA DDS 电阻电容电感测量

中图分类号 TP311

文献标识码 A

文章编号 1000-3932(2011)03-0301-03

为了方便用户准确掌握手中 RLC(电阻电容电感)的各项参数, 笔者提供了一种采用 FPGA 和 MCU 的测量系统, 可自动测量 RLC 的多项基本参数, 系统以液晶屏显示测量结果, 并可根据需要打印测量的结果, 与现有的昂贵测试仪相比, 该测量系统功能精简、操作智能化、人机接口友好。

1 方案设计与论证

为了满足高校实验室教学需要, 设计一个低成本 RLC 电参数测量系统, 本系统采用基于 C8051F020 单片机的可编程控制系统方案, 单片机生成各种波形的数据表传输给 FPGA, 使用 DDFS 技术使 FPGA 生成所需要的波形并进行输出, 通过 DA 转换模块, 将数字信号转换成模拟信号, 通过程控放大器 AD603, 由单片机控制 AD603 进行增益的调整, 再经过 NE5532 构成的调理电路对其进行电压放大^[1,2]。产生高精度的正弦波信号流经待测的电阻、电容或者电感和标准电阻的串连电路, 通过测量电容或者电感和标准电阻各自的电压, 利用电压比例计算的方法推算出电容值或者电感值, 利用 C8051F020 单片机控制测量和计算结果, 运用自校准电路提高测量精度, 采用液晶模块实时显示数值。系统总体组成框图如图 1 所示。

1.1 DDS 简介

直接数字频率合成(DDS)技术是通过累加相位来合成所需波形的频率合成技术。利用 DDS 设计的波形发生器具有精度高、稳定性好、频率和波形易于控制等优点^[3]。DDS 主要由参考时钟、相位累加器、波形存储器、数模转换器和滤波器组成, 近年来在频率合成、通信、仪器测量领域均有

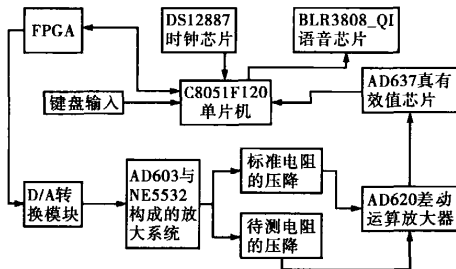


图 1 系统总框图

广泛地应用。

1.2 信号产生模块

要求设计的正弦波信号发生器的频率范围较宽, 其频率范围是 1Hz ~ 1MHz, 且可以对频率进行设置, 还有频率步进调节的功能, 一般传统的 LC 谐振回路或无源 RC 结合运放的方式很难达到这一要求, 所以我们提出利用 DDS 原理使用 FPGA 实现的解决方案。用 FPGA 实现波形信号的输出, 只需要在 FPGA 内部建立一个波形数据表, 然后在时钟的驱动下, 读取数据表中的数据, 经过高速 DA 的转化, 即可得出需要的波形。要输出不同的波形, 改变波形数据表中的内容即可实现。若要实现频率的设置和步进, 只需要给 FPGA 相应的数据关键字即可^[4,5]。采用 FPGA 中 DDFS 技术, 对于不同波形, 可建立不同存储表即可输出相应的波形, 也可由外部输入波形表来完成任意波形的输出。频率范围高、精度高, 方便

收稿日期: 20011-01-18(修改稿)

基金项目: 山东省自然科学基金项目资助(ZR2009FL027)

与其它设备接口。FPGA 中实现波形输出原理图如图 2 所示。

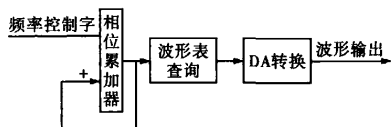


图 2 FPGA 中实现波形输出原理框图

1.3 控制器方案选择^[6]

C8051F020 是集模拟和数字信号为一体的混合信号系统级高速单片机,他采用贴片封装,体积小、运算速度快。具有与 MCS-51 指令集完全兼容的 CIP-51 内核,具有所有 8052 外设器件,采用流水线指令结构,除此之外,C8051F020 单片机具有丰富的 I/O,具有高达 20 个中断源,而且具有丰富的外设:UART、SPI、ADC、定时器等。该单片机具有高达 128k 的 FLASH 和 8k + 256 的 RAM,无需外部扩展便可实现高速度运算和掉电存储,并具有 JTAG 接口,便于在线调试,非常适合于各种工业控制和仪表的使用。

1.4 信号调理模块

增益可调的 AD603 的放大倍数可以通过单片机调节,由微控制器来判断当前信号幅度的大小,经过一定的运算处理后给出一一对应的数字量控制信号,然后经过 DA 转换输出一个对应的模拟量来控制放大电路的增益,可以输出电压的连续变化。NE5532 可实现固定放大倍数放大^[4,5]。AD603 通过软件控制输出,使之输出电压连续变化通过调节反馈电位器可实现输出幅度不小于 5V,信号调理电路如图 3 所示。

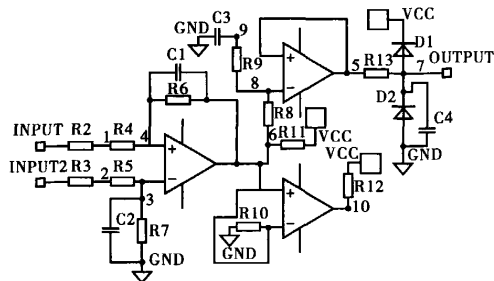


图 3 信号调理电路

1.5 时间模块

利用 DS12887 作为时钟显示模块。DS12887 自带晶体振荡器和电池,连接方便。通过修改其

内部控制寄存器可以方便的加以控制^[6]。DS12887 内部自带 114 字节通用 RAM,因此可以通过它实现掉电存储功能。

2 理论分析与计算^[7]

电阻高精度测量最好的方法之一是采用与标准电阻相比较的方法。原理是在待测电阻 R_x 与标准电阻 R_1 的串联电路中加入电流 I ,再根据 R_x 与 R_1 上得到的电压降 V_x 与标准电阻上的压降 V_1 ,则测量电阻为:

$$R_x = R_1 (V_x / V_1)$$

本设计方案中采用与测电阻相同的方法来测量电容与电感。由于电容和电感属于电抗元件,因此不能采用直流来产生测量信号,而只能采用交流信号,在角频率为 ω 的交流信号的作用下,电容与电感获得的电压分别为:

$$\dot{U}_{C_x} = \frac{I}{j\omega C_x} \quad \dot{U}_{L_x} = j\omega L_x$$

式中 C_x 和 L_x ——待测电容和待测电感。

为提高测量精度降低成本,本设计采用了标准电阻,将待测器件与标准电阻串联后,标准电阻获得的电压为:

$$\dot{U}_{R_1} = I R_1$$

根据电压比例法,经过计算可得:

$$C_x = \frac{U_{R_1}}{\omega R_1 U_{C_x}} \quad L_x = \frac{R_1 U_{L_x}}{\omega U_{R_1}}$$

式中 $U_{R_1}, U_{C_x}, U_{L_x}$ —— $\dot{U}_{R_1}, \dot{U}_{C_x}, \dot{U}_{L_x}$ 的模值。

3 程序设计

3.1 软件实现方法

本测量系统软件部分有以下几个模块:键盘控制模块、显示模块、计算及量程控制模块、数据存储模块、时钟模块、频率控制模块、打印与语音播报控制模块。软件控制由 C8051F020 单片机实现。单片机完成对 FPGA、AD603、NE5532 的控制和人机交互。波形数据和频率控制字 K 由串口写入 FPGA,增益控制由单片机的 DA 接口输出到 AD603 的控制端,电压输出控制由单片机输出控制数字电位器来控制 NE5532 的输出。

3.2 单片机软件设计流程图

单片机担任着整个系统的控制任务,不仅要控制 FPGA 产生固定频率的波形,还要控制 AD603 的增益,对于电压放大模块中,要对数字电位器进行控制,反馈中的结果还要输入到 FPGA 中进行处理。单片机软件流程如图 4 所示。

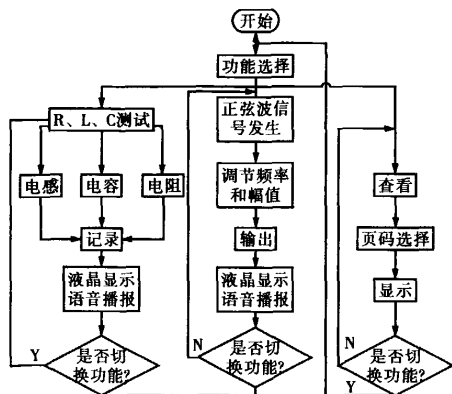


图4 程序总流程图

4 系统测试

硬件系统测试:焊接硬件电路后,分模块进行测试,每个模块焊接完成后,测试通断,判断电路是否存在短路、虚焊,硬件部分全部焊接完毕后,采用自制电源给硬件电路供电,通过测量 AD637 输出,计算出待测元件的参数,对比 LCR 数字电桥测量值进行硬件电路的优化。

软件系统测试:采用自下而上调试的方法,先对每个编程模块进行测试,最后组合每个模块的功能进行软件部分整体测试。

整体功能测试:通过加被测元件,通过按键实现被测元件信息的输入,对比液晶显示和 LCR 数字电桥 WY2812A 测量值观察效果。并检查语音功能与液晶显示的一致性。结果见表 1~表 3。

表1 电容检测

真实值	测量值	精度
10 μ F	10.010 μ F	0.001 00
4.7 μ F	4.685 μ F	0.031 91
100nF	101.200nF	0.012 00
100pF	105.100pF	0.051 00

表2 电感检测

真实值	测量值	精度
100mH	97.91mH	0.020 9
10mH	10.21mH	0.021 0
1mH	0.960 4mH	0.039 6
10 μ H	10.31 μ H	0.031 0

表3 电阻检测

真实值	测量值	精度
100 Ω	99.92 Ω	0.000 8
1000 Ω	998.20 Ω	0.001 8
100k Ω	101.10k Ω	0.011 0
1 000k Ω	974.30k Ω	0.025 7

5 结束语

笔者设计并实现了一种基于 FPGA 与单片机的电参数测量系统,给出了主要硬件功能电路和控制软件的设计过程,制作了实验样机并对实验样机进行了测试。系统产生最高频率可达 1 MHz,且步进可以设定为 1 Hz 和 10 Hz 的正弦波。实验结果表明该测量系统具有价格低廉、效率高、适应性强、可靠性好等优点,可以用作实验室中低成本电参数测量系统。

参考文献

- [1] 董秀洁,杨艳,周游. FPGA/CPLD 选型与设计优化[J]. 化工自动化及仪表, 2009, 36(3): 60~63.
- [2] 黄志文,邵平,扈晓兰. 基于 FPGA 的 PXI 高速数据采集系统设计[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(5): 60~63.
- [3] 程素娥. 基于 FPGA 的智能压力传感器系统[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(8): 53~55.
- [4] 郝小江,黄昆. 基于 FPGA 的调制信号设计[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(6): 46~48.
- [5] 章磊. 基于 DDS 波形发生器的设计与实现[J]. 湖北师范学院学报, 2007, 16(1): 34~37.
- [6] 鲍可进. C8051F 单片机原理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 46~78.
- [7] 刘润华,李震梅. 模拟电子技术基础[M]. 山东: 中国石油大学出版社, 2007: 101~120.

FPGA and MCU Application in RLC Measurement System Design

LI Lin, WANG Xin-gang

(College of Information and Control Engineering,

China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: A FPGA and MCU-based measurement system for RLC parameter was presented. The system employs the FPGA to generate sine wave, and bases on the circuit reactance components series partial pressure principle to measure resistor, capacitor and inductor, and can display and print measurement results as requested. The simple structure and anti-interference design enhance its reliability in operation.

Key words: C8051F020; FPGA; DDS; resistance capacitance measurement