

基于 CR302A 电容触控式自动电阻测量装置研究^{*}

苏宏锋

(四川交通职业技术学院 成都 611130)

摘 要: 针对目前电阻测量仪器采用机械旋转换挡,不支持自动换挡测量与电阻筛选的问题,研制了一种电容触控式自动电阻测量装置。装置以 STC12C5A60S2 单片机为主控平台,采用 GM3400 NMOS 场效应管与标准精密电阻组成挡位切换电路,CR302A 电容触摸电路用于系统工作模式与测量参数的设置,LCD12864 液晶屏显示电阻测量与电阻筛选结果。为了提高电阻测量精度,提出一种 ADC 软件补偿算法。试验结果表明,该装置实现了 0~10 M Ω 范围的电阻自动换挡测量与电阻筛选,电阻测量误差小于 0.41%,电阻筛选功能稳定,准确性高。

关键词: 电阻测量;自动换挡;电容触控式;电阻筛选;NMOS 场效应管;ADC 软件补偿算法

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Research on CR302A capacitive touch automatic resistance
measuring device

Su Hongfeng

(Sichuan Vocational and Technical College of Communications, Chengdu 611130, China)

Abstract: The current resistance measurement devices use mechanical rotary shifting. It does not support automatic shift measurement and resistance screening functions. The paper develops a capacitive touch automatic resistance measurement device. The device is based on STC12C5A60S2 single-chip microcomputer as the main control platform. It uses GM3400 NMOS field effect tube and standard precision resistance to form a gear switching circuit. CR302A capacitive touch control circuit realizes the setting of system working mode and measurement parameters. LCD12864 screen displays resistance measurement and resistance screening result. In order to improve the accuracy of resistance measurement, an ADC software compensation algorithm is proposed. The test results show that the device realizes the resistance automatic shift measurement and resistance screening function in the range of 0~10 M Ω . The error rate is less than 0.41%. The resistance screening function is stable, and the accuracy is high.

Keywords: resistance measurement; automatic switch; capacitive touch; resistance screening; NMOS field effect; ADC software compensation algorithm

0 引 言

电子测量是指对各种电参量和电性能的测量,是人类获取被测对象定量信息的过程^[1]。电阻测量装置是一种测量物体导电性能的仪器,广泛应用于电力部门、高校军事等企事业单位。近年来,国内学者对电阻测量装置做了相关研究,文献[2]提出了一种直流恒流源电阻测量方法,目的是实现高精度小电阻的测量。该方法主要通过恒流源向电阻提供稳定的工作电流,采用可调电阻与待测电阻串联分压实现测量功能,测量精度高,但测量电路复杂,可测量的电阻范围小。文献[3]引入电压传感器改进惠斯通电桥,目

的是实现惠斯通电桥动态、非极值自动测量待测电阻。该方法测量响应速度快且精准,但测试前需要调节仪器灵敏度,对测量人员操作要求较高。文献[4]采用四线制的电阻自动测量方法,该方法需要连接数字多用表与信息切换模块,测试过程复杂。文献[5]采用频率转换法测量电阻,通过建立振荡电路将被测电阻信号转化为频率信号,振荡电路易受外界信号影响,且利用继电器实现测量档位切换噪声大。文献[6]提出一种惠斯登电桥非线性误差修正方法,目的是满足宽量程、高精度电阻的测量。该方法使用两级惠斯登电桥分别进行阻值粗调与细调,实现量程判断与阻值测量,电路结构复杂,电阻测量响应速度受限。文献[7]

收稿日期:2020-12-16

^{*} 基金项目:四川交通职业技术学院科技教育发展基金项目(2020-XY-KJ-05)资助

提出一种电阻在线测试与远程监测系统,采用多路继电器换挡自动测量,RS485 总线传输电阻测量数据。

综上,目前电阻测量装置在电阻测量方法上,大部分采用恒流源、惠斯登电桥与频率转换法,需要额外增加恒流源、传感器等模块,电路结构复杂,测量操作麻烦。在换挡测量方面,主要采用传统手动或电磁继电器进行换挡,换挡噪音大、易损坏、使用寿命短,部分测量装置采用物理按键进行人机交互,缺少电阻自动筛选功能,功能单一。本文采用电容式触摸控制技术、NMOS 电子开关管技术与 ADC 软件补偿算法,设计一种触控式电阻测量装置,该装置不仅实现了 0~10 MΩ 范围的电阻自动换挡测量,而且在传统电阻测量装置基础上引入电阻筛选与触控式输入功能,整体电路简单,测量装置使用方便,对未来触摸式电子测量仪器的研究具有重要现实意义。

1 系统总体架构

CR302A 电容触控式自动电阻测量装置由主控模块、测量挡位切换电路、触控输入电路、LCD 显示模块与电阻筛选警示电路 5 部分组成。主控模块采用 STC12C5A60S2 单片机^[8]作为核心控制芯片,触控输入电路用于“电阻测量”与“电阻筛选”两种工作模式选择与参数设置,电阻自动测量由测量挡位切换电路完成。电阻筛选是指用户通过输入模块设置筛选电阻值和允许误差值,从批量电阻中筛选出满足要求的电阻。当系统工作在“电阻测量”模式时,接口 T1、T2 连接待测电阻后,单片机内置 A/D 转换器采样待测电阻两端电压,单片机程序按照串联电阻分压原理计算待测电阻,并与标准电阻的阻值进行大小比较,自动切换电阻测量挡位;当系统工作在“电阻筛选”模式时,触摸输入预筛选的电阻值与精度,将接口 T1、T2 连接待测电阻引线两端,若电阻筛选警示电路报警,则电阻筛选成功,被测电阻满足筛选精度要求。LCD 显示模块用于电阻测量结果与电阻筛选参数信息的显示。系统总体架构如图 1 所示。

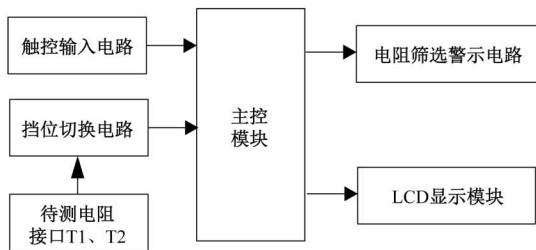


图 1 系统总体架构

2 硬件电路设计

2.1 电阻测量换挡电路

电阻测量换挡电路采用 GM3400 NMOS 场效应管与标准精密电阻^[9]组成,如图 2 所示。待测电阻 R_x 引脚的一端与 +5 V 直流电源连接,另一端与标准精密电阻 R_1 、 R_2 、

R_3 与 R_4 连接。采用 U_R 表示标准精密电阻两端电压,根据串联电阻分压的原理,待测电阻 R_x 的计算式如式(1)所示,其中标准电阻 R 的取值根据实际测量挡位自动选择 100 Ω、1 kΩ、10 kΩ 与 10 MΩ 阻值。

$$R_x = \frac{5 - U_R}{U_R} R \quad (1)$$

标准电阻两端的电压值 U_R 通过 ADC 转换器转换为数字量送给单片机处理,单片机通过程序轮询将 NMOS 场效应管的栅极置高电平“1”,如果待测电阻 R_x 阻值小于等于标准电阻 R 的阻值,系统自动切换到该测量挡位,否则继续轮询查找待测电阻所属挡位。

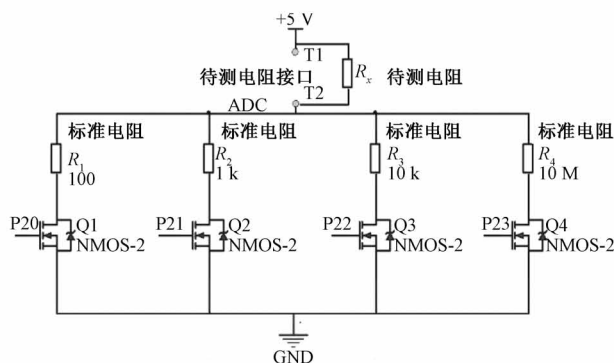


图 2 电阻测量换挡电路

2.2 触控输入电路设计

本文设计的触控输入电路由一款 8 位高性能精简指令集的 CR302A 触控芯片与触摸按键电路组成。采用 HOTEK 电容式触摸技术^[10-11],当 CR302A 振荡器外部的等效电容 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 发生变化,振荡器的输出频率就会随之改变,经过滤波处理后再与时间计数器同步计数,配合译码器做多通道的扫描,就可以判断按键是否被按下。触控输入电路如图 3 所示,触控按键 K1、K2、K3 与 K4 分别用于电阻测量与电阻筛选两种工作模式选择、控制屏幕光标移动、电阻筛选参数输入与功能扩展。

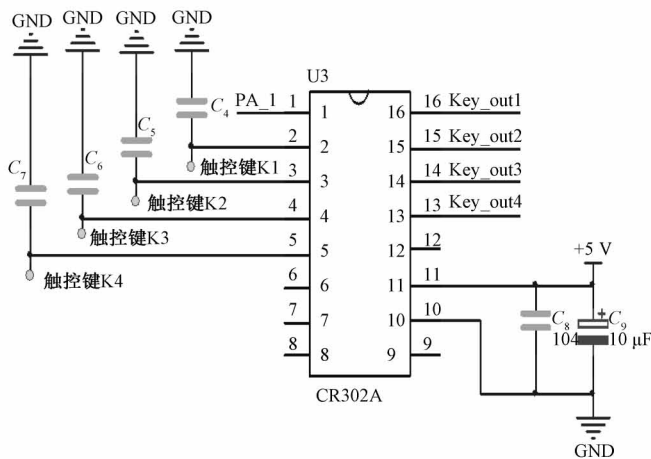


图 3 触控按键输入电路

2.3 LCD 显示与电阻筛选警示电路

为了使电阻测量与电阻筛选结果达到良好的显示效果,本文采用 STC12C5A60S2 单片机作为控制芯片,大尺寸 LCD12864 作为测量装置的显示器件。STC12C5A60S2 单片机是一款 STC 增强型 51 单片机,有 1 280 Byte SRAM,62 KByte 片内 Flash 存储器,内部集成 8 通道 10 位 AD 转换器,双串行口,指令处理速度是传统 STC89C51 单片机的 8~12 倍,具有丰富的 I/O 端口、定时器和 PWM 通道资源,非常适合测控系统。12864 液晶屏^[12]具有 128×64 个像素点阵,内置 8 192 个 16×16 点汉字,该液晶屏的接口灵活简单,人机交互界面友好。本文测量装置设计电阻筛选警示电路目的是利用声音报警提示电阻筛选结果。采用 8050 型三极管驱动蜂鸣器^[13],三极管基极通过 1 K 偏置电阻 R_{10} 连接主控芯片 STC12C5A60S2 的 I/O 端口,当电阻筛选成功,通过程序控制蜂鸣器发声报警。LCD 显示与电阻筛选警示电路如图 4 所示。

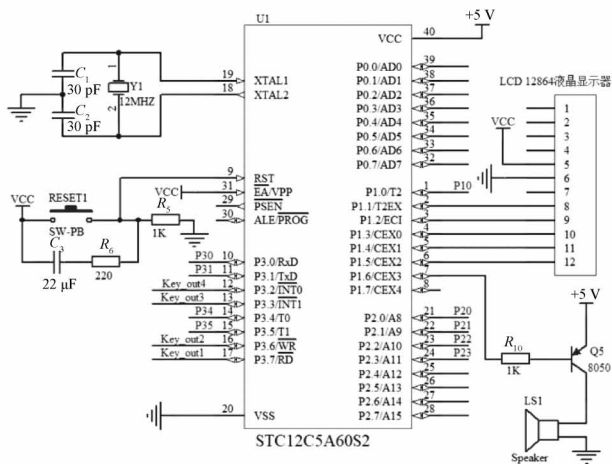


图 4 LCD 显示与电阻筛选警示电路

3 系统软件设计

本装置的软件设计实现触控按键输入控制、测量挡位自动切换、阻值测量、LCD 结果显示、电阻筛选警示 5 个功能。程序设计包括主程序、触控按键中断子程序、测量挡位自动切换子程序、A/D 转换子程序、LCD 测量显示子程序以及电阻筛选警示子程序。系统进入主程序首先进行定时器与 A/D 转换初始化操作,然后开启触控按键中断^[14],再进入主循环调用相应子程序实现具体功能。触控按键 K1、K2、K3 中断子程序分别实现阻值测量与阻值筛选模式选择、屏幕光标移动、预筛选电阻参数输入(包含预筛选的电阻值与精度值);A/D 转换子程序将采集到的待测电阻电压值进行转换,获取被测电阻 R_x 的阻值,测量挡位自动切换子程序计算待测电阻 R_x 的阻值,并与标准电阻 R 进行阻值大小比较,确定测量挡位;LCD 测量显示子程序显示被测电阻阻值与筛选结果,如果筛选出满足条件的电阻,电阻筛选警示子程序控制电路报警提示。系统主程序设计流程

如图 5 所示。

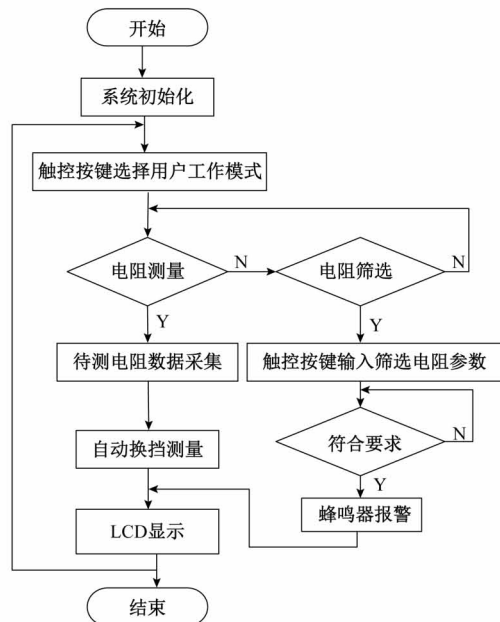


图 5 主程序设计流程

4 系统调试与实验结果

4.1 调试过程

触控式自动电阻测量装置实物如图 6 所示,检查测量装置各个模块是否正常,再连接各部分电路,接通电源,测量装置进入开机界面。触摸工作模式选择按键 K1,选择“电阻测量”模式,T1、T2 接口连接待测电阻,LCD12864 显示屏显示当前测量挡位与电阻测量结果,若被测电阻超过最大测量值 10 MΩ,LCD 屏显示“阻值超量程!”。若选择“电阻筛选”模式,通过触摸 K2 按键移动 LCD 屏的光标位置,触摸 K3 按键输入要筛选的电阻值大小与允许筛选误差值,接口 T1、T2 连接待筛选的电阻引线,若被测电阻满足筛选条件,电阻筛选警示电路报警,同时 LCD 屏上显示“电阻筛选成功!”与已筛选的电阻结果信息。



图 6 触控式自动电阻测量装置实物

4.2 实验结果

随机选择一批不同阻值的电阻,电阻引线分别连接测

试装置 T1、T2 接口的探针,进行多次测量与筛选功能实验,阻值误差与筛选误差分别按式(2)与(3)计算,本次测试程序未加 ADC 软件补偿算法,测量结果如表 1 所示。

$$\text{阻值误差 } E1 = \frac{\text{电阻标称值} - \text{实际测量值}}{\text{电阻标称值}} \times 100\%$$

(2)

$$\text{筛选误差 } E2 = \frac{\text{预筛选电阻值} - \text{实际测量值}}{\text{预筛选电阻值}} \times 100\%$$

(3)

表 1 测量结果显示,加 ADC 补偿算法前,由于电阻测量值受 AD 芯片采样精度的影响,测量装置的电阻测量误差 $E1 \leq 0.62\%$,在设定电阻筛选误差 $E2 \leq 1.0\%$ 的范围

表 1 电阻测试实验结果(加 ADC 补偿算法前)

标称值/ Ω	38.1	158.8	745	908	5.69 k	3.6 k	7.35 k	9.93 M	5.42 M	2.98 M
测量值/ Ω	38.3	159	741	903	5.70 k	3.61 k	7.32 k	10 M	5.38 M	2.95 M
阻值误差 $E1/\%$	0.52	0.13	0.54	0.55	0.18	0.28	0.40	0.52	0.58	0.62
筛选误差 $E2/\%$	0.8	1.2	1.5	1.1	1.5	2.0	1.0	1.4	2.3	1.6
筛选结果	X	X	正常	X	正常	正常	X	正常	正常	正常

备注:表 1 中“X”表示电阻筛选失败。

时,电阻筛选功能表现不稳定,筛选正确率为 60%。为了提高电阻测量精度和筛选功能的稳定性,本装置通过多次测量试验,获取被测电阻两端电压的 ADC 采样值 x 与测量输出电阻补偿值 y 的函数曲线,如图 7 所示。为更贴近电阻真实值,建立被测电阻及其两端电压的 ADC 二元一次方程模型,ADC 补偿算法如式(4)所示,生成图 7 所示虚线图来拟合折线图,补偿修正电阻测量值,减少测量误差,获得更准确的电阻测量值。

$$y = 0.464 6x^2 - 0.721 6x + 0.624 7 \quad (4)$$

采用单片机编程实现 ADC 补偿算法^[15],对表 1 同一批电阻进行测量,测量结果如表 2 所示。与表 1 测量结果对比,加入 ADC 补偿算法后,电阻测量误差 $E1 \leq 0.41\%$,其中 100 Ω 、1 k Ω 、10 k Ω 、10 M Ω 挡位的电阻测量误差分别降低了 0.26%、0.22%、0.21%与 0.31%,电阻平均测量误差降低了 0.25%,在与表 1 筛选误差值设定相同条件下,电阻筛选准确性从 60%上升到 100%,电阻筛选功能稳定

性提升了 40%。本测量装置不仅测量误差小,在电阻挡位切断电路的设计上,采用电子开关取代继电器,电子开关寿命长,无噪声换挡,本装置还设计了触摸输入、电阻筛选与报警提醒功能。

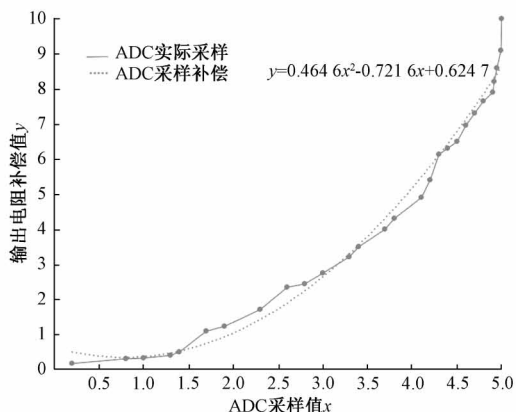


图 7 测量输出电阻补偿函数曲线

表 2 电阻测试实验结果(加 ADC 补偿算法后)

标称值/ Ω	38.1	158.8	745	908	5.69 k	3.6 k	7.35 k	9.93 M	5.42 M	2.98 M
测量值/ Ω	38.2	159	744	905	5.70 k	3.61 k	7.32 k	9.95 M	5.40 M	2.97 M
阻值误差 $E1/\%$	0.26	0.13	0.54	0.33	0.17	0.28	0.41	0.21	0.37	0.33
筛选误差 $E2/\%$	0.8	1.2	1.5	1.1	1.5	2.0	1.0	1.4	2.3	1.6
筛选结果	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常

5 结 论

本文采用 STC12C5A60S2 单片机作为主控芯片, NOMS 场效应管作为开关电路, 电容式触控芯片 CR302A 作为触摸输入模块, LCD12864 作为显示模块, 实现了阻值 0~10 M Ω 的电阻自动测量与筛选, 在软件设计上引入 ADC 补偿算法, 试验结果表明, 该装置电阻测量误差小于 0.41%, 电阻测量精度高, 电阻筛选功能稳定, 解决了传统电阻测量装置机械换挡噪音大, 机械按键易失灵与缺乏电

阻筛选功能的问题。

本电阻测量装置的测量阻值范围是 0~10 M Ω , 电阻测量范围尚需扩大, 此外, 随着人们对人机交互界面的要求越来越高, 下一步可在本装置基础上, 使用触摸屏替代 LCD12864 显示屏与触摸按键, 满足更加直观趣味的操作需求。

参考文献

- [1] 林占江. 电子测量技术[M]. 第 4 版. 北京: 电子工业出版社, 2019.

- [2] 郭兰兰,朱磊.基于 Android 系统的小阻值测量器 App 设计[J].国外电子测量技术,2020,39(2):106-110.
- [3] 金宇,黄鑫鑫,冯卓宏,等.基于惠斯通电桥的非极值电阻自动测量方法[J].实验室科学,2020,23(5):29-36.
- [4] 张小辉,吴传桂,王纬国,等.基于四线制的电阻自动测量研究与实现[J].航空维修与工程,2020,4(12):42-45.
- [5] 侯智超,陈培杰.一种可自动切换量程的宽量程新型自动化电阻测量仪[J].大学物理实验,2019,32(9):55-59.
- [6] 邓翔宇.修正非线性误差的宽量程多电桥电阻测量电路设计[J].电子测量与仪器学报,2016,30(9):1418-1424.
- [7] 张永超.接地电阻在线测试及远程监测系统的设计与实现[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(7):51-55.
- [8] 谢永超.基于 12C5A60S2 单片机控制的电阻自动测试仪的设计与实现[J].自动化技术与应用,2016,35(12):135-137.
- [9] 庄伟,李超,崔庆林,等.基于电源直流电阻快速测量电路的设计及其实现[J].电子测量技术,2020,43(12):173-178.
- [10] 高剑,张晨阳.电容式触摸屏感应芯片测试方法研究[J].电子测量技术,2020,35(3):156-160.
- [11] 刘信,杨妮.电容式触摸屏气泡线不良的研究与改善[J].液晶与显示,2019,34(7):676-681.
- [12] 刘帅,张冬,何建国,等.基于 AT89C52 单片机的 LCD12864 显示设计及贪吃蛇游戏算法研究[J].科技通报,2018,34(12):192-197.
- [13] 郭豫冀.基于 GSM 的楼道防火防盗报警系统设计[D].天津:天津大学,2018.
- [14] 张玮.基于 TTP229 的电容式触摸键盘设计与实现[J].电子设计工程,2016,24(10):123-126.
- [15] 黄瑞麒.卫星变温环境下的温敏铂电阻高精度测量技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

作者简介

苏宏锋,硕士,讲师,主要研究方向为电子测量技术、单片机与嵌入式技术等。

E-mail:568120525@qq.com