

文章编号:1005-0523(2013)02-0052-06

基于STM32的土壤含水量传感器阻抗测量仪的研制

伍群芳¹, 赖建英², 刁心宏²

(华东交通大学1. 电气与电子工程学院; 2. 华东交通大学土木建筑学院, 江西南昌 330013)

摘要:针对土壤含水率测试问题,研制出了一种基于STM32的土壤含水量传感器阻抗测量仪,重点阐述了硬件电路与软件程序各部分的设计。这种传感器交流阻抗测量仪具有频率选择功能,测量精度高,价格相对低廉,实验证明其具有可靠性高、稳定性好的优点,具有良好的实用价值。

关键词:土壤含水量;传感器;阻抗测量仪;STM32

中图分类号:TM464

文献标志码:A

水分是天然土壤的一个重要组成部分,土的含水量测试是土壤学、农学和土木工程领域的一项重要工作。目前,对水分测定方法的探讨也多种多样,由此出现了烘干法,中子仪法,射线透射法,电磁波法,电阻法,电容法,光电法等等,各种方法都有不同程度的应用,其中,文献[1-4]给出的石膏块土壤含水量传感器法、电阻式土壤含水量传感器等方法能实时、连续的给出土壤水分的动态变化过程和空间立体分布情况,且无放射性物质的危害,具有测量精度高、性能稳定的特点,有很好的推广前景。

然而,不管是石膏块土壤含水量传感器法和电阻式土壤含水量传感器法,还是电容法都需要有传感器信号处理电路,需要测量出传感器元件随含水量变化的交流阻抗。本文针对该问题研制出了一种测试仪,其实物如图1所示。



图1 交流阻抗测量仪
Fig.1 AC impedometer

1 系统结构与组成

整个系统的结构框图如图2所示。由文氏振荡电路产生一种频率可选与幅值固定的标准正弦波,输出的正弦波经功率放大器放大后加在所测传感器元件与基准电阻两端,采用分档测量的思想,根据传感器元件阻抗的大小选择基准电阻。为了提高精度的需要,本系统提供了7路的基准电阻,基准电阻均为高精度电阻,误差均小于1%,通过判断所测元件阻抗的大小控制7路继电器的通断来选择档位。测量时,对基准两端的电压先进行精密整流,并将整流后的电压送入STM32 F103单片机进行AD转换和数据处理,从而得到所测元件的交流阻抗的大小,最后通过1602液晶显示电路显示出所测的交流阻抗值的大小,再按文献[1]的标定方法,从而得到土壤的含水量。

收稿日期:2013-01-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51168014);江西省自然科学基金项目(2010GZC0023);江西省研究生创新基金项目(YC2012-S077)

作者简介:伍群芳(1989-),男,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动、电力电子电路。

2 硬件设计

系统的硬件电路主要包括电源电路、正弦波发生电路、测量电路、采样电路及STM32外围电路和液晶显示电路。

电源电路采用基于UC3845控制的反激式电路,其具有结构简单,效率高,功率密度大,可靠性高的优点。电源输出+12 V,-12 V,+5 V三路直流电压为其他电路部分供电。采用LM1117MP-3.3电源芯片将5 V电压转换成3.3 V给单片机STM32F103供电。

2.1 正弦波及功率放大电路的设计

系统内部由文氏电桥振荡器产生标准的正弦波信号,电路如图3所示。在电路中,运算放大器选用LM358,其内部含有两个运算放大器。其中一个运放与外围电路构成正弦波信号发生电路,另一个运放作电压跟随用。将可调电阻R_{r2}、电阻R₂与电容C₀₁(或C₀₂或C₀₃或C₀₄)并联组成一个臂,可调电阻R_{r1}、电阻R₁和电容C₀₁(C₀₂或C₀₃或C₀₄)串联组成另一个臂,可调电阻R_{r3}、二极管D₀₁、二D₀₂、电阻R₃组成电桥的另外两个臂,起稳幅的作用,适当调节R_{r3}可以得到波形失真小且工作稳定的波形。而且可以起调幅的作用。另外,R₃是为了克服二极管死区而设置的。由于振荡器的输出阻抗较高,直接连接在负载上工作,因此后级加上一级电压跟随电路。

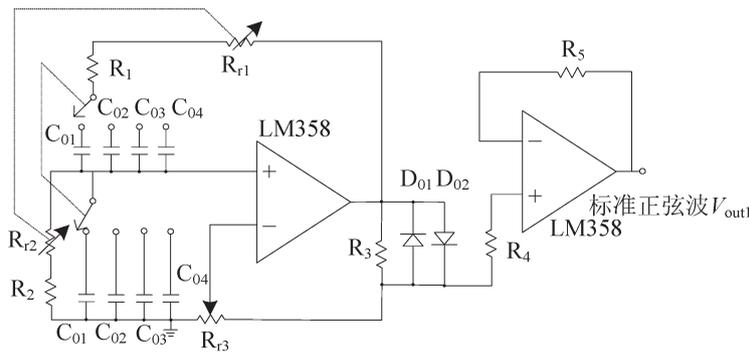


图3 正弦波发生电路

Fig. Sine wave occurring circuit

该电路产生正弦波的频率：
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 R_{r3} R_{r4} C_n}} \quad (C_n = 01, 02, 03, 04) \quad (1)$$

通过选择开关可人为的选择电容C_n,从而得到不同的正弦波频率,例如当R₁=R₂=15 kΩ, R_{r1}=R_{r2}=1 kΩ, C_n=0.01 μF时可得到f=1 kHz的正弦波,其它的依此类推。此处另外三档分别可产生10, 50 kHz和100 kHz的正弦波,幅值均固定不变。在实际测量中,据试验统计,在不同含水率时的交流阻抗是一个宽范围的阻抗值,约200 Ω~1 MΩ^[1-4]。

因此,考虑到宽范围的测量精度,系统采用平滑的过度分档测量,即测量档位之间没有死区,主要由软件部分实现。基于小阻抗下测量时,由于基准正弦波电压幅值不变,测量功率相对较大,因此,必须对信号发生模块输出的正弦波信号进行功率放大,功率放大电路如图4所示。

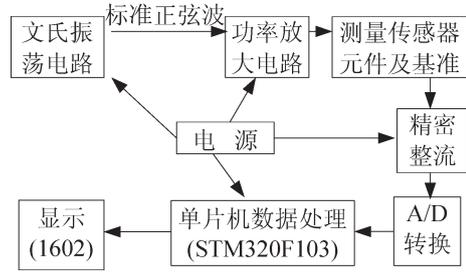


图2 系统结构框图

Fig.2 System structure diagram

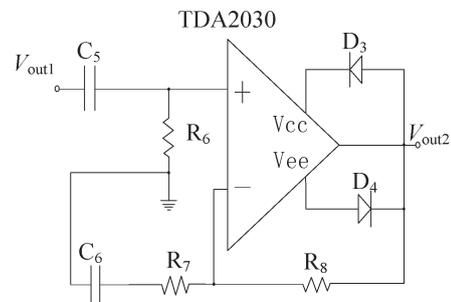


图4 功率放大电路

Fig.4 Power amplification circuit

系统采用TDA2030芯片对前级产生的基准正弦波信号 V_{out1} 进行功率放大,电路以TDA2030为中心组成功率放大器,其特点有:失真小、外围元件少、装配简单、功率大、保真度高等,最大功率可达18 W。基准信号经功率放大后输出的 V_{out2} 相当于一个恒压源,恒压源经测量元件与基准电阻分压后,采基准电压两端电压信号并对其进行处理,则可得到被测量传感器元件的交流阻抗。

2.2 测量电路的设计

采用分档测量,电路原理图如图5所示。在图5中,采用继电器作为选择开关,型号为HRS1H-SCOIL-5VDC。用 Z_x 表示传感器元件交流阻抗的大小, $R_{01}\sim R_{07}$ 为基准电阻,采样时采 $R_{01}\sim R_{07}$ 两端的电压送入单片机进行处理。根据电压分压关系可得:

$$\begin{cases} V_n = V_{out2} \times \frac{R_n}{R_n + Z_x} (n=1, 2, 3, \dots, 7) \\ V_{out2} = V \sin \omega t \\ Z_x = 1/\omega C_x + R_x = 1/2\pi f C_x + R_x \end{cases} \quad (2)$$

式中: R_n 为 $R_{01}\sim R_{07}$ 基准电阻, V_n 为采样电压,它们之间存在一一对应的关系, Z_x 对应于所测交流阻抗,实际系统中, C_x 为传感器元件等效电容,为微法级电容,所以

频率越大,容抗值越小,可近似认为 $Z_x \approx R_x$,当 f 很大时,可近似为

$$V_n = V_{out} \times \frac{R_n}{R_n + R_x} (n=1, 2, 3, \dots, 7) \quad (3)$$

对单片机来说,采样处理信号的幅值条件要求为0~3.3 V,所以 V_n 取值范围为

$$0 < \frac{V_n}{\sqrt{2}} \times \frac{R_n}{R_n + R_x} < \frac{3.3}{\sqrt{2}} (n=1, 2, 3, \dots, 7) \quad (4)$$

在实际系统中,为了得到高保真的正弦波, V_{out2} 取10 V,根据式(4)可得对不同的基准电阻,可测量传感器元件不同范围的阻抗值。表1给出了实际系统基准电阻与测量阻抗范围间的关系。根据这个关系可设定基准电阻和设定每个档位的测量范围。

表1 系统测量关系对照表

Tab.1 System measurement comparison table

档位	基准电阻值/ Ω	可测阻抗范围/ Ω	实际测量范围/ Ω	对应采样电压值/V
1	20	>40.6	50~200	2.02~0.643
2	51	>103	200~800	1.44~0.424
3	325	>659	800~8 000	2.043~0.276
4	2 730	>5 540	8 000~40 000	1.799~0.452
5	18 040	>36 600	40 000~300 000	2.198~0.401
6	128 800	>261 000	300 000~3 000 000	2.124~0.291
7	1 030 000	>2 090 000	3 000 000以上	1.807~0

3 软件设计

3.1 软件电路设计

STM32F103x为增强型系列使用高性能的ARM Cortex-M3 32位的RISC内核,工作频率为72 MHz,内置高速存储器(高达128 kbit FLASH和20 kbit的SRAM),丰富的增强I/O端口和连接到两条APB总线的外设^[5-8]。

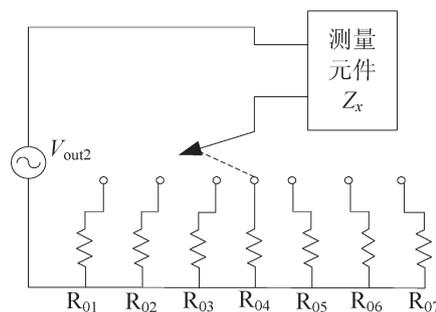


图5 传感器元件测量图

Fig.5 Measuring diagram of transducer part

所有型号的器件都包含2个12位的ADC、3个通用16位定时器和一个PWM定时器、3个USART、一个USB和一个CAN,工作电压为3.3 V。

本设计采用STM32F103为主控芯片,因此处理器电路实际上就是基于STM32F103芯片的最小系统。主要包括复位电路、晶振电路和调试测试接口等。复位电路采用了简单的RC电路延时特性,利用一个10 k Ω 电阻和10 μ F的电容,时间延时大约为3.6 ms。晶振选用8 MHz无源晶振,晶振两端分别通过22 pF的电容接地。芯片启动时从内部FLASH开始读取启动代码。

3.2 控制流程图

在此次设计中,STM32需要完成传感器电压的采样、计算、分析、数据处理、继电器的驱动及液晶的显示驱动等。系统的设计采用模块化设计,包括系统的初始化,电压采样,数据处理与算法及液晶1602的驱动等。具体如系统流程图6所示。

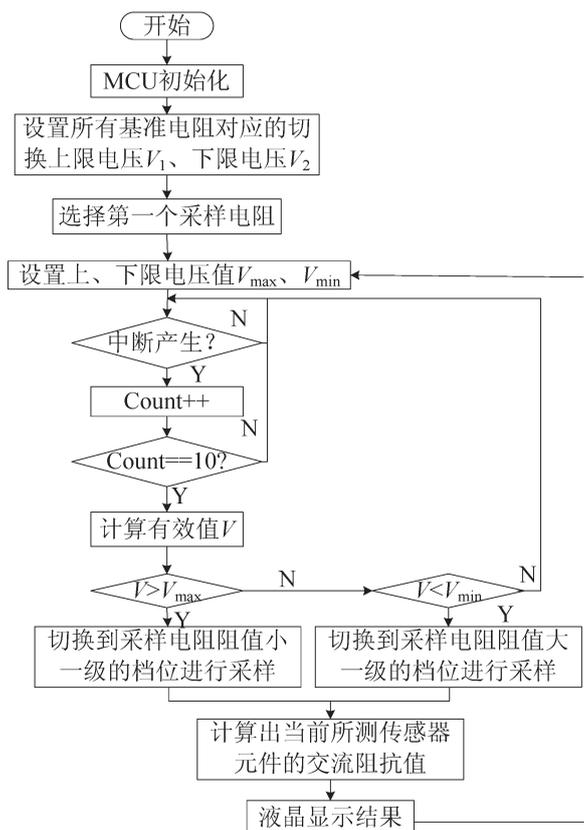


图6 系统流程图

Fig.6 System flow chart

4 实验

本设计通过硬件电路与软件程序结合,研制出了样机,如图1所示。采用精确电阻与高精度电容串联方式等效传感器元件,对样机进行了调试,得到了很好的效果,测量误差均小于4.6%,如表2所示。

5 传感器交流阻抗测量仪的应用

根据文献[1]所述,利用石膏能吸水的性质,制作石膏水分传感器。传感器的外形设计为圆柱形,内部为平板式电容器,感湿材料选用建筑石膏。在实验室内先制作传感器成型模具,再将石膏加水均匀搅拌后浇筑至模具内,捣固密实后再插入电极。石膏与水的质量比为10:3。建筑石膏的凝固速度快,电极插入的时间点须在石膏初凝前进行。在常温下干燥3 d后可脱模。石膏水分传感器如右图7所示。

表2 实验结果

Tab.2 The experiment results

频率/ f/kHz	RC串联实际值			测量值/ Ω	误差/ $\%$
	R/Ω	$C/\mu\text{F}$	Z/Ω		
1	68	1	227.155	235.356	3.60
1	330	2.2	402.234	418.287	4.00
1	1 000	3.3	1.048×10^3	1.025×10^3	2.20
1	15 000	10	1.502×10^4	1.451×10^4	-3.40
1	100 000	47	1×10^5	1.045×10^5	4.50
1	1 000 000	100	1×10^6	9.543×10^5	4.60
100	68	1	69.592	67.453	-3.10
100	330	2.2	330.723	338.908	2.50
100	1 000	3.3	1×10^3	1.016×10^3	1.60
100	15 000	10	1.5×10^4	1.451×10^4	3.30
100	100 000	47	1×10^5	9.55×10^4	4.50
100	1 000 000	100	1×10^6	9.996×10^5	0.40

为探究传感器交流阻抗测量仪能否在土含水量测试中发挥作用,需进行试验证明。试验步骤:①将土样干燥后分成若干份,将其配制成含水率约为40%的试样,浸润12 h;②将制作好的石膏水分传感器埋入试样中,1 h后测量传感器的阻值及土壤的含水量;③重复步骤2,共测试11次。将记录的数据(含水量和电阻值)整理好填入表中,本次选取了3个传感器进行测定,传感器分别命名为A号传感器、B号传感器和C号传感器,测试结果如表3所示。

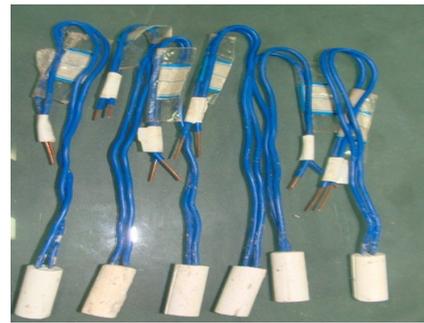


图8 土壤水分传感器
Fig.8 Soil moisture sensor

表3 土壤含水量与实测阻抗的数值关系

Tab.3 Numerical relationship between soil moisture content and the measured impedance value

试验序号	A号传感器		B号传感器		C号传感器	
	含水量/ $\%$	阻值/ Ω	含水量/ $\%$	阻值/ Ω	含水量/ $\%$	阻值/ Ω
1	37.65	859	37.53	1 540	37.71	1 623
2	36.41	917	36.33	1 682	36.53	1 815
3	33.89	1 008	32.40	1 897	34.22	2 039
4	30.87	1 091	29.30	2 022	30.86	2 166
5	27.93	1 224	26.64	2 020	28.04	2 195
6	25.03	1 328	24.02	2 133	24.47	2 225
7	23.17	1 392	21.76	2 214	22.18	2 350
8	19.17	3 030	18.62	2 967	18.69	4 433
9	17.87	10 132	17.59	4 607	17.44	13 813
10	15.62	47 117	15.48	24 929	15.12	59 000
11	13.25	410 497	13.04	572 492	12.31	800 000

从表3中可以看出,输出电阻值随着含水量的降低而增大。含水量的变化值在10%~40%之间,而电阻值的变化值在 $800 \sim 10^6 \Omega$ 。同样的含水量因传感器不一样而测得的阻值也不一样,这是因为阻值的大小一方面受含水量的影响,另一方面受石膏传感器尺寸大小、制作工艺等影响。处于同一高含水量状态下的阻值高时,对应同一低含水率状态下的阻值也高。

根据表2实验以及表3的试验结果,可以看出STM32对石膏湿度传感器的有很好的适用性。

6 结论

基于STM32的土壤含水量传感器交流阻测量仪精度高,具有频率选择功能,可靠性好,用于测量土壤含水量传感器阻抗时,能适应阻抗的宽范围变化,阻抗值与含水量有一一对应关系,从而为含水量的实时、连续测试提供了一种可靠手段。

参考文献:

- [1] 赵秀珍,王乃钊,毛文华. 土壤含水量传感器的研究和实验[J]. 农机化研究,2004(5):201-203.
- [2] 熊德祥. 石膏电阻块法测定土壤水分研究初报[J]. 南京农业大学学报,1992,15(3):110-114.
- [3] 赵春江,王成,乔晓军. 电阻式土壤含水量传感器的设计与开发[J]. 农业工程技术,2004(12):57-58.
- [4] 王晓雷,胡建东,江敏,等. 附加电阻法快速测定土壤含水率的试验[J]. 农业工程学报,2009(10):76-80.
- [5] 彭胜民,周修理,程雪,等. 基于ARM的土壤含水率无线传输系统设计[J]. 农业机械学报,2009,9(40):241-243.
- [6] 李芳培,毛建国. 基于交流阻抗法的蓄电池内阻测量[J]. 重庆工学院学报:自然科学,2009,23(9):93-98.
- [7] 朱磊,赵林英. 基于LabVIEW实现的电池内阻测试仪[J]. 哈尔滨理工大学学报,2005,10(5):67-69.
- [8] 金永贤. 智能化电子产品的低功耗设计[J]. 华东交通大学学报,2001,18(1):15-17.

Design of Soil Moisture Content Transducer Impedometer Based on STM32

Wu Qunfang¹, Lai Jianying², Diao Xinhong²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at the problem of soil moisture content, this paper discusses the designing of soil moisture transducer impedometer based on STM32. The hardware circuits and software procedures are expounded in depth. The proposed transducer impedometer is proved to have the characteristics of frequency selection, precise measurement and low cost. The experiment indicates that the system is stable and reliable with preferable application value.

Key words: soil moisture content; transducer; impedometer; STM32