

基于 TM4C123G 微处理器的宽量程全自动电容测量仪设计*

朱卫华 刘国稳 李月华
(南华大学电气工程学院 衡阳 421001)

摘要: 为提高电容测量范围和精度,设计了一种电路简单、成本低廉的宽量程全自动电容测量仪。该智能系统是以一款低成本却赋予极强扩展性的 ARM 微处理器 TM4C123G 的 LaunchPad 开发板为核心,由液晶、ICM7555 等器件组成。通过微处理器测量电容对应振荡电路所产生的信号频率或周期来实现从 1 pF ~ $1\,000\text{ }\mu\text{F}$ 高达 9 个数量级范围的电容参数的高精度自动测量。它可以很方便的帮助人们测量出电容值,操作简单、测量结果准确可靠,相对误差小于 2%,一次测量时间不超过 100 ms。

关键词: 电容测量;TM4C123G;宽量程全自动测量

中图分类号: TM934 TP368 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design of wide range and full automatic measuring capacitance instrument through TM4C123G MPU

Zhu Weihua Liu Guowen Li Yuehua
(The College of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: To improve the range and accuracy of capacitance measurement, a circuit simple and low cost of wide range and full automatic capacitance measuring meter was designed. This intelligent system uses a low cost but strong expansibility ARM microprocessor TM4C123G as the core. System consists of LaunchPad development board and LCD and ICM7555 device etc. Through MPU measuring frequency or period of the signal responding capacitance oscillation circuit implements the capacitance parameter measuring from 1 pF to $1\,000\text{ }\mu\text{F}$ up to nine orders of magnitude range. The measuring is high precision and full automatic. It can easily help people to measure the capacitance value. The operation is simple, the measurement results is accurate and reliable, the relative error less than 2%, once measuring time not more than 100 ms.

Keywords: capacitance measuring; TM4C123G; wide range and full automatic measuring

1 引言

在电路设计制作中经常用到电容,在对其使用时,必须首先知道它的参数,这就要求能够对电容的容量的参数进行快速准确的测量。为此设计了一种电路简便易携带且成本低廉低功耗的电容测量仪。目前常用的测量电容的方法主要有纯模拟电路法、可编程逻辑控制器 CPLD 和 FPGA 测量法、脉冲计数法(振荡电路和单片机)。纯模拟电路法可以避免编程的麻烦,但是电路复杂、所用器件多、灵活性差、测量精度低。可编

程逻辑控制器法应用广泛,速度快、体积小、可靠性和精度高,但是价格太高;相对而言规模大,结构复杂。脉冲法测量精度高,便于仪器实现自动化、设计周期短、可靠性高^[1-3]。本系统测量电容还是采用“脉冲计数法”,把待测电容接入电路中构成多谐振荡电路,通过计算振荡输出的频率或周期来计算被测电容的大小,所以构成的多谐振荡电路一定要稳定,能够输出稳定频率的方波^[4-6]。这里选择比 555 芯片更好的 ICM7555 芯片作为多谐振荡电路的核心元件,它具有工作可靠、使用方便、价格低廉等特点。

收稿日期:2015-03

* 基金项目:湖南省自然科学基金(2015JJ6098)、南华大学重点学科建设(NHXXK04)资助项目

2 系统硬件设计和实现方法

设计包括多谐振荡器、档位切换电路、微处理器 TM4C123G 的 LaunchPad 开发板^[7-8]、LCD12864 液晶显示电路。测量电容这里采用“脉冲计数法”，由 ICM7555 电路构成多谐振荡电路，通过计算振荡输出的频率或周期来计算被测电容的大小。多谐振荡电路如图 1 所示。选

用 ICM7555 芯片其工作电压是 3 V(与微处理器兼容)，静态工作电流仅数百 μA ，最大输出电流不足 20 mA，输出电压幅度非常接近供电电压。而若采用 555 最低工作电压在 4.5 V 以上，静态工作电流达数 mA，最大输出电流达 200 mA，输出电压比供电电压要低 1 V 左右。ICM7555 起振所需的最小电阻为 300 Ω 左右，而 555 最低在 1 k Ω 以上^[9]。

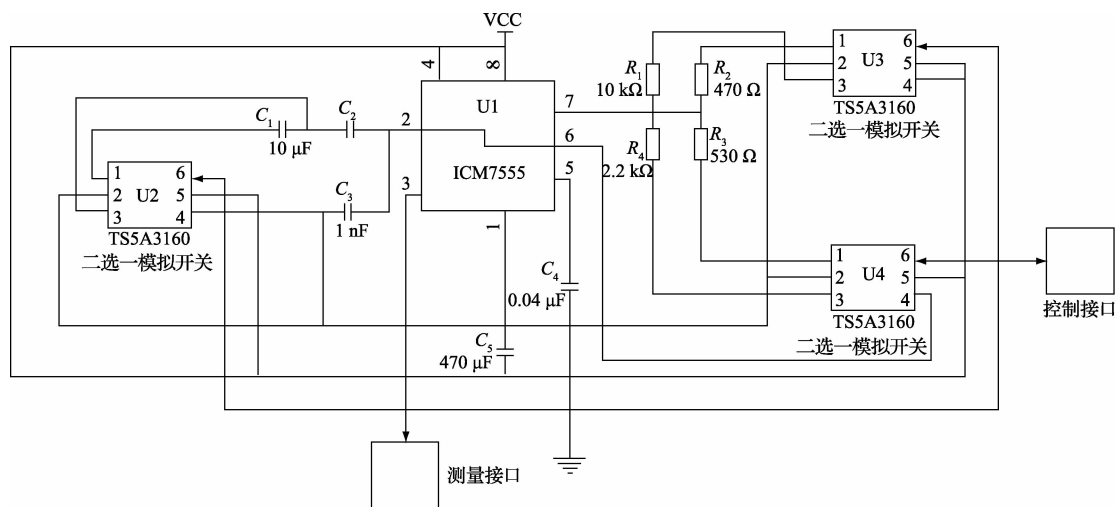


图1 由 ICM7555 构成的多谐振荡及模拟开关构成档位切换电路

由于测量范围大(1 pF~1 000 μF)，所以选择档位切换的办法测量不同容量范围的大小电容，小电阻档测量大电容，大电阻档测量小电容。电阻过大，导致方波下降沿波动不稳，电阻过小会使得 ICM7555 芯片不易起振。为了使得测量更准确，使方波的占空比约等于 50%，综合考虑采用 $R_1=10\text{ k}\Omega$ ， $R_4=2.2\text{ k}\Omega$ 和 $R_2=470\text{ }\Omega$ ， $R_3=530\text{ }\Omega$ 两个档位分别测量小电容和大电容。待测是大电容时再串联一个 10 μF 的校正电容。整过测量过程中被测电容都与一个 1 nF 的校正电容并联。这样通过并联一个校正电容，大电容时再串联一个校正电容的方法，能使整个测量范围内多谐振荡器输出脉冲稳定，频率范围大约在 100 Hz~110 kHz，便于微处理精确测量，误差降至最低。串并校正电容带来的测量误差则可通过软件计算修正。档位的切换采用 3 个型号为 TS5A3160 的模拟开关由微处理器控制实现。本电容测量仪是全自动测量，系统会根据电容容值的大小通过测量多谐振荡脉冲频率来自动切换档位，以便能够最精确地进行测量。系统启动后，默认档位切换到测量小电容档位，根据测量的频率辨别电容容量所处的范围，当确定后通过模拟开关将档位切换到相应档位进行电容容值的准确测量，将测量结果显示

到 LCD 显示屏上，然后从新跳回小容量电容测量档位，如此重复循环测量，以检测被测电容是否已经更换。

3 系统软件设计

由 ICM7555 构成的多谐振荡器通过接入不同的电容，产生方波的频率为：

$$f \approx \frac{1.43}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (1)$$

可以看出频率 f 与电容成反比例关系。对上式稍作改变：

$$\frac{1}{f} \approx \frac{(R_1 + 2R_2)C}{1.43} \quad (2)$$

由上式可见，待测电容 C 与振荡周期呈线性关系并与电路元件参数无关，这样可以避免电路带来的误差。引入线性插值算法如下：

$$Y = Y_{i-1} + \frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}(X - X_{i-1}) \quad (3)$$

通过实验方法增加基准点的个数，可使测量结果的误差保持在允许的范围内^[10-11]。一般情况下，取样点越多所得插值函数越优化，对应的测量值 C 与实际数值越接近。软件流程如图 2 所示。

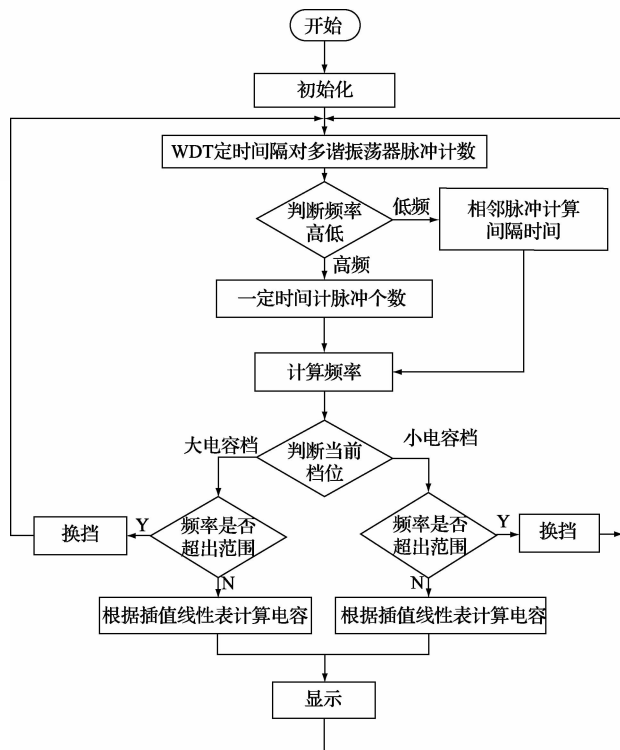


图2 软件流程

系统初始化后,在 WDT 定时间隔内先对振荡脉冲个数计数进行粗测,再根据范围选择合适档位进行精确测量。经过软件计算修正等操作得到被测电容值送 LCD 显示。

4 系统调试方法与测试数据分析

采取单个模块的测试与调试,硬件部分和软件部分先独立测试。硬件部分振荡电路,将输出端接入示波器,测试电路振荡的频率。通过公式计算出测量电容,使用 TH2811A 型 LCR 数字电桥测量待测电容的实际容值,拟定表格,记录数据。软件部分使用波形发生器产生不同频率的标准方波来调试软件,将单片机的测试频率与波形发生器的显示频率做对比,将软件不断优化直到误差小于 1 Hz。最后将调试好的硬件部分与微处理器结合起来测量电容,记录单片机的测试频率和测试电容,将数据用表格记录下来,再讲通过数字电桥测得的实际电容通过误差计算,最终以一定的最小二乘法插值法标定,使得单片机测得的电容容值与实际容值相对误差小于 2%。由于 ARM 微处理器 TM4C123G 运算速度快且具有极强的浮点运算功能,使得全范围内一次测量时间最长不超过 100 ms。实测数据如表 1 所示,系统实物图如图 3 所示。

表 1 电容测试结果比较

电桥测量值	本系统测量值	误差(%)	电桥测量值	本系统测量值	误差(%)
1.5 pF	1.503 pF	0.200 000 0	105.17 nF	105.245 nF	0.071 313 1
10.99 pF	10.952 pF	-0.345 768 0	228.43 nF	228.146 nF	-0.124 326 0
30.93 pF	30.066 pF	0.027 934 0	964.9 nF	964.713 nF	-0.019 380 0
98.66 pF	98.524 pF	-0.141 901 0	10.99 μ F	10.954 μ F	-0.363 967 0
213 pF	213.446 pF	0.206 572 7	46.2 μ F	46.746 μ F	1.1818 181 0
345.6 pF	341.561 pF	-1.168 981 0	198.9 μ F	197.572 μ F	-0.667 672 0
3.90 nF	3.088 9 nF	-0.174 514 0	314.9 μ F	314.754 μ F	-0.046 363 0
45.50 nF	47.066 7 nF	0.174 514 0	982.6 μ F	982.453 μ F	-0.149 603 0

测试结果表明,该系统能对 1 pF~1 000 μ F 全范围内的电容进行全自动精确测量。所测电容的误差大部分控制在 1%以内,只有少数几个电容测量的误差在 1.5%内。误差主要来源有:系统测量频率 ± 1 所带来的误差,电路存在的寄生电容、环境温度变化引起的误差等。



图3 系统实物

5 结论

本文设计用 7555 芯片和电容电阻组成的振荡电路输出方波,通过 ARM 微处理器 TM4C123G 测量对应振荡电路所产生的信号频率或周期来实现从 1 pF~1 000 μ F 宽量程的电容参数的高精度全自动测量,再通过微处理器对数据进行进一步的计算,得出被测电容的值,通过 LCD 显示测量值。总体来说,本文方案能够测出比较精确的结果,电路实现较为容易,在实际操作中稳定可靠、低功耗、易携带且成本低廉,具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 戴丽霞,马铁华,刘双峰. PIC16LF874 单片机在电容测量模块中的应用 [J]. 电子设计工程,2010,18(5): 34-36.

- [2] 杨继生,刘芬.基于PIC单片机控制的RLC智能测量仪[J].现代电子技术,2007,30(15):138-139.
- [3] 王震,杨东超,伊强.基于单片机的车载超级电容测试系统设计与实现[J].电子技术应用,2006,32(9):51-54.
- [4] 袁慧,赵四化,武戎.微控制器在电容测量中的应用[J].微电子学,2012,42(5):745-747.
- [5] 冯佳,李佩玥,徐立松,等.基于反馈的交流激励式电容测量电路设计[J].国外电子测量技术,2014,33(11):38-42.
- [6] 张廷锋,许少衡.一种基于电容充放电的时间间隔测量方法[J].国外电子测量技术,2011,30(11):30-32.
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. Tiva c series microcontroller Datasheet [EB/OL]. [2013-10-15]. http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers_16-bit_32-bit/c2000_performance/control_automation/tm4c12x.
- [8] 叶朝辉.TM4C123微处理器原理与实践[M].北京:清华大学出版社,2014.
- [9] 阎石.数字电子技术基础[M].5版.北京:高等教育出版社,2008.
- [10] 梁晓雷.基于单片机的分段线性插值算法实现[J].计算机工程应用技术,2012,8(21):5235-5237.
- [11] 周峰,赵春宇,黄震宇,等.基于时域线性插值的信号周期计算方法及误差分析[J].仪器仪表学报,2011,32(8):1724-1730.

作者简介

朱卫华,1964年出生,副教授,硕士研究生导师。主要研究方向为嵌入式系统及应用。
E-mail:zhuweihua64@163.com

2015 第三届全国虚拟仪器大赛圆满落幕

第三届全国虚拟仪器大赛于2015年7月13~14日在哈尔滨工业大学举行了最终决赛并落下帷幕。来自全国各大高校的80支学生代表队参与了最终决赛,经过现场的激烈角逐和评委们的严格审查,清华大学的“自平衡自行车”摘得桂冠,获得了本次大赛唯一的特等奖。

2015第三届全国虚拟仪器大赛由中国仪器仪表学会、教育部高等学校仪器类专业教学指导委员会主办,哈尔滨工业大学承办,美国国家仪器(NI)有限公司协办。全国虚拟仪器大赛自2011年启动以来,受到了国家相关部门、各大高校以及行业内人士的广泛支持与关注。本届全国虚拟仪器大赛无论就赛事规模、影响力、参与度以及优秀作品的质量而言均达历届之最:大赛共收到来自全国188所高校的1664支队伍报名参与,实际征集到学生创新作品751份,范围涵盖测控技术与仪器、自动化、计算机、电气工程、机械工程、通信工程、电子工程、动力工程、汽车工程等众多学科与实际工业应用领域。

7月14日,大赛于哈尔滨工业大学活动中心举行了隆重的颁奖典礼,中国仪器仪表学会常务副理事长吴幼华、教育部高等学校仪器类专业教学指导委员会主任委员曾周末、教育部高等学校仪器类专业教学指导委员会秘书长胡晓东、哈尔滨工业大学副校长任南琪及NI亚太区市场总监 Ryota Ikeda 出席了颁奖典礼并致辞。多所高校和企业的老师、专

家和学生代表参加了颁奖典礼。

清华大学的“自平衡自行车”获得了本次大赛的特等奖,也是此次大赛最受关注的学生作品。相比于无人驾驶汽车,无人驾驶自行车具有体型小、灵活性强、环保节能等优点。据悉该作品的远期目标是未来可实现远程控制,通过手机或其他电子设备发送指令,自行车可根据指令依靠自动导航系统驾驶至目的地,最终实现智能化人工控制。清华大学获奖学生何家瑞表示:“虚拟仪器大赛为高校学生的创新活动提供了良好的平台,不仅开阔了眼界,锻炼了动手能力和团队协作能力;更是通过图形化系统设计平台的应用快速的实现了从理论到工程实践,体会到了创意实现和动手做工程的喜悦。”此外,软件组的“基于LabVIEW的电吉他综合效果器”、PC组的“远程触控的划线激光笔系统”、嵌入式组的“基于myRIO的无人区探测远程控制机器人”、PXI组的“粒子束探测器卷绕线实时测控系统”等作品获得了大赛最佳人气作品奖。

NI亚太区市场总监 Ryota Ikeda 表示:“通过全国虚拟仪器大赛等诸多面向高校工科学生的实践型创新竞赛,不仅为追求创新实践的未来工程师们提供了广阔的平台,更展示了新一代工程师们的实践能力和创新潜力。NI始终致力于为行业创新提供充足的人才储备,并为中国的工程人才教育注入源源不断的活力。”