

Development of Dielectric Constant Experimental Teaching Measuring Instrument

Chaobiao Zhou Yang Li Xiaoying Qu*

School of Physics and Mechatronics Engineering, Guizhou Minzu University, Guiyang, Guizhou, 550025, China

Abstract

Dielectric materials are widely used in microwave communication, aerospace, biomedicine and other fields. In the use of dielectric materials, dielectric constant is one of the important parameters to measure the electromagnetic properties of dielectric materials, and it is very important to obtain the dielectric constant accurately. Using parallel plate capacitor method and FDC2214 capacitive sensor chip and STM32 single chip microcomputer as main components, a dielectric constant measuring instrument suitable for experimental teaching is designed and developed. The dielectric constant of the parallel plate capacitor is calculated by changing the capacitance value of the parallel plate capacitor with 6 different samples. The measured result is in good agreement with the actual value by comparing with the standard value.

Keywords

dielectric constant; capacitive sensor; single chip microcomputer

介电常数实验教学测量仪的开发

周朝彪 李阳 曲晓英*

贵州民族大学物理与机电工程学院, 中国·贵州 贵阳 550025

摘要

电介质材料被广泛应用在微波通信、航空航天、生物医学等领域。在电介质材料的使用过程中, 介电常数是衡量电介质材料电磁特性的重要参数之一, 准确获得材料的介电常数具有十分重要的意义。采用平行板电容器法, 以FDC2214电容式传感器芯片和STM32单片机作为主要元器件, 设计开发一款适合实验教学的介电常数测量仪。通过放入6种不同待测样品来改变平行板电容器的电容值, 计算出样品的介电常数, 并与标准值对比, 发现测量的结果与实际值较吻合。

关键词

介电常数; 电容式传感器; 单片机

1 引言

近年来, 随着科学技术的不断发展, 电介质材料已广泛应用在微波通信、航空航天、生物医学等各领域^[1-4]。介质材料的介电常数是反映电介质材料在静电场作用下介电性质或极化性质的主要参数, 是衡量电介质材料电磁特性的重要参数之一。介电常数在很多领域都有广泛的应用, 如在微波通信领域、食品加工领域、林业和土壤科学领域、生物

医学领域等等。然而在大学物理实验教学的过程中, 介电常数的测量相对比较少。因此, 研发设计稳定、高效的介电常数测量装置, 应用于大学物理实验教学是非常有意义的。

关于介电常数测量技术的研究有多种测量方法, 常用的方法有: 传输线法、波导法、谐振腔法、自由空间法以及平行板电容器法。其中, 平行板电容器法是利用平行板电容器间接地测量待测样品的介电常数, 基本原理为把测试样品放入电容器的极板间, 然后对电容器极板间的电容值进行测量, 将测量得到的电容值代入公式, 由此计算出测试样品的介电常数。该方法的优点是结构简单、易于测试^[2]。

论文首先介绍所用传感器的原理, 然后介绍测量仪的整体结构设计, 最后给出测量结果和讨论。

2 设计原理

设计开发的介电常数测量仪使用 FDC2214 电容式传感器芯片, 它主要用来获取平行板电容器的电容值。其内部结构如图 1 所示, 有谐振电路驱动器、多路复用器、内核和

【基金项目】国家民委教改项目(项目编号: 23123); 高等学校教学研究项目(项目编号: DJZW202039xn, DWJZW202140xn)。

【作者简介】周朝彪(1988-), 男, 中国贵州安龙人, 博士, 副教授, 从事微纳光学与大学物理教学研究。

【通讯作者】曲晓英(1980-), 女, 中国山东青岛人, 博士, 教授, 从事原子核物理与大学物理教学研究。

I²C 接口等。在各通道外部连接一个初始电感与电容，然后再连接上平行板电容器，形成一个谐振电路，由谐振电路驱动器进行驱动。当样品放入平行板电容器时，将使谐振电路中的谐振频率 f 发生改变，FDC2214 芯片通过改变的谐振频率 f 、初始电容 C_0 及电感 L_0 便可计算出平行板电容器的电容值：

$$C = \frac{1}{L_0 \times (2\pi \times f)^2} - C_0 \quad (1)$$

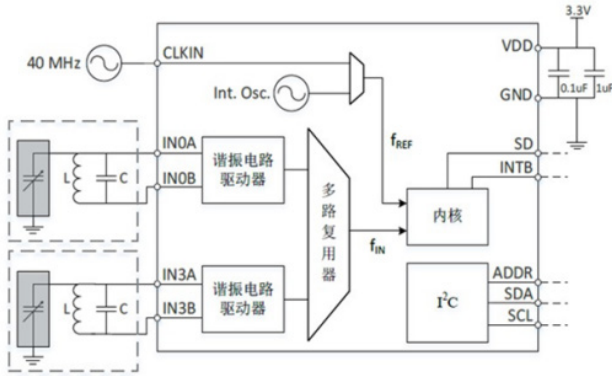


图 1 FDC2214 功能框图

通常在不考虑边缘效应下，平行板电容器的极板间的电容量为：

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (2)$$

其中， S 为极板有效面积； ϵ 为电容极板间介质的介电常数； ϵ_0 为真空介电常数， $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$ ； ϵ_r 为电容极板间介质的相对介电常数； d 为极板间距。

LC 电路是各种电子设备中的基本电子组件，尤其是在诸如调谐器，滤波器，混频器和振荡器之类的电路中的无线电设备中。图 2 为 LC 并联谐振电路，电容 C 与电感 L 并联， r 为电感的损耗电阻，电容的损耗电阻忽略不计。

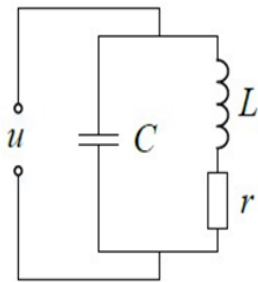


图 2 LC 并联谐振电路

在谐振条件下，当感抗与容抗相等时，无功支路电流相等且相反，彼此相消，使电流达到最小，在这种状态下，总阻抗最大，谐振频率如下：

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

将平行板电容式传感器作为 LC 并联谐振电路中的电

容，当平行板间放入样品时，将引起电容的变化，电容的变化又可由频率的变化表示，即：

$$C = \frac{1}{L \times (2\pi \times f)^2} \quad (4)$$

电感 L 已知，频率 f 由 FDC2214 电容式传感器芯片给出的数据计算得到，则通过上式可计算出放入样品时电容式传感器的电容量。由式 (2) 和式 (4) 联立可得样品介电常数：

$$\epsilon = \frac{d}{S \times L \times (2\pi \times f)^2} \quad (5)$$

测量仪的整体结构设计如图 3 所示，由信号采集模块、电源模块、显示模块、按键模块及 STM32 单片机组成。信号采集模块主要由平行板电容器、LC 谐振电路与 FDC2214 组成，最初谐振电路由 FDC2214 提供驱动，电路保持平衡，谐振频率不变，当样品放入平行板电容器使谐振频率发生改变，FDC2214 通过变化的谐振频率得到此时平行板电容器的电容值，再由 STM32 单片机通过公式计算得出样品的介电常数，最终由显示模块进行显示。

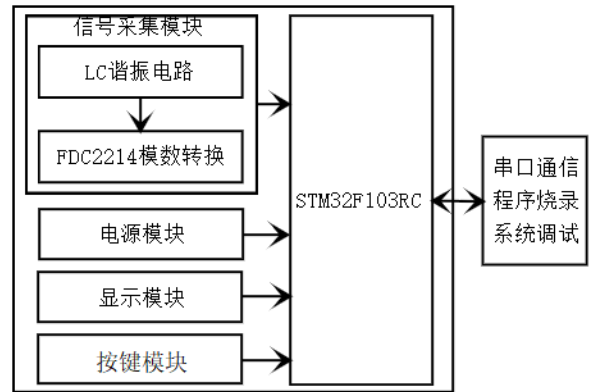
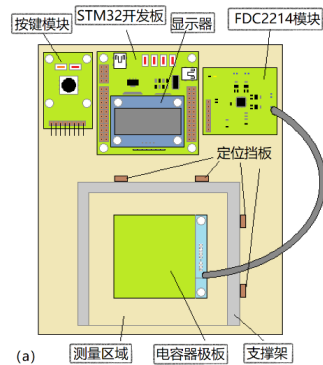
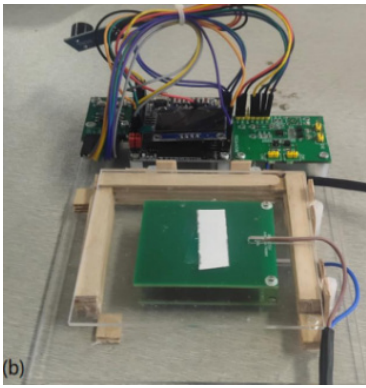


图 3 整体结构设计

图 4 为机械结构示意图，所有的模块组装在一块亚克力板上。采用模块化的设计方法，不仅简化设计，还便于检修和调试，通过合理的布局将信号采集模块、按键模块、显示模块和 STM32 开发板有机结合在一起，由于没有使用到大功率的器件，所以仪器的供电通过 STM32 开发板的 USB 接口与外部电源连接。



(a) 机械结构图



(b) 介电常数测量仪的实物图

图4 机械结构示意图

3 测量结果与讨论

将设计开发的介电常数测量仪，用来测量自来水、矿泉水、95%乙醇、岩石板、空气、橡胶块，共6种测试样品。

表1 室温下样品的相对介电常数测量数据

样品	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均值	参考值	相对误差
自来水	85.92	85.93	85.94	85.94	85.94	85.934	86.00	0.0008
矿泉水	41.59	41.59	41.61	41.63	41.62	41.608	40.00	0.0402
95%乙醇	24.79	25.76	25.48	25.53	25.62	25.436	26.00	0.0217
岩石板	1.96	1.97	1.96	1.97	1.96	1.964	2.00	0.0180
空气	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.9975	1.00	0.0025
橡胶块	1.99	2.01	1.90	1.99	2.04	1.986	2.00	0.0070

4 结论

论文设计开发一套介电常数测量仪，采用平行板电容器法为基本原理，使用FDC2214电容式传感器芯片，与STM32单片机结合，自主设计硬件电路和编写软件程序，实现了仪器的检测功能，能够完成对大多数固体、液体以及气体介质材料的测量，并通过多次实验，对实验收集到的数据进行分析。该仪器结构简单、使用方便、测试速度快、制作成本低，具有一定的实用性。但仪器仍存在一定的缺点与不足待日后完善。如由于原理性的问题需要对测试样品进行特殊的处理，降低了仪器的实用性、便捷性；采集装置使用接触式测量，需要用到压力装置，不够理想，并且压力装置

具体测量步骤：

①测量的样品首先进行处理，例如自来水、乙醇等液体样品装入密封的薄膜袋并排出其中的空气，并能够通过挤压达到厚度11mm且完全填充平行极板间隙；岩石板、橡胶块这样的固体样品制成厚11mm、面积大约50mm×50mm的块状；空气不需要特殊准备。

②然后将仪器置于水平桌面并接入电源，启动仪器进入自检程序，确认无误后进行下一步。

③将待测样品放入测量区域的指定位置，盖上下极板，由定位挡板确定位置，操作仪器进行数据采集，将数据记入表格。

④重复②、③两步，每种样品进行五次测量，直至6种样品全部测完。

将测量的结果整理在表1中，从结果来看，研发的仪器给出了非常合理的测量结果。其中，自来水的测量结果最为接近，而矿泉水的测量结果偏差较大，可能是由于矿泉水的成分与标准值的成分不同造成的。

过于简陋。对此可以改为非接触式测量，不仅可省去压力装置部分，而且不与样品接触，既保护了样品又能提高准确度，还使操作更为简化。仪器为实验教学中材料介电常数的测量提供了新的思路。

参考文献

- [1] 杨蓉.高介电常数材料测试技术[D].成都:电子科技大学,2019.
- [2] 王德成.基于微波结构谐振特性的介电常数测试方法研究与设计[D].重庆:重庆邮电大学,2021.
- [3] 孙耀强.电容式粮食水分在线检测仪的研究[D].长春:吉林农业大学,2014.
- [4] 张晓飞,杨定新,胡政,等.基于电介质介电常数测量的油液在线监测技术研究[J].传感技术学报,2008,21(12):2088-2091.