

基于电容传感的液体浓度测量系统设计

许地锦, 黄希鹏, 谢晓梅, 黄源策, 林镇国, 刘伟慈*

(广州工商学院工学院, 广东 佛山 528138)

摘要 为了快速准确地检测出液体浓度, 本研究以电容传感器作为检测装置, 单片机作为处理器, 液晶作为显示模板, 设计并实现了一种新型液体浓度检测装置。该装置中溶液浓度变化引起电容值变化, 进而通过谐振电路转化为电容的变化量。该系统不仅可以实现透明液体浓度的测量, 也可以应用于非透明液体浓度的检测。

关键词 溶液浓度; 电容传感器; 单片机

中图分类号: TM53

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)08-0001-03

液体浓度测量在农业、化工业、医疗等领域应用广泛^[1-3]。在农业中用于农作物的液体浓度极大地影响农作物的生长, 相关药物的液体浓度的测量必不可少。在化工业中, 造纸过程中的纸浆浓度、石油等物质的含水量测量都需要测量精确的溶液浓度数值。在医疗领域, 药品生产、临床药品等需要配制一定浓度的药物以起到最佳治疗效果。虽然液体浓度测量的方法有很多^[4-6], 但把被测液体物理量及其变化规律转变为电容量及其变化规律的电容传感器具有简单的结构、极高的灵敏度、极快的动态响应、极强的适应性、极大的抗过载能力, 特别是非常低廉的价格等特点。因此常被应用于农业种植、工业生产、食品加工、汽车行业、医疗卫生、触摸屏、液体参数测量等领域。为了实现液体的浓度测量, 本文设计了基于电容传感器的检测装置, 实现了液体的浓度检测。

1 实验原理与装置设计

1.1 电容法溶液浓度测量原理

根据电容器的电容公式 $C = \epsilon S/d$, 其中 d 是极距, S 是极板 - 极板面积, ϵ 是极间介电常数, 当极距 d 和电容极板面积 S 不变的时候, 电容量 C 就是电容介质常数 ϵ 的一元函数。被测透明液体浓度的不同, 对应的电容介质常数 ϵ 亦不同, 测得电容值也不同, 这说明我们可以通过测量电容值的变化探测溶液的浓度变化情况。

1.2 电容传感器装置的设计

电容传感器装置实物图如图 1 (a) 所示, 采用 40 片铝片为一组的两组铝合金板通过螺杆组合平行交替放置两两构成电容极板, 如图 1 (c), 利用电容并联 (图 1 (d)) 的原理, 通过两两穿插的方式来增大电容。两根螺杆上的同一端各缠绕一根导线引出两个电极, 容器内为测试溶液。溶液浓度变化, 使得自身介电常数变化, 从而引起电容值变化, 再通过检测电路将其转换成电量。

1.3 信号检测电路的设计

系统信号检测电路 555 构成的 RC 振荡电路的设计如图 2 所示。RC 振荡器将电容传感器值 C_x 转化成频率量输送到单片机处理。充电放电 (即工作时间) 所需的时间分别为:

$$t_{\text{pH}} = (R_1 + R_2) C_x 1n2 \quad (1)$$

$$t_{\text{pL}} = R_2 C_x 1n2 \quad (2)$$

这样在检测电路输出端得到方波信号, 其频率为:

$$f = 1 / (t_{\text{pH}} + t_{\text{pL}}) \quad (3)$$

$$T = 1/f = t_{\text{pH}} + t_{\text{pL}}$$

根据式 (1) - (3) 可推出 C_x :

$$C_x = 1.43 / (R_1 + 2R_2) f \quad (4)$$

由式 (4) 知, 当 R_1 和 R_2 不变的时候, 电容传感器 C_x 值随着振荡器 f 改变, 因此我们可以通过测量振荡器输出频率 f 实现电容传感器 C_x 的测量, 最后通过

★基金项目: 广东省普通高校特色创新类项目 (自然科学) (No. 2022KTSCX166), 广州工商学院质量工程建设项目 (Nos. ZL20221057, ZL20211104, ZC20211125), 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目: 电子信息实验教学示范中心, 教育部高等教育司产学研合作协同育人项目 (No. 202101138003), 广州工商学院大学生创新创业训练计划项目《基于嵌入式的中药吸湿称重系统设计》(编号 88)。

*本文通讯作者, E-mail: liuweici-2002@126.com。



图1 电容传感器装置

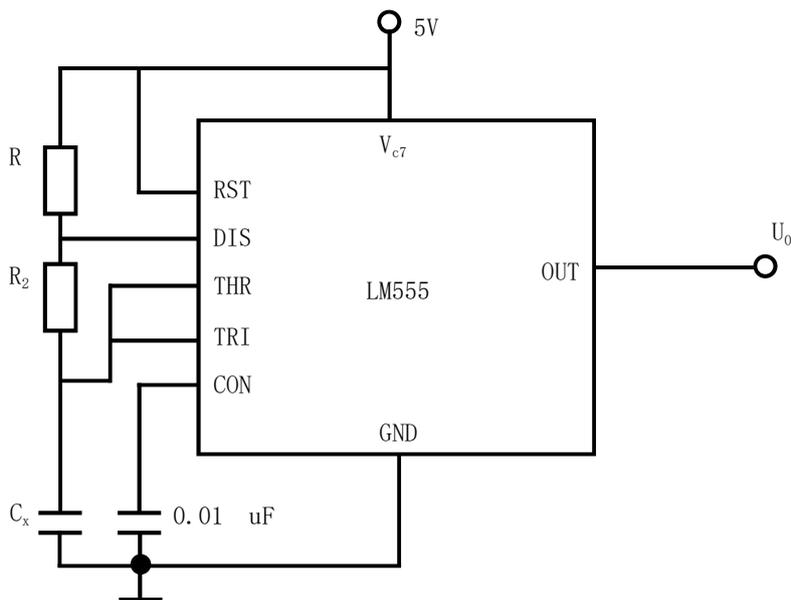


图2 555构成的RC振荡电路

C_x 的值探测被测溶液的浓度（见表1的数据分析）。

2 实验装置的实现及测试分析

根据图1的电容传感器电路原理以及公式(1)-(4)，我们设计了由电容器、Iap15w4k58s4芯片、555芯片、LCD1602显示屏、电阻等元器件组成的液体浓度检测装置，其中自主设计的电容器作为电容检测模块，Iap15w4k58s4单片机作为控制系统的核心，LCD1602作为显示模块，555构成的RC振荡器产生信号。公式(4) $C_x = 1.43 / (R_1 + 2R_2) f$ 中的 $R_1 = 2.2k\Omega$ ， $R_2 = 1.0k\Omega$ 。本装置实现了液体的浓度检测，具体如表1和图3所示。

本文设计的装置浓度实验测量是在常温下进行的，测试场所随机，没有特别要求。测试中所用液体为纯甘油溶液与蒸馏水进行稀释，得到不同浓度甘油溶液。测试中用纯净的甘油和蒸馏水配制稀释质量浓度分别为100%、80%、60%、40%、20%，共5种浓度。

实验中使用本文设计的装置对液体进行浓度测试，测量结果如表1和图3所示。

由图3可知，透明液体所测得的电容值随液体质量浓度百分比的增大而增大。实验测量结果误差来源主要是实际电阻阻值、系统误差、随机误差。

容传感器浓度测量装置部分中，考虑到技术以及成本方面的问题，我们一开始参考相关文献，是采用玻璃试管上喷涂氧化锡作为电容两极板的装置^[7]，但是我们改为采用塑料容器作为实验容器代替玻璃试管，这大大降低了成本、也更容易得到，不用在玻璃管上喷涂氧化锡，同时更便于容器大小的改变。在电极方面，我们采用铝合金板通过螺杆组合作为电容两极，在螺杆的同一端分别引出两极的导线，实现以不同溶液作为电容介质的装置。在555构成的RC振荡器方面，改变了R1与R2的阻值，从而改变了振荡器的输出频率，提高了测量传感器的值，减少了传感器的误差值。

本实验装置采用模块化设置极大地提高了系统的稳定性和可靠性，可以在食品、医学、酿酒等诸多行业推广应用。

表 1 甘油溶液测量浓度与装置工作时间

序号	浓度	所测得的电容量 (nF)		
1	100%	1297	1506	1696
2	80%	1069	1164	1402
3	60%	1081	872	934
4	40%	128	104	104
5	20%	40	40	48

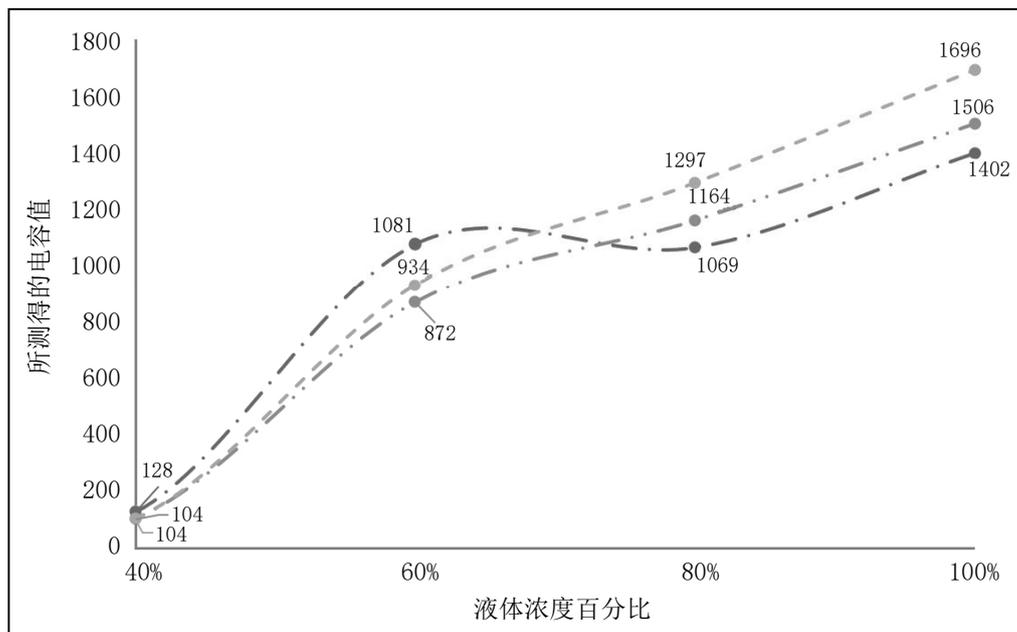


图 3 透明液体电容值随浓度变化曲线图

3 结论

本文设计的液体浓度的测量装置,采用自主设计的电容传感器作为检测装置, Iap15w4k58s4 单片机作为控制系统的核心, LCD1602 作为显示模块。系统程序采用模块化的结构。该装置利用电介质变化引起的电容变化,再利用溶液浓度与电介质之间的关系,快速、准确地测算出待测溶液的浓度,实现非接触式的溶液浓度测量,降低对溶液的污染。整个实验装置线路简单,性能稳定可靠。

参考文献:

[1] JJ Baustian,MB Pate,AE Bergles.Properties of Oil-Refrigerant Liquid Mixtures with Applications to Oil Concentration Measurement[J].Begel House Inc,1987:404-428.

[2] Modigell,MichaelSchagen,André.Luminiscence technique for the measurement of concentration fields in thin liquid films[Z].2nd International Berlin Workshop-IBW2 on Transport Phenomena with Moving Boundaries:9th - 10th October 2003 Berlin,Germany/Frank-Peter Schindler (ed.),2003.

[3] 李昊,万昊鹏,张宇.液体浓度测量方法,装置,系统及存储介质:CN202111608511.8[P].2022.

[4] 兰羽,周茜,汪晓红.一种新型透明溶液浓度检测系统的设计[J].机械与电子,2016,34(05):66-68,72.

[5] 沈骁,梁忠诚.透明溶液浓度磁光检测装置:CN10199 5379A[P].2010.

[6] 周向华.超声检测技术对糖溶液的研究及其在浓度检测中的应用[D].杭州:浙江大学,2004.

[7] 同[1].