

## 基于开关电容技术的水位自动测量系统

A automatic water level measurement system based on the switched-capacitor technique

于柏<sup>1</sup>, 刘艳霞<sup>2</sup>YU Bai<sup>1</sup>, LIU Yan-xia<sup>2</sup>

(1. 天津商业大学 信息工程学院, 天津 300134; 2. 河北北方学院 理学院, 张家口 075000)

**摘要:** 提出在开关电容技术基础上, 利用电容式传感器, 设计出一种水位自动测量系统, 该系统能实现把随水位变化的被测电容转换成微处理器能直接处理的二进制数字信号, 从而有效地克服了温漂、零漂、寄生电容、电源电压及各种杂波的干扰。

**关键词:** 开关电容; 电容式传感器; 测量系统

**中图分类号:** TM934.2

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-0134(2009)09-0157-03

## 0 引言

电容式传感器是将被测量的变化转换成电容量变化的一种装置<sup>[1]</sup>, 电容传感器具有温度稳定性好、结构简单、动态响应好、可实现非接触测量, 具有平均效应等优点。电容式传感器除了上述的优点外, 还因其带电极板间的静电引力很小, 所需输入力和输入能量极小, 因而可测极低的压力、力和很小的加速度、位移等, 可以做得很灵敏, 分辨力高, 能敏感 $0.01\mu\text{m}$  甚至更小的位移, 由于其空气等介质损耗小, 采用差动结构并接成电桥式时产生的零残极小, 因此允许电路进行高倍率放大, 使仪器具有很高的灵敏度。

水位测量用电容式传感器不足之处是其输出的电容信号很小, 通常为十几pF至几十pF, 所以其后续测量电路的设计相当关键。测量电路结构设计的好坏直接关系到系统性能的优劣, 所以它是水位检测技术中最重要的部分。本文提出的基于开关电容技术的水位自动测量系统能有效地克服温漂、零漂、寄生电容、电源电压及各种杂波的干扰。经实验证明该电路具有良好的测量精度和可靠性。

## 1 传统电容传感器测量电路

电容传感器是将被测的非电量变换为电容量的变化, 传统电容传感器测量电路<sup>[2]</sup>则是将变化的电容量转换成电压、电流或频率等信号。其测量电路主要有以下几种形式: 1) 变压器电桥电路, 2) 运算放大电路, 3) 二极管双T形电路, 4) 差动脉宽

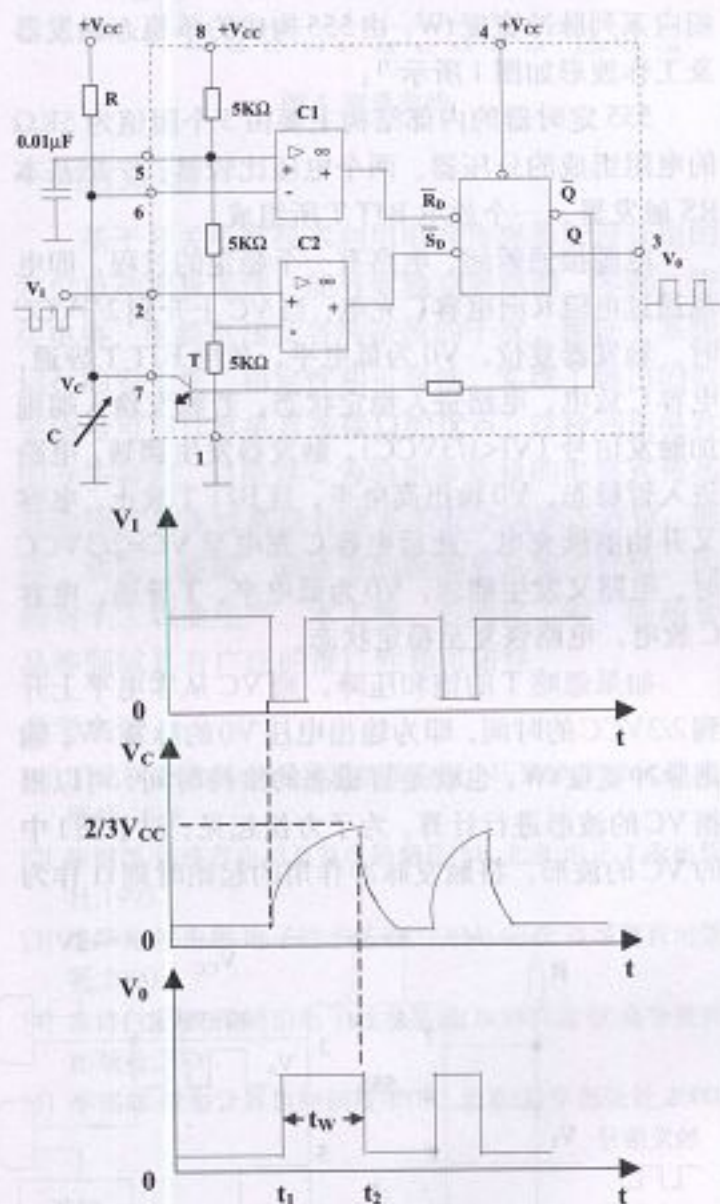


图1 555 构成单稳态触发器

收稿日期: 2009-01-09

作者简介: 于柏 (1968-), 男, 北京人, 实验师, 硕士, 研究方向为信号与信息处理。



调制电路, 5) 调频电路等电路形式。

各种传统测量电路在实际应用上普遍存在着受等效电路、边缘效应、静电引力、寄生电容、零漂、温漂、电源电压及各种杂波干扰的影响。通过利用本文所介绍的基于开关电容技术的水位自动测控电路基本上克服了以上各种不利因素的影响, 保证了测量结果的可靠性和准确性。

## 2 开关电容技术

开关电容技术本质上是把模拟量转化成数字量, 在测量电路的前向通道中, 利用开关电容技术通过电容式传感器将随被测水位  $H$  不断变化所形成的电容量  $C$  经由 555 所构成的单稳态触发器转换成相应系列脉冲宽度  $tW$ , 由 555 构成的单稳态触发器及工作波形如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

555 定时器的内部结构主要由 3 个阻值为  $5K\Omega$  的电阻组成的分压器、两个电压比较器、一个基本 RS 触发器、一个放电 BJT 所组成。

电源接通瞬间, 电路有一个稳定的过程, 即电源通过电阻  $R$  向电容  $C$  充电, 当  $VC$  上升到  $2/3V_{CC}$  时, 触发器复位,  $V_0$  为低电平, 放电 BJT 导通, 电容  $C$  放电, 电路进入稳定状态。若触发输入端施加触发信号 ( $V_i < 1/3V_{CC}$ ), 触发器发生翻转, 电路进入暂稳态,  $V_0$  输出高电平, 且 BJT 截止。电容又开始继续充电, 此后电容  $C$  充电至  $VC = 2/3V_{CC}$  时, 电路又发生翻转,  $V_0$  为低电平, T 导通, 电容  $C$  放电, 电路恢复至稳定状态。

如果忽略 T 的饱和压降, 则  $VC$  从零电平上升到  $2/3V_{CC}$  的时间, 即为输出电压  $V_0$  的脉宽  $tW$ 。输出脉冲宽度  $tW$ , 也就是暂稳态的维持时间, 可以根据  $VC$  的波形进行计算。为了方便起见, 对于图 1 中的  $VC$  的波形, 将触发脉冲作用的起始时刻  $t_1$  作为

时间起点, 于是有:

$$VC(0+) = VC(0-) = 0 \quad (1)$$

根据 RC 电路零状态响应暂态过程的分析, 可得电容元件两端的电压为:

$$VC(t) = V_{CC} - V_{CC}e^{-t/RC} = V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) = V_{CC}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (2)$$

当  $t = tW$  时,  $VC(t) = VC(tW) = 2/3 V_{CC}$ , 代入上式可求得:  $VC(tW) = 2/3 V_{CC} = V_{CC}(1 - e^{-tW/\tau})$

$$tW = RC \ln 3 \approx 1.1RC \quad (3)$$

由公式(3)可见: 脉宽  $tW$  随电容量  $C$  的变化而发生变化, 此时所得到脉冲宽度  $tW$  是与适时水位高度变化相对应的。

## 3 水位测量系统

### 3.1 工作原理

图 2 所示为水位自动测量系统设计原理框图, 设计方法为在与开关电容传感器接口电路中, 将水位参量  $h$  直接转换成具有与其相应宽度的脉冲系列并通过串码/并码变换电路后进入单片机的前向通道, 将水位信息通过单片机的数据采集、数据处理和数字滤波后在 LED 三位数显中显示出来。

时基电路主要由晶体振荡器、分频器组成。时基信号发生电路由石英晶振电路<sup>[4]</sup>产生。石英晶振电路由于采用了具有很高  $Q$  值的石英晶体元件, 所以具有极高的频率稳定度。这里选用频率为  $32.768\text{MHz}$  的晶振, 分频器采用具有 14 级分频功能的 COMS 集成电路 CD4060。

由时基电路产生的时基和脉宽为  $tW$  的脉冲信号分别输入到同一个两输入端与非门, 其输出端即得到与水位高度  $H$  相对应的串行数字信息, 这一数字信息经过由三个 74LS393 (异步清零二进制计数器) 所组成的计数器, 通过串码/并码变换电路, 将

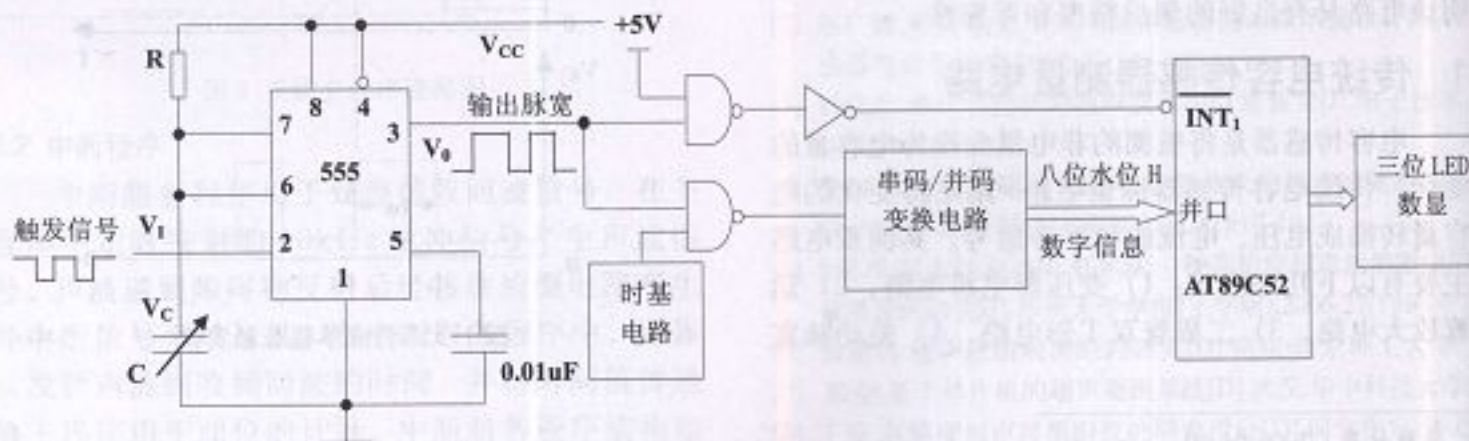


图2 测量系统



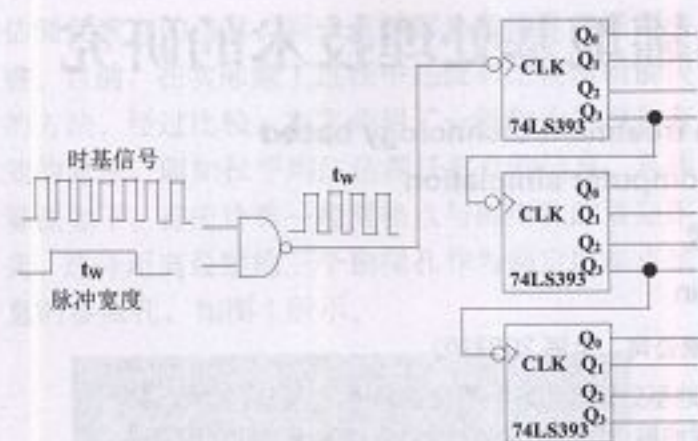


图3 串/并码转换电路

水位串码数据转换为12位并码后直接输入到89C52单片机对应并口线,单片机外部使用计数器对脉冲信号进行计数后,计数值再由单片机读取。此时所传送的这些数据已变成液位高度的实时数据,其电路部分如图3所示。因此对于计算机来讲,这些数据是不断变化的随机数据,为了使计算机能对数据进行采集和处理,我们将 $t_w$ 脉冲信号延时后,利用其下降沿来触发中断。89C52单片机接到中断信号后即可采集到水位数据,并通过串口进行数据输出,驱动LED进行数字显示并定时刷新<sup>[5]</sup>。

### 3.2 设计要点

测量系统在设计过程中要特别注意电缆电容的影响,在传感器通道中除开关电容传感器在被测液体由水位高度 $H$ 所形成的相应电容量 $C$ 外,还有信号电缆所附加的电缆电容 $C_0$ ,当使用电缆长度 $L$ 确定后, $C_0$ 即为一常数。在自动水位测量电路结构中传感器电容量 $C$ 与电缆电容 $C_0$ 的迭加是不可避免的,事实上在传输电缆中传输的脉冲宽度是 $(H+0)$ 的函数,即:这一输出脉宽需经过一个消除电缆电容附加脉宽的电路(可用异或门实现),就形成与水位高度 $H$ 完全对应的脉宽,此时产生的脉宽 $H$ 与水位高度相对应,随水位高度 $H$ 的变化而发生变化。

### 3.3 实验结果

自动水位测量系统一直在实验室1米深的量筒中进行连续测试,根据实际水位数据和LED显示数据的对比记录,可得到如图4所示的测量曲线。

通过实验测试曲线可以发现,在0~1米之间的测量数据发生了+0.03~+0.06米之间的向上偏移,这种现象是由于传感器的非线性特性、边缘效应及杂散电容的影响所造成的上偏误差,同时我们也发现在下行程水位测量过程中的误差较上行程误差稍

大,这可能是由于液体使传感器湿润而增大了电极的有效长度,从而增加了其电容量后所造成的影响。总体来说,测量结果与实际水位基本相符,系统精度完全可以达到设计要求的1.5级的水平。

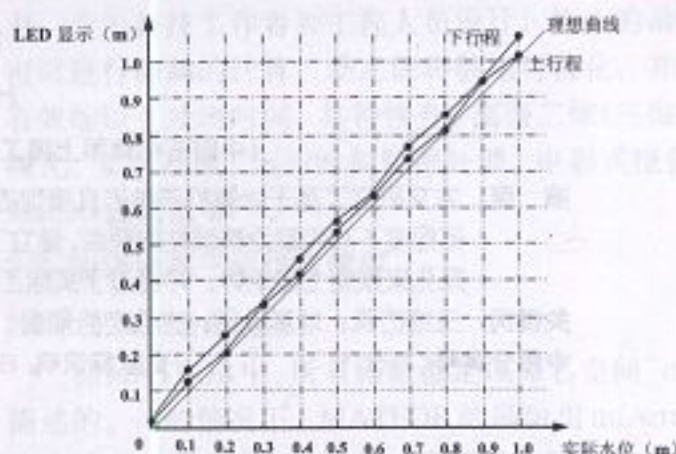


图4 测量曲线

## 4 结束语

基于开关电容技术利用电容传感器所设计出的水位自动测量系统,能有效地克服温漂、零漂、寄生电容、电源电压及各种杂波的干扰,保证了系统运行的安全性、稳定性和可靠性,实现了输出的数字信号可与计算机直接接口的优点。这种利用电容的开关特性,以电容 $C$ 为输出参变量的电容式传感器特别对于直接测量有诸多不安全因素的液位:油库、油箱、酸罐、碱罐等的检测更具实用价值。因而对于工农业生产、水工程、石油化工业、医药食品等领域具有广泛的推广性和可研性。

### 参考文献:

- [1] 王化祥,张淑英.传感器原理及应用[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [2] 张福学.传感器应用及其电路精选[M].北京:电子工业出版社,1993.
- [3] 康华光,邹寿彬.电子技术基础(IV)[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [4] 童诗白,华成英.模拟电子技术基础(III)[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [5] 李锡雄.微型计算机控制技术[M].北京:科学出版社,2000.