

基于无线传输的电导率变送器设计

彭超¹, 张鹏², 肖本贤²

(1.安徽工程大学 电气工程学院, 安徽 芜湖 241000;

2.合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 分析了液体电导率的测量原理, 将电导率的测量转化为电压信号的测量, 并建立了等效电路模型; 利用 MATLAB 对测量电导率电路模型进行了仿真分析, 观察不同参数变化对输出电压幅值的影响, 得出在理想与非理想电阻情况下输入正弦波激励信号频率变化对测量结果的影响, 为提高测量精度, 可利用方波信号代替正弦波信号作为激励源; 给出了在低功耗应用中, 基于 MSP430 单片机和 nRF905 无线模块组成无线数据传输的电导率变送器的设计。

关键词: 电导率传感器; 电路模型; 仿真分析; 激励信号; 无线传输

中图分类号: TP216

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)24-0072-04

Design of conductivity transmitter based on wireless transmission

Peng Chao¹, Zhang Peng², Xiao Benxian²

(1.School of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China;

2.School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Analyzes measuring principle of liquid conductivity, the measure of conductivity is translated into the measure of voltage signal, also equivalent circuit model is built. Simulation analysis by MATLAB are done for measuring conductivity circuit model, the effects on output voltage amplitude are observed with the changes of different parameters variety, the frequency change of input sine-wave excitation signal will influence on measuring result under ideal and non-ideal resistance. In order to improve measuring precision, square wave signal used as excitation source may replace sine-wave signal. Under the low power application, conductivity transmitter with wireless data transmission function is designed based-on MSP430 and nRF905 wireless module.

Key words: conductivity sensor; circuit model; simulation analysis; excitation signal; wireless transmission

目前, 在工业、环保、勘探等自动控制领域中, 都需要对液体成分、性质等因素进行测定分析, 特别是在勘探中, 其工作环境恶劣, 对液体分析要求较高。而电导率是液体的基本属性, 通过测量电导率对分析液体纯净度、电介质含量及带电离子浓度有着重要作用, 故高精度的电导率测量非常重要。现实中电导率的应用范围较广, 但对其模型进行系统分析的文章不多, 本文在利用非接触式电磁感应线圈探头检测液体电导率的基础上^[1-3], 讨论了电导率传感器激励信号频率变化及分布参数对测量精度的影响, 并给出解决方案。考虑到勘探现场有线传输数据及调试不方便等缺点, 给出了特别适合于低功耗、短距离(100 m~200 m)、小数据量的无线数据传输系统的设计。

1 测量原理

电导率传感器结构如图 1 所示, 主要由两个线圈 L_1

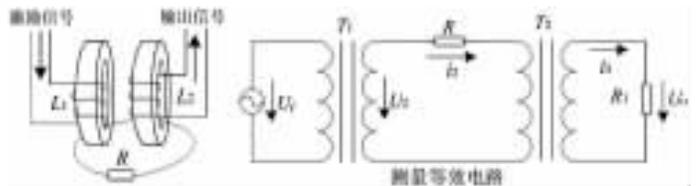


图 1 电导率传感器及其测量等效电路

和 L_2 组成, L_1 和 L_2 是绕有相同匝数铜丝的铁氧体磁环。 L_1 作为输入激励线圈, 与交流电压源相连, L_2 作为输出信号线圈。测量时将其全部浸入待测液体中, 被测液体则必然穿过两线圈的联通孔, 形成公共圈。将被测液体看作是具有一定电阻的单匝线圈, 此时如果在线圈 L_1 两端加幅值不变交流信号, 因为液体单匝线圈穿过 L_1 线圈, 则在单匝线圈内必然有感应电流, 同时也穿过 L_2 线圈, 于是在 L_2 线圈内必然感应出输出信号。所以, 通

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 75

技术与方法 Technique and Method

过测量线圈 L_2 两端的电压即可通过相应计算得出待测液体的电导率。

1.1 电路模型

考虑到盛放被测液体的容器很大,测量容器中探头磁环外液体阻值与磁环内圆柱形液体阻值相比,阻值很小可以忽略不计。取圆柱形液体长度为 L ,截面积为 S ,等效电阻为 R ,电导率为 σ ,则有关系式: $R = \frac{1}{\sigma} \times \frac{L}{S}$ 。

利用等效电阻 R 表示液体电阻,可得到传感器的电路模型,如图 1 所示。

图 1 中, R 为液体等效电阻, R_1 为取值电阻; T_1 的一次绕组、二次绕组分别为 M 、 $N(N=1)$; T_2 的一次绕组、二次绕组分别为 N 、 $M(N=1)$ 。

在 T_1 的一次绕组两端加幅值为 U_i 、频率为 f 的等幅交流电压信号,则必在其二次绕组感应出电压 U_2 :

$$\frac{U_i}{U_2} = \frac{M}{N} = M$$

流过电阻 R 的电流为: $i_2 = \frac{U_2}{R}$

T_2 是一个电流互感器,有关系式: $\frac{i_2}{i_3} = \frac{M}{N} = M$

R_1 两端电压为: $U_0 = R_1 \times i_3$

综上各式,得关系式:

$$U_0 = \frac{1}{M^2} \frac{R_1}{R} U_i = \frac{1}{M^2} \frac{S}{L} R_1 \sigma U_i$$

由上述分析可知,运用电磁感应原理,测量液体电导率可以转化为测量液体电阻,进而转化为测量输出端电压,由于输出电压与电导率存在线性关系,通过一定线性转换,即可求出被测液体电导率。

1.2 仿真分析

为了验证理论分析的有效性,在 MATLAB 中对建立的电路模型进行仿真分析。

1.2.1 理想情况下的仿真分析

理想情况下的电路仿真模型如图 2 所示,取输入交流信号幅值为 10 V,频率为 20 kHz, $M=100$, $N=1$, $R_1=5 \Omega$, R 分别取值为 1 Ω 、2 Ω 、2.5 Ω 、5 Ω 、10 Ω 。

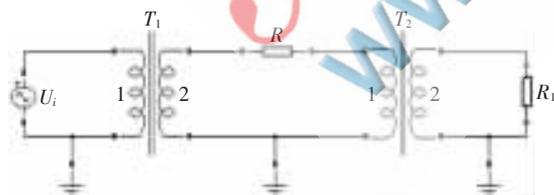


图 2 理想情况下的仿真电路模型

图 3 中,曲线 a 对应等效电阻 $R=1 \Omega$ 时的输出信号,其幅值为 5 mV;曲线 b 对应 $R=2 \Omega$ 时的输出信号,幅值为 2.5 mV;曲线 c 对应 $R=2.5 \Omega$ 时的输出信号,幅值为 2 mV;曲线 d 对应 $R=5 \Omega$ 时的输出信号,幅值为 1 mV;曲线 e 对应 $R=10 \Omega$ 时的输出信号,幅值为 0.5 mV。

由仿真结果发现,输出电压幅值与液体等效电阻 R 之间存在较高的线性度。但是,这是在理想情况下的结

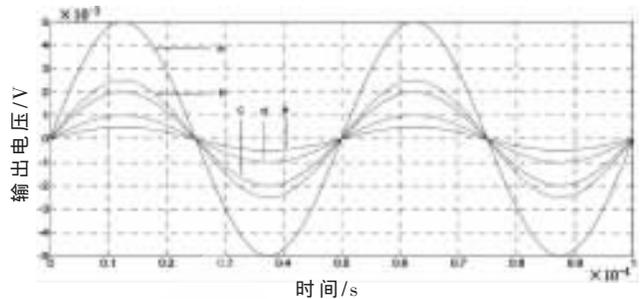


图 3 不同电导率下的输出电压波形

果。实际中液体、传输导线都存在一定的分布参数,激励信号频率的变化对输出结果是否存在影响,分布参数的存在是否会影响测量精度还需做进一步分析。

1.2.2 非理想情况下的仿真分析

非理想情况下,考虑输入信号幅值为 10 V,频率可变, R 取 1 Ω ,现在 R 的两端并联一个 1 pF 的电容 C ,电路模型如图 4 所示。记录不同频率下的输出波形和输出信号幅值。

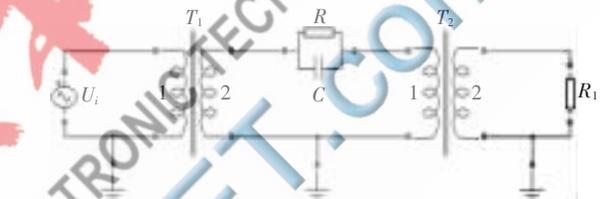


图 4 非理想情况下的仿真电路模型

(1)激励信号频率为 200 kHz、400 kHz、600 kHz、800 kHz、1 MHz 时,输出波形如图 5 所示。

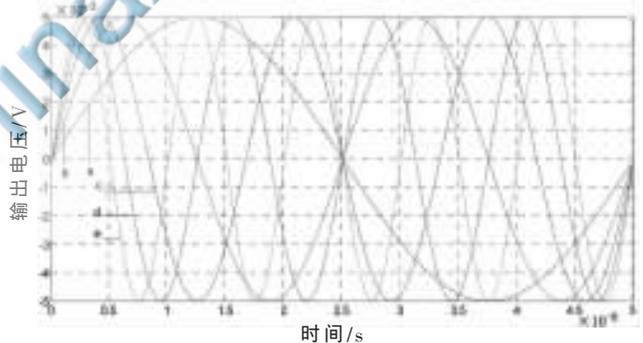


图 5 不同频率激励信号下的输出电压波形

图 5 中,曲线 a 对应激励信号频率为 200 kHz 时的输出信号,其幅值为 5 mV;曲线 b 对应频率为 400 kHz 时的输出信号,幅值为 5 mV;曲线 c 对应频率为 600 kHz 时的输出信号,其幅值为 5 mV;曲线 d 对应频率为 800 kHz 时的输出信号,其幅值为 5 mV;曲线 e 对应频率为 1 MHz 时的输出信号,幅值为 5 mV。由仿真结果可见,各输出波形峰值相同,在此频率段,输出峰值不受频率变化影响。

(2)激励信号频率为 1 MHz、2 MHz、3 MHz、4 MHz、5 MHz 时,输出波形如图 6 所示。

图 6 中,曲线 a 对应激励信号频率为 1 MHz 时的输出信号,其幅值为 5 mV;曲线 b 对应频率为 2 MHz 时的输出信号,幅值为 4.95 mV;曲线 c 对应频率为 3 MHz 时

技术与方法 Technique and Method

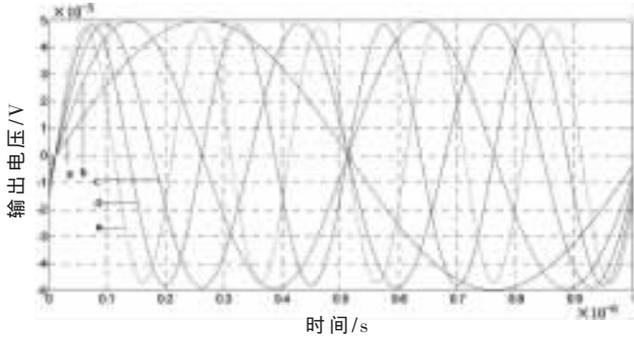


图6 不同高频激励信号下的输出信号波形

的输出信号,其幅值为 4.89 mV;曲线 d 对应频率为 4 MHz 时的输出信号,其幅值为 4.82 mV;曲线 e 对应频率为 5 MHz 时的输出信号,幅值为 4.72 mV。由仿真结果可见,各输出波形峰值不同,频率越高,影响愈大。实际中分布参数影响更严重,所以激励信号的频率会受到限制。

1.3 仿真结论

理想情况下,输出电压幅值与等效电阻呈线性关系;非理想情况下,输出电压幅值受到输入信号频率影响,其中低频时影响较小,频率越高,分布参数对输出电压幅值影响越大。因此,在实际应用中选取的正弦波频率不宜太高。

当输入频率高于 1 MHz 时,由于被测系统中分布电容存在,输出幅值将会受到分布电容的影响而削弱,如果用高频的双极性脉冲作为激励信号,在激励信号的前半个周期和后半个周期,激励电压同值反向,被测系统中的削弱现象就得到抑制^[4-6]。经仿真可发现,用高频的双极性脉冲作为激励信号时,即使频率高达 1 MHz、2 MHz、3 MHz、4 MHz、5 MHz,输出值为 5 mV 不变。取输入信号为 5 MHz 正弦波和 5 MHz 方波时输出波形如图 7 所示。因此,采用方波信号代替正弦波信号,可有效提高测量精度,减小分布参数的影响。

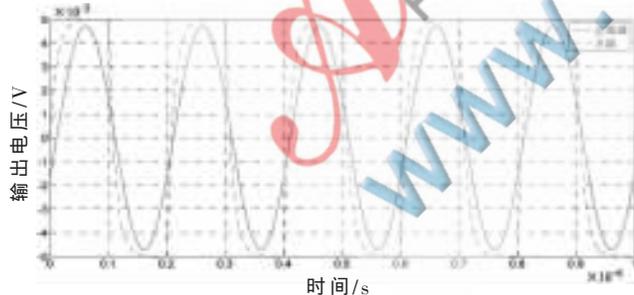


图7 不同激励信号源下的输出信号仿真比较

2 变送器设计

变送器硬件主要由 3 个模块组成,即传感器测量单元、数据处理控制单元和无线通信单元。

(1) 传感器测量单元:传感元件为电导率传感器探头和温度传感器。由 CPU 产生的方波激励信号,经放大后送入传感器测量探头,输出信号经精密整流、偏移放大、滤波及限幅等处理后送往 CPU。

(2) 数据处理控制单元:从测量单元获得的电压与温度信号由 CPU 进行数据采集、零点与满量程校正、温度补偿等处理^[7-9],获得待测液体的电导率,同时对应输出一路 4 mA~20 mA 的标准信号。本单元核心部分为 16 位超低功耗的 MSP430 系列单片机,该单片机电源电压为 1.8 V~3.6 V,待机电流小于 1 μ A,在 RAM 数据保持方式时耗电仅 0.1 μ A,在活动模式时耗电 250 μ A/MIPS (MIPS:每秒百万条指令数);具备高性能模拟技术及丰富的片上外围设备,包括 10/12/16 位 ADC、12 位 DAC、比较器、多个定时器、片内 USART、看门狗、片内振荡器、大量的 I/O 端口及大容量的片内存储器,一般单片就可以满足大多数应用需要。基于上述特点,MSP430 系列单片机在温度检测、智能变送器、便携式仪表、实用检测仪器等领域得到了广泛的应用。

(3) 无线通信单元:选用单片集成射频收发器芯片 nRF905,可直接与各种单片机连接使用,软件编程非常方便,而且抗干扰能力强,特别适合工业控制场合。nRF905 是挪威 Nordic VLSI 公司推出的单片射频收发器,工作电压 1.9 V~3.6 V,工作于 433/868/915 MHz 3 个 ISM(工业、科学和医学)频道,频道之间的转换时间小于 650 μ s。nRF905 功耗非常低,工作于接收模式时的电流为 12.5 mA,以 -10 dBm 的输出功率工作时电流只有 9 mA,内建空闲模式与关机模式,易于实现节能。nRF905 由频率合成器、接收解调器、功率放大器、晶体振荡器和调制器组成,使用 SPI 接口与微控制器通信,配置方便。

nRF905 发送数据与接收数据的流程如图 8、图 9 所示。

本文介绍了测量液体电导率的基本方法,并通过构造测量电路模型进行理论分析和仿真验证。结果表明,在理想情况下,只考虑液体为纯电阻,测量电压幅值大小与液体电导率高低呈线性关系,具有极高的线性度和

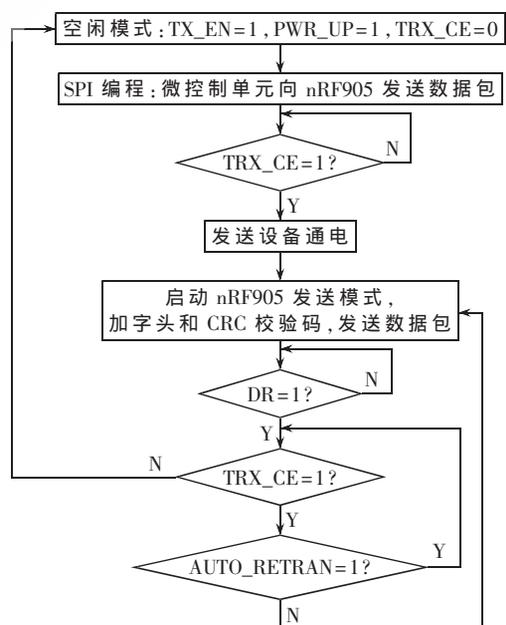


图8 nRF905 发送数据流程图

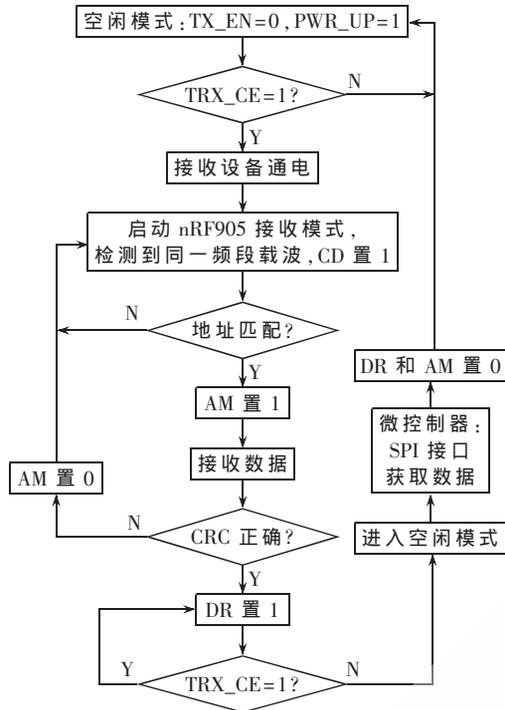


图9 nRF905接收数据流程图

精度,且不会受到输入正弦波信号频率的影响;在非理想情况下,需要考虑到液体电阻、导线等分布参数的存在。此时仿真结果表明,测量电压幅值大小与液体电导率高低仍呈线性关系,但会受到输入正弦波频率的影响,针对实际环境需要选择合适频率的正弦波激励信号。针对非理想情况下的这种影响,可选择高频双极性脉冲方波作为传感器的激励源,由于在激励信号的前半个周期和后半个周期幅值相等、极性相反,激励电流同值反向,可削弱被测系统中介质电极化现象,同时可以减弱传感器与导线分布参数的影响,可以有效提高测量精度。这里设计的基于MSP430单片机和nRF905

无线模块的电导率变送器具有功耗低、测量信号稳定与精度高、重复性能好等特点,该电导率传感器已用于综合录井中测量泥浆电导率,也可用于如水质净化、液体电性能分析等领域。

参考文献

- [1] 周明军, 尤佳, 秦浩, 等. 电导率传感器发展概况[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(4): 9-11.
- [2] 容兰, 王喆阳, 寇大武, 等. 利用非接触式电磁感应线圈探头测液体电导率[J]. 物理实验, 2011, 31(3): 8-10.
- [3] 陈培杰, 汪志云. 用自制非接触式液体电导率传感器测量液体的电导率[J]. 科技信息(学术版), 2008(7): 96-98.
- [4] 谭有广, 刘峰. 非接触测量液体电导率的仿真与实验分析[J]. 电工技术杂志, 2004(7): 69-71.
- [5] 李琳, 陈文芗. 频率自适应电流源克服电容影响的电导率测量[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(12): 2256-2259.
- [6] 赵学亮, 史云, 冯苍旭. 双极性电压脉冲激励的智能电导率测量仪[J]. 自动化仪表, 2011, 32(1): 76-79.
- [7] 张兆英. 海水电导率、温度和深度测量技术探讨[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(72): 38-41.
- [8] 刘长国. 智能电导率测量系统的数据处理[J]. 长春工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(1): 33-37.
- [9] 丁和斌, 张凯, 黄扬明. 基于C8051F单片机的电导率仪的研制[J]. 仪表技术, 2008(2): 51-53.

(收稿日期: 2013-08-31)

作者简介:

彭超, 男, 1973年生, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 智能控制, 运动控制。

张鹏, 男, 1990年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能控制, 检测技术。

肖本贤, 男, 1964年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 智能控制, 运动控制, 汽车电子技术。