

基于交流电桥的电容式水分检测电路的设计

徐涛¹, 宋文爱^{1,2}, 陈以方², 贺佳¹

(1. 中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051;

2. 清华大学 无损检测技术实验室, 北京 100084)

摘要: 在已有的在线水分含量检测方法中, 电容法优势最为明显, 可靠性和精度都较高。基于交流电桥原理设计了一种电容式传感器检测电路, 并结合水分检测的具体要求, 完成了对硬件电路的制作与调试, 并通过实验验证了电路的可行性。

关键词: 交流电桥; 电容式传感器; 水分检测

中图分类号: TP274

文献标识码: A

Design of circuit for examination of moisture content with capacitance sensor based on AC bridge

XU Tao¹, SONG Wen Ai¹, CHEN Yi Fang², HE Jia¹

(1. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. NDT Technology Lab, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Various ways have been developed in order to solve the problem of online examination of moisture content. Among all the methods which have been used recently, the advantages of measuring capacitance are most obvious, and it also has a relatively high level of reliability and precision. Based on the principle of AC bridge, an examination circuit using capacitance sensor is designed here. Combining with the requests of examination of moisture content, a hardware circuit is developed and debugged. The experiment proves the feasibility of the circuit.

Key words: AC bridge; capacitance sensor; examination of moisture content

在检测技术中, 现在广泛地采用非电量电测技术及其仪器, 电测技术通过间接测量与非电量相关的物理量变化, 如电阻率、磁导率、介电常数等来实现检测。此种检测方法速度较快, 易于实现在线检测, 故在工业上有着广泛的应用前景。而在非电量电测技术领域, 非接触测量方法则一直是检测技术发展的一个重要方向。此方法具有检测探头寿命长、测量精度高的特点, 故在大多数场合下具有较大的优势。目前非接触测量的传感器大致包括电感式、电涡流式、电容式、光电式等, 其中电容式传感器的优势最为明显, 它不仅具有体积小、响应时间短、灵敏度高的优点, 而且还可以在恶劣条件下正常工作^[1]。本文正是利用了水的介电常数相对比较大(约为 80, 一般物质为 2~5), 而且随水分含量的增加而增加的特性, 设计了一套适合在线电容测量的水分检测电路, 采用电容传感器能够很好地测量出被测物中的水分

含量。通过加入自动平衡模块、单片机控制环节可以克服电容法测量的一些局限性(如输出阻抗高、抗干扰能力差), 从而实现在线精确检测的效果。

1 硬件电路设计

检测电路由信号检出电路、激励源、放大电路、检波与滤波电路、自动平衡电路以及单片机控制环节组成, 如图 1 所示。

1.1 激励源

激励源被用于向传感器提供激励信号, 是整个检测系统的重要组成部分, 激励信号的好坏对系统性能有很大的影响。因此要提高检测精度, 就必须提高激励源的品质, 即保证信号波形良好, 且频率、幅值比较稳定。本文应用单片机 AT89S51 和 DDS 芯片 AD9854 设计了一种具有两路输出的信号源, 两路输出之间的相位差固定为 90°, 输出信号的频率范围为 0~5 MHz^[2]。用户在上位

应用奇葩

Example of Application

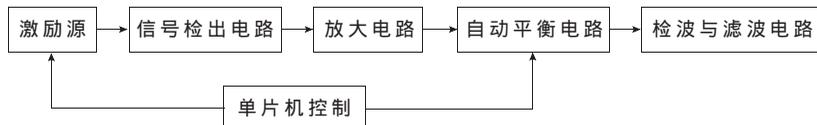


图1 检测电路系统框图

机界面设定好频率控制字,通过 RS232 串行口传递给单片机,由单片机控制 AD9854 发出设定频率的正弦波。由于 AD9854 的供电电压为 +3.3 V,而单片机 AT89S51 为 +5 V,因此选取 SN54LVT162245 电平转换芯片将 +5 V 换成 +3.3 V 的逻辑电平。激励源模块结构框图如图 2 所示。

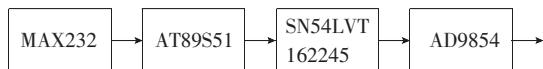


图2 激励源模块结构框图

1.2 信号检出电路

当信号被放大到合适大小后必须予以处理以提取出由有关参量所施加的调制,即需要用检出电路来解调。电桥电路是一种广泛被采用的信号检出电路,它可以将电阻、电容、电感等参数的变化转换为电压或电流,以便于后续处理^[3]。在本水分检测系统中, Z_1 和 Z_2 采用精密电阻, Z_3 和 Z_4 则分别为标准电容 C_1 和检测电容 C_2 。电桥电路如图 3 所示。选取电容 C_1 和 C_2 ,在不同的测量基准平衡电桥,在调平衡时分别放入相同的水含量的待测物。然后固定电容 C_1 ,另一电容中转为待测电容,从而使其电容值得到改变。通过测量其变化电压,进而可以计算出所测物质的电容值。

1.3 放大电路

由于 AD9854 的输出电流峰峰值只有 10 mA,外接 100 Ω 负载电阻后,其电压峰峰值只有 1 V,驱动能力较弱,因此需要进行功率放大。AD830 是高速差分放大器;LM6321 是高速缓冲器,可用于功率放大。AD830 的增益 $G_1=1+R81/R2=3$,LM6321 的

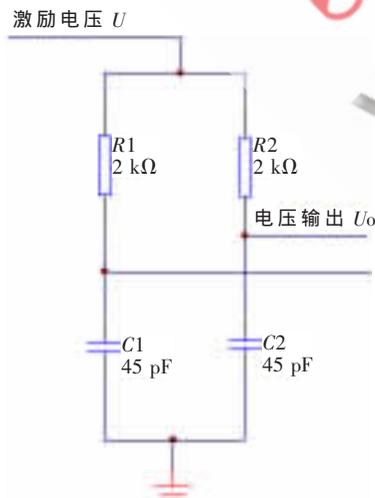


图3 电桥电路图

增益 $G_2=1$,因此激励源输出的信号 U_o 为 6 V。电路原理图如图 4 所示。

1.4 平衡电路

由于电桥本身存在不平衡,即使在空载的情况下电桥的输出也不会为零,而是存在一个固定信号,如果不能有效地抑制掉这一干扰信号,将极大地限制水分检测电路测量的精确度。本文设计的自动平衡电路,能够按设定的方式消除检测电路的误差,实现电桥的快速自动平衡。实现电路的平衡需要以下元器件:方向比较器、二进制计数器、数模转换器、模拟乘法器以及求和运算放大器等。平衡模块结构框图如图 5 所示。

方向比较器采用 AD790 实现,为了避免平衡输出发生振荡,每一通道上皆采用两片 AD790 构成双限比较器。AD790 是高速精密比较器,其输出与 TTL 和 CMOS 电平兼容。其中,OUTX 是水平相位信号,作为比较器的输入,COMPX1 和 COMPX2 是比较器的输出。比较器的上下限分别为 +40 mV 和 -40 mV。

二进制计数器采用 74LS193,74LS193 是 4 位加/减计数器,为了提高平衡的精度,每一通道将采用 3 片 74LS193 构成 12 位的二进制计数器。计数器之前的逻辑控制由 74LS00 实现。

数模转换器采用 12 位并行输入数模转换芯片 AD8582。AD8582 采用单 +5 V 电源供电,其输出电压范围是 0~4.095 V,电压分辨率为 1 mV/bit,此外 AD8582 还有一个 +2.5 V 的参考电压输出。

以上三部分构成平衡信号处理电路部分,如图 6 所示。

平衡信号合成电路部分由模拟乘法器与加法器构

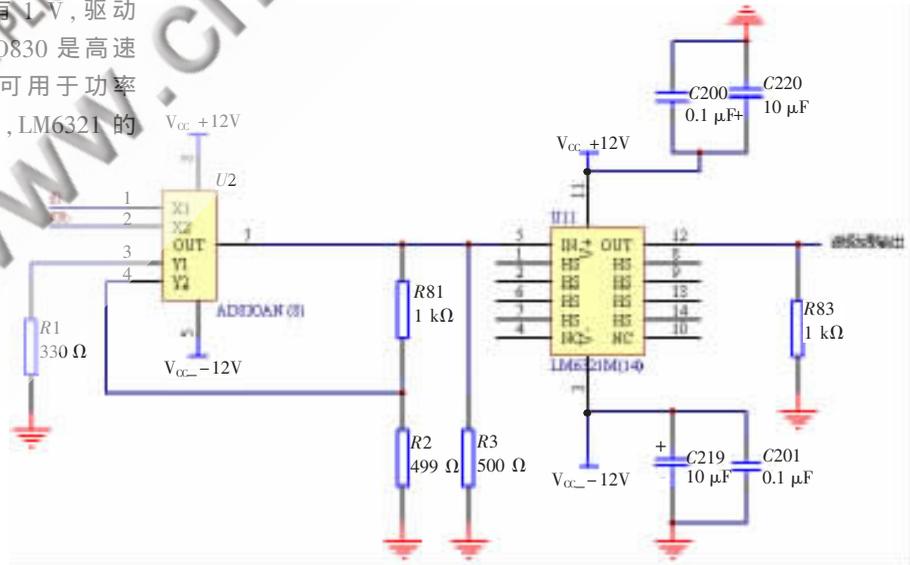


图4 激励源放大电路原理图



图5 平衡模块结构框图

应用奇葩

Example of Application

成。其中,模拟乘法器采用 AD835,而加法器采用 AD9631 构成求和运算电路。如图 7 所示。

1.5 检波与滤波电路

本文采用模拟乘法器 AD835 作为相敏检波器,采用正弦波作为参考电压。使用模拟乘法器作为相敏检波器件,可以提高信号的信噪比。电路原理图如图 8 所示。

相敏检波后的输出信号包含了无用的高频分量,需要通过低通滤波器将其消除。本文采用电压反馈运算放大器 AD9631 构成的二阶有源低通滤波器^[4]。电路原理图如图 9 所示。

2 系统软件设计

水分检测电路的两大核心控制模块为频率调节与

自动平衡模块,因此主程序的主要作用为通过单片机强大的运算功能,对以上两个模块进行实时控制,以满足测量的要求。主程序流程图如图 10 所示。

3 试验及测试结果

为测量电容值随水分含量变化的关系,对不同水分含量的火药(颗粒状)进行测量,实验过程中交流电桥的标准电容选取 45 pF 时,灵敏度最高所对应的激励频率为 664 kHz,测量数据结果如表 1 所示。当水分含量小于 2% 时,电容值基本不变;当水分含量达到 2% 时电容值最小;当水分含量大于 2% 时,电容值随水分含量升高而逐渐增大,变化相对明显。

水分含量作为多种产品的重要技术指标之一,为出厂

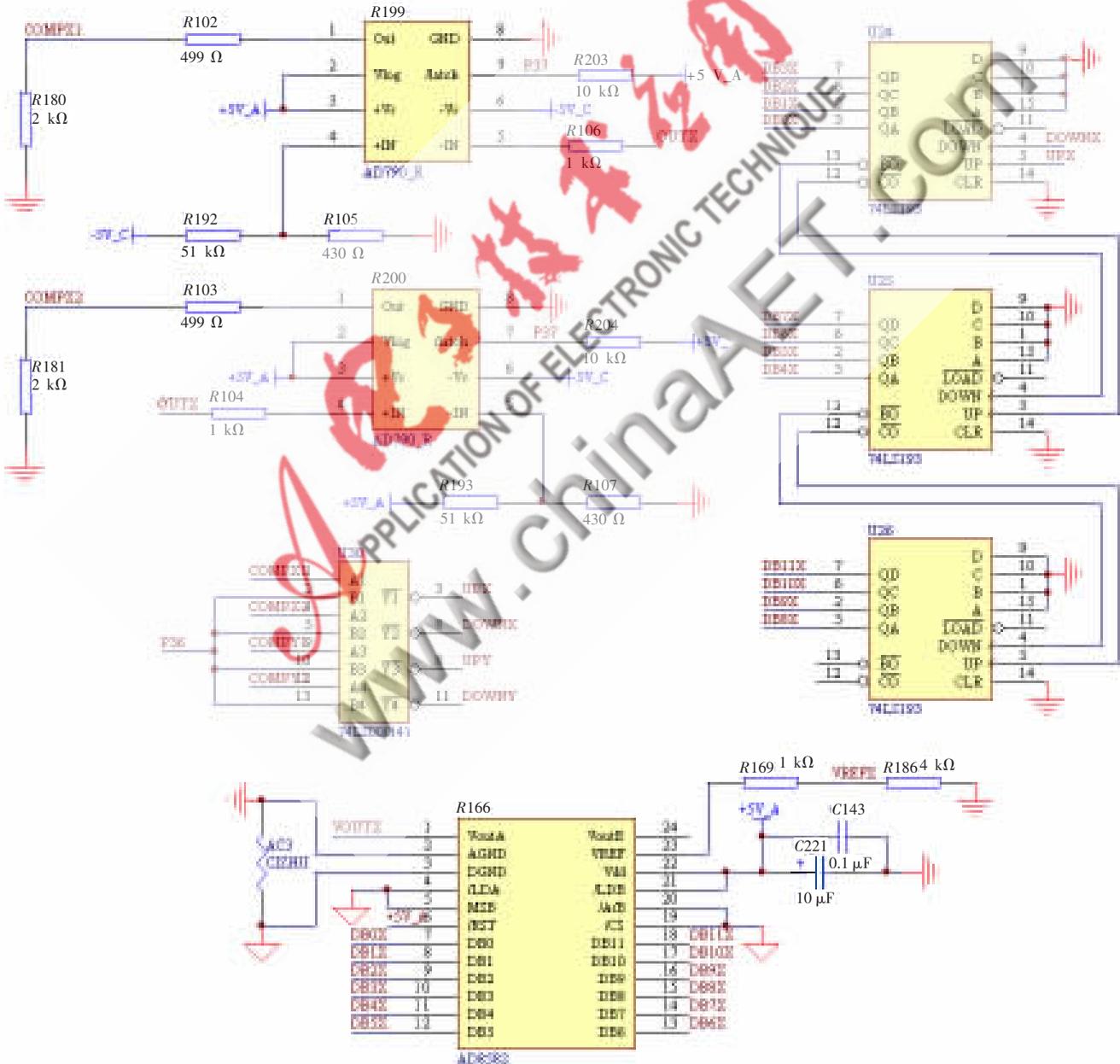


图 6 平衡信号处理电路原理图

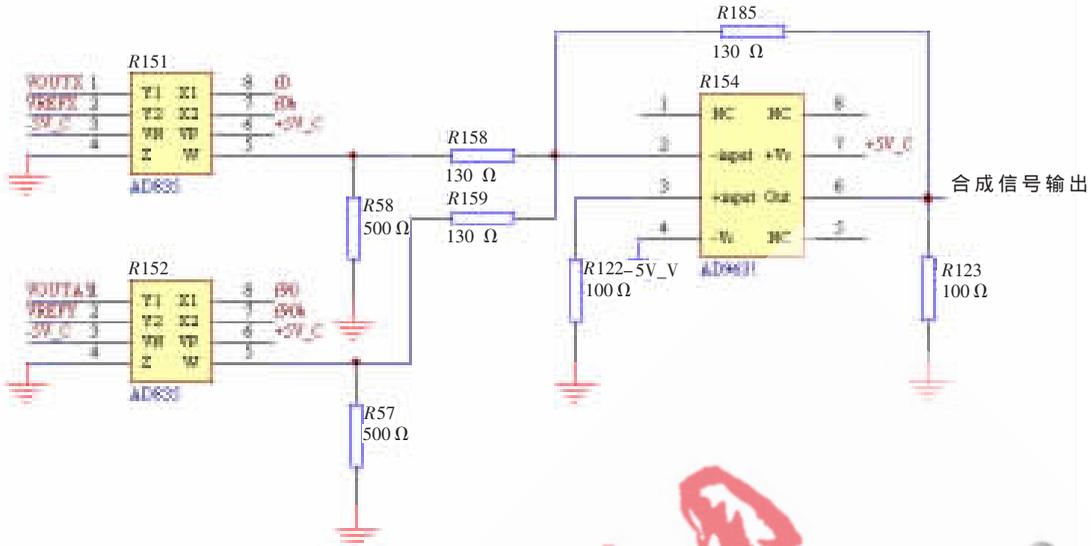


图7 平衡信号合成电路原理图

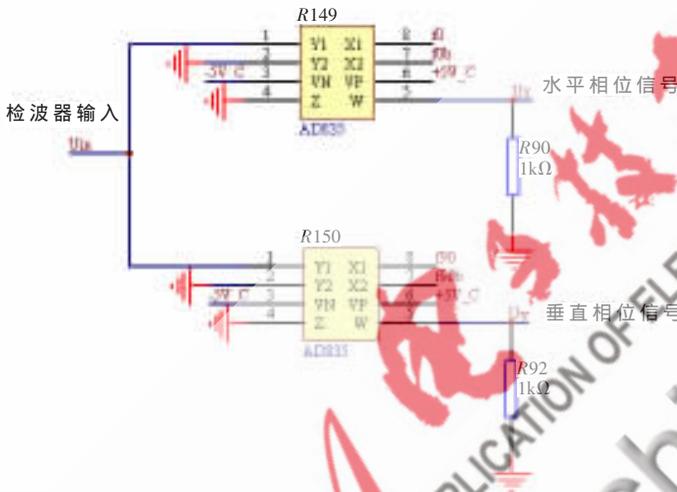


图8 检波电路原理图

表1 电容值与水分含量关系表

水分含量/%	装药重量/g	电容值/pF	单位电容值/(pF/g)
0.1	46.753 97	3.327 1	0.071 169 2
0.2	47.796 67	3.428 7	0.071 701 5
0.4	46.636 34	3.411 7	0.073 164 4
0.7	48.138 03	3.499 8	0.072 719 9
1.2	49.003 51	3.439 9	0.070 246 1
2	50.140 46	3.358 1	0.066 990 8
4.6	50.213 69	4.485 8	0.089 324 7
7	50.141 36	5.567 4	0.111 041 9
11.2	50.313 56	6.850 9	0.138 183 7

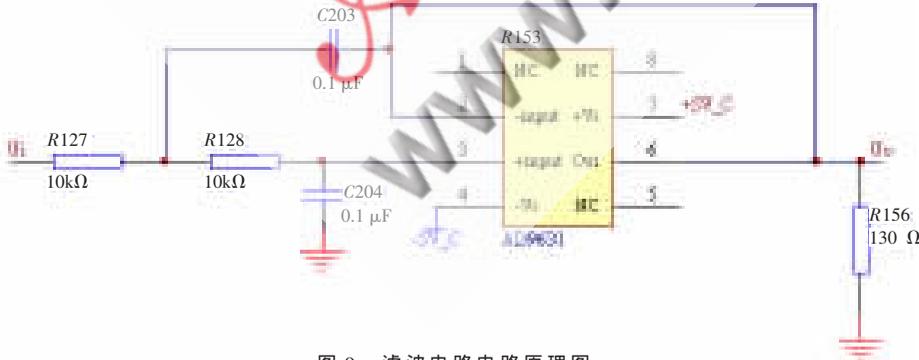


图9 滤波电路原理图

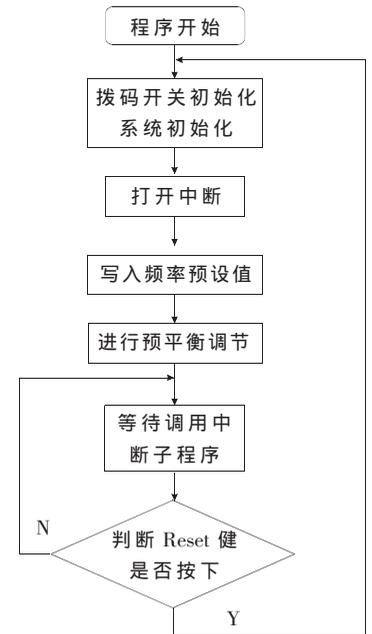


图10 主程序流程图

检验的必测项目。由此可以看出,实现在线精确检测对产品质量管理有着极为重要的意义。本文采用交流电桥的设计方法和单片机控制环节的引入,硬件电路的在线检测性能得到了提升。此种测量方法可以用在粮食、火药、土壤的水分测量系统中,有着广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 单成祥.传感器的理论与设计基础应用[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 刘立新.基于 DDS 芯片 9854 的信号产生器设计.西安邮电学院学报,2004,9(3):64-68.
- [3] 王新礼.交流电桥灵敏度问题的探讨.吉林化工学院学报,2005,22(2):68-70.
- [4] Sergio Franco. 基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计[M].刘树堂,译.西安:西安交通大学出版社,2004.
(收稿日期:2009-03-08)

