

谐振式液位传感器在喷雾机药液箱 液位检测中的应用

李震^a, 洪添胜^b, 黄伟锋^a, 孙道宗^a, 朱余清^a

(^a 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

[摘要] 分析了洗衣机用谐振式液位传感器的工作原理及其相对于其他液位检测设备的优势, 针对将其用于车载大型喷雾机药液箱时在测量范围上的不足, 通过结构改进使测量范围由原来的 600 mm 增加到 1 200 mm; 在选用 AVR 系列单片机 ATmega8 作为测量用处理器的基础上, 开发了测量电路和相应的程序; 通过安装设计, 有效地避免了液位大幅度抖动而损坏传感器的风险。结果表明, 传感器系统量程符合要求, 液位高度与传感器输出信号频率的决定系数 R^2 为 0.989。

[关键词] 谐振式液位传感器; 液位检测; ATmega8 单片机; 喷雾机

[中图分类号] TP212.14

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)07-0197-05

Application of resonance water level sensors in sprayer tank liquid level measurement

LI Zhen^a, HONG Tian-sheng^b, HUANG Wei-feng^a, SUN Dao-zong^a, ZHU Yu-qing^a

(^a College of Engineering, ^b College of Information, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: The working theory and advantages of resonance water level sensor for washing machine over other water level measuring instruments were analyzed in this paper. When used in vehicular mass sprayer pesticide container water level measurement, its scale was limited. Some improvement in its inside structure had been taken out so that the measuring scale increased from 600 mm to over 1 200 mm. Based on the AVR microchip controller ATmega8, the measuring circuit was figured out as well as some corresponding program. By installation design, the risk that severe water shaking may cause damages to the sensor was efficiently avoided. Results showed that, scale of the sensor fulfilled requirements and the R square (R^2) between liquid level and sensor output frequency was 0.989.

Key words: resonance water sensor; water level measurement; ATmega8; sprayer tank

准确测量车载大型喷雾机药液箱的液位, 对于喷雾过程的有效控制^[1]、药液浓度的合理配置^[2]等具有重要意义, 特别是在药液即将耗尽时给工作人员或控制系统及时的指示以防止抽水泵空转, 可有效提高水泵的使用寿命。目前测量液位的方法很

多, 如超声波、电容感应法及差压法等^[3-6]。以上方法虽能有效测量液位, 但价格较高。喷雾机是销往农村市场的产品, 如果加装以上几种液位测量装置, 将导致生产成本大幅上升。因此, 寻找一种通用、准确、价廉、可靠的液位测量装置十分必要。

* [收稿日期] 2006-05-24

[基金项目] 广东省科技计划项目(2005B20601003); 广东省农业机械化科研项目(粤农函[2005]718号)

[作者简介] 李震(1981-), 男, 吉林大安人, 在读博士, 主要从事电子信息技术应用研究。

[通讯作者] 洪添胜(1955-), 男, 广东梅州人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事电子信息与计算机技术应用研究。

E-mail: tshong@scau.edu.cn

谐振式液位传感器一般应用于具有模糊控制功能的洗衣机中,它可以在全量程范围内,以连续变化的频率值表征液位的高低^[7]。由于洗衣机是一种通用的家用电器,因此为其开发的谐振式液位传感器具有标准统一、测量准确且价格低廉等优势。为此,本研究对洗衣机用谐振式液位传感器的结构进行改进,将其应用于车载大型喷雾机药液箱的液位检测中,并设计了相应的检测电路和安装结构,测试了其可靠性和安全性,以为其应用于喷雾机提供依据。

1 谐振式液位传感器的工作原理

1.1 谐振式液位传感器的结构

液位传感器的结构如图 1 所示^[8],洗衣桶的液位 H 转换成导管口中的气压,通过引入嘴进入传感器气室,气室上面是封闭的,与液位 H 成正比的气压传到隔膜上,隔膜上嵌装有导板,液位上升时,气压增大,导板向上移动;液位下降时,气压降低,在弹簧的作用下,导板向下移动。导板中心有导向轴,受外壳的支撑点限位,使导板上下平行移动,不致偏移。导板上有固定支架,装有磁性元件,导板在导管内气压作用下上下平行移动时,带动磁性元件使其与线圈之间的相对位置发生变化,导致线圈的电感量发生变化。该电感与电容组成三点式振荡电路,振荡的频率随液位的变化而变化,故称为谐振式液位传感器。

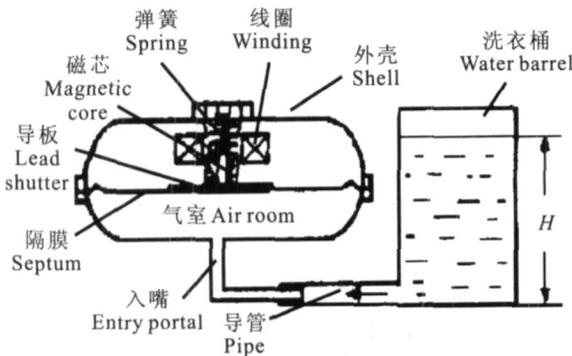


图 1 液位传感器的结构原理

Fig.1 Structure principle of water level sensor

1.2 液位与频率对应关系的建立

液箱底部的压强为:

$$p = \rho H. \quad (1)$$

式中: ρ 为水的密度, H 为水面的高度。

压力作用于薄膜上,驱动磁芯位移 l_c ,磁芯同时受到弹簧的反作用力,由压强形成的作用在膜片上的力 F_1 为:

$$F_1 = pS. \quad (2)$$

式中: S 为薄膜的有效面积。

$$\text{弹簧的反作用力为: } F_2 = K l_c. \quad (3)$$

式中: K 为弹簧的弹性系数。

当 $F_1 = F_2$ 时,磁芯静止不动,由 $HS = K l_c$ 可得:

$$l_c = \frac{S}{K} H. \quad (4)$$

由式(4)可以看出,当 S 、 K 均为常数时,液位 H 与磁芯位移 l_c 成线性关系,磁芯在线圈中深入长度的变化,将引起线圈电感量的变化。线圈电感 L 的表达式为^[9]:

$$L = \frac{\mu_0 W^2}{l^2} (lr^2 + \mu_r l_c r_c^2). \quad (5)$$

式中: μ_0 为空气磁导率, W 为线圈匝数, l 为线圈长度, r 为线圈平均半径, μ_r 为磁芯导磁率, l_c 为磁芯长度, r_c 为磁芯有效半径。

当磁芯长度 l_c 增加 Δl_c 时,线圈电感增加 ΔL , 即:

$$\Delta L = \frac{\mu_0 W^2}{l^2} [\mu_r r_c^2 (\Delta l_c)]. \quad (6)$$

电感的变化量为:

$$\Delta L = \frac{\mu_0 W^2}{l^2} \mu_r r_c^2 \Delta l_c. \quad (7)$$

由式(7)可以看出,电感的变化量 ΔL 与磁芯长度 Δl_c 成线性关系,即与液位 H 成线性关系。

液位传感器测试电路如图 2 所示, L 为传感器内部线圈,匝数为 480 匝,电感量在 3.30 ~ 5.40 mH,初始电感量为 3.30 mH;电容器 $C_1 = C_2 = 0.022 \mu\text{F}$; $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4.7 \text{ k}\Omega$; L 、 C_1 、 C_2 组成电容三点式振荡电路,与数字反向器 CD4069UB 连接,输出标准方波(占空比接近 50%),输出频率为 21 ~ 26 kHz。随着液位的变化,谐振频率相应改变,测频设备可在输出口(OUTPUT)进行测量。

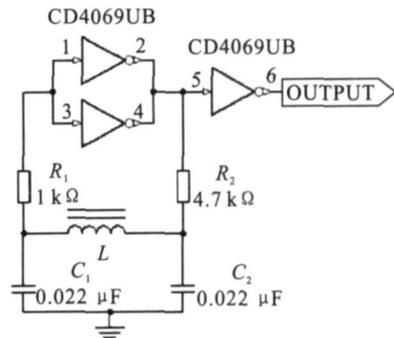


图 2 液位传感器的测试电路

Fig.2 Test circuit of water level sensor

1.3 液位传感器使用效果的测试

待测的液位传感器为浙江省乐清市奥华电器有限公司生产的“沪乐”牌洗衣机用液位传感器,其特点包括:(1) +5 V 供电,与大多数单片机的供电电压兼容;(2) 自带了图 2 中完整的振荡电路并进行了有效的防水处理,运行可靠;(3) 是洗衣机维修市场中的主流产品,价格低廉。

测试设备为泰克 (Tektronix) 公司生产的 TDS1000 型示波器,其带宽为 200 MHz,取样速率达 2 GS/s。测试过程中以透明胶管代替药液箱以提高注水效率,并在胶管上标注刻度,每 50 mm 为一个采样点,待传感器输出稳定后记录该液位高度所对应的频率。

根据测试数据绘制该液位传感器的输出频率与液位的关系曲线(图 3)。由图 3 可以看出,液位为 0~600 mm 时,传感器的输出特性曲线基本上呈线

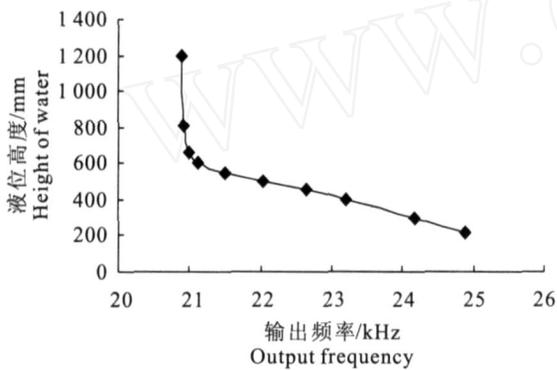


图 3 传感器输出频率与液位的关系

Fig.3 Relationship between output frequency and water level

由图 4 可以看出,更换弹簧后测量范围显著增加,已经能够满足测量的范围要求,且其线性度未受影响。根据图 4 数据,以输出频率为自变量 x 、液位为因变量 y 进行一元线性回归,得到方程:

$$y = - 34.166x + 868.76。 \quad (8)$$

式中, x 为输出频率 (kHz), y 为液位高度 (mm), $R^2 = 0.989$ 。

2.2 测量电路设计

测试部分的电路如图 5 所示。测量部分的主要功能包括准确的频率测量、浮点数的计算和液位信息显示等。由于常用的 51 系列单片机的浮点数计算能力不强,本设计采用 Atmel 公司生产的 AVR 系列微控制器 ATmega8,其特点为:(1) 8 kB 的系统内可编程 Flash;(2) 1 kB 的片内 SRAM (Static RAM,静态存储内存);(3) 两个具有独立预分频器

性变化;液位超过 600 mm 后,传感器的输出趋于饱和。由于大型喷雾机药液箱的液位高度大于 600 mm,如果直接安装该类型传感器会出现一定的盲区。因此,有必要对传感器结构进行改进以使其满足测量要求。

2 传感器结构的改进和测量电路的软、硬件设计

2.1 传感器结构的改进

由于传感器在出厂时已经进行了密封、防水等处理,因此无法通过延长导板行程距离来增加传感器的量程。由式(3)可以看出,当 l_c 一定时,要增加 F_2 ,可以通过增加弹簧的弹性系数 K 来实现。

更换弹性系数 K 较大的弹簧后,对传感器输出频率与液位的关系重新进行测量,绘制关系曲线如图 4 所示。

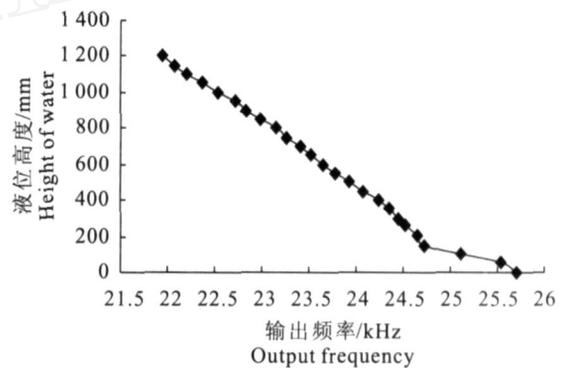


图 4 改进后传感器输出频率与液位的关系

Fig.4 Relationship between output frequency and water level after improvement

的 8 位定时/计数器;(4) 一个具有预分频器及比较功能和捕捉功能的 16 位定时/计数器;(5) 运行稳定可靠、价格合理等。

具体的片内资源使用情况为:定时/计数器 T0 负责传感器输出脉冲的计数,每记录 256 个脉冲产生一次溢出中断,设置整型变量 count 记录溢出中断的次数;定时/计数器 T1 产生 1 s 中断。当 T1 中断产生后,传感器输出频率 f 的计算方式如下:

$$f = \text{count} \times 256 + \text{TCN T0}。 \quad (9)$$

式中:TCN T0 为 T0 的当前计数值。

液位高度或药液百分比由三位共阴极 LED 数码管以扫描的方式显示,由高到低分别为百、十和个位。ATmega8 的引脚 PC0~PC3 将要显示的 BCD 码送入译码器 CD4511,CD4511 再将 BCD 码译为共阴极 LED 显示所需的 7 段码;ATmega8 的引脚

PB0 ~ PB2 依次置低电平点亮 LED 相应的位,每位 的点亮时间为 5 ms。

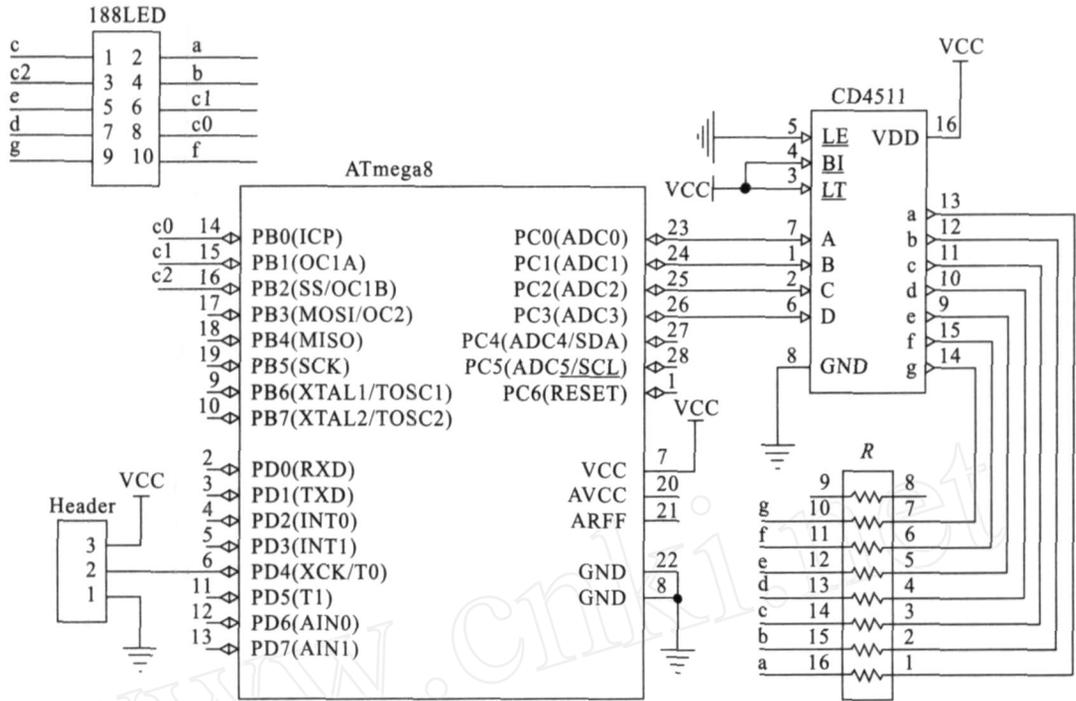


图 5 频率测量与显示电路图

Fig. 5 Circuit of frequency measurement and display

2.3 软件设计

微控制器的软件使用 C 语言编写,开发环境为 ICC AVR 6.31A。其流程如图 6 所示。

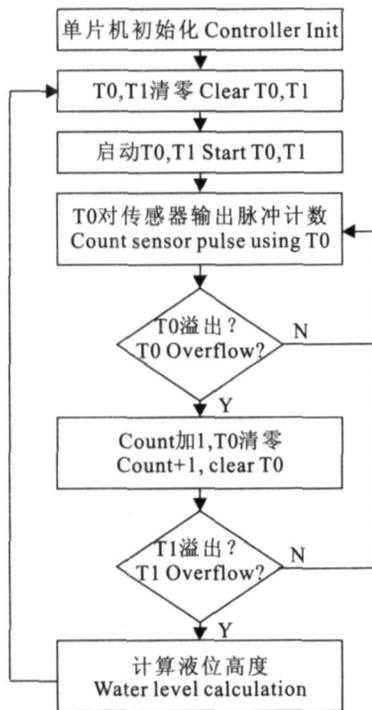


图 6 液位测量单片机程序流程

Fig. 6 Program flow chart of water-level measurement by using ATmega8

3 传感器的安装

喷雾机的工作环境比较恶劣,特别是机器行走过程中可能出现剧烈的上下振动,有可能导致液位迅速升高,使药液进入传感器的气室内。为避免上述情况,一般可在导管处安装波纹管式或薄膜式减压阀。波纹管式或薄膜式减压阀有先导式和直接作用式两种,其中先导式成本较高,而直接作用式介质的流通能力较差^[10],可能对测量的准确性产生影响。此外,减压阀一般要求水平放置,而喷雾机部件的平面布局较紧密,安装不方便。本设计参考洗衣机的解决方案并结合安装中的实际情况,选择用金属储气罐增加封闭空气的体积,可在液位迅速上升时起到缓冲作用以保护传感器,安装示意如图 7 所示。

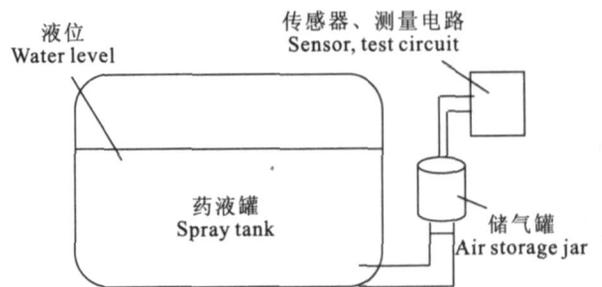


图 7 储气罐安装示意

Fig. 7 Installation of air storage jar

经过实际使用检验,该方法对测量准确性影响较小,能够保证传感器气室无液体灌入。

4 结论

1) 经过对洗衣机用谐振式传感器结构参数的改进,测量范围由原来的 600 mm 增加到 1 200 mm,液位高度与传感器输出信号频率的决定系数 R^2 达 0.989。

2) 解决了喷雾机自动控制中的液位测量问题,为喷雾机的自动控制打下了基础,同时也可以延长水泵等部件的使用寿命。

3) 本设计的不足之处是,更换传感器必须在药液排空后进行,否则药液会在气压的作用下由导气管喷出。改进的方法是在储气罐与传感器之间安装阀门,更换传感器时关闭阀门,可以防止药液喷出。

[参考文献]

[1] Koo Y M, Sumner H R. Total flow control for a direct injection

sprayer [J]. Applied Engineering in Agriculture. 1998, 14(4): 363-367.

[2] Ucar T, Ozkan H E, Fox R D, et al. Criteria and procedures for evaluation of solids mixing in agricultural sprayer tanks [J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(3): 601-607.

[3] 谢健. 超声液位测量仪的研究 [J]. 自动化仪表, 2002, 22(2): 12-15.

[4] 张晓, 史丽萍. 基于电容感应元件的多层液位传感器的研究 [J]. 传感器技术, 2003, 22(9): 6-8.

[5] 杨万国, 贾延刚. 多种液位仪表的应用对比 [J]. 石油工程建设, 2004, 30(1): 38-43.

[6] 夏龙, 王峰, 高颖. 绝对压力传感器在液位测量中的应用 [J]. 测控技术, 2004, 23(10): 13-14.

[7] 胡生清, 胡毅. 模糊洗衣机液位传感器及自动检测系统 [J]. 中国仪器仪表, 1996(6): 9-10.

[8] 扈刚, 王延峰. 谐振式水位传感器 [J]. 传感器技术, 2002, 21(5): 22-24.

[9] 何道清. 传感器与传感器技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 80-82.

[10] 日美阀门. 减压阀介绍 [EB/OL]. http://www.rmpv.com/CH_web/pdf-tech/valve-9.pdf.

(上接第 196 页)

3 小麦种子精选试验结果

以小麦为原料,对 5XZ-5 型重力式精选机进行分选试验,并检测相关技术指标。检测结果为:实际生产率 5.1 t/h, 获选率 98.8%, 有害杂草籽清除率 100%, 除轻杂率 90%, 净度 99.6%, 破损率 0.06%, 除重杂率 85%, 粉尘浓度 8 mg/m³, 噪声 84 dB(A)。实际检测的各项指标均达到或超过该机的技术指标。试验证明,该重力精选机运行可靠,能满足实际生产需要。

4 结论

1) 研制成功的 5XZ-5 型重力式精选机是新一代种子精选加工设备,精选质量高,生产率为 5 t/h,能满足实际生产的需要。

2) 筛动系统采用等惯量反向配置,纵向倾角、横

向倾角、筛动频率均可实现无级调节。

3) 风系采用多台离心风机横向组配,配置风量调节装置,并采用中心进风。

4) 以小麦作为原料的整机性能试验结果表明,各项技术指标明显优于同类产品。

[参考文献]

[1] 年伟,汪永华,邵源梅. 种子加工工序及其基本要求 [J]. 农机化研究, 2005(4): 65-67.

[2] 齐朝林,乔弘. 种子加工中的清选和精选 [J]. 种子世界, 2004(4): 57.

[3] 王万钧,胡中. 农业机械设计手册(下) [M]. 北京:机械工业出版社, 1990.

[4] 胡志超,顾仁宏. 论种子清选设备国产化 [J]. 中国农机化, 2002(3): 43-45.

[5] 封世忠,赵伟利. 谈种子加工机械存在的问题及对策 [J]. 中国种业, 2005(2): 30.