

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.01.015

主动屏蔽式平面探头水分在线传感器研究*

杨 柳^{1,2} 杨明皓² 董兰兰¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学信息与电气学院, 北京 100083)

【摘要】 设计了一种主动屏蔽的平面探头水分在线电容传感器。硬件方面设计了主动屏蔽式极板,从敏感区域聚集电场,减小了杂散电容对传感器测量精度的影响;平面探头及其传感器振荡电路避免了屏蔽极板对驱动极板的影响。有限元法分析表明,主动屏蔽极板的采用提高了传感器测量精度和灵敏度。软件方面由谷物含水率测量试验装置进行了一系列试验,实现了测试水分时温度自动补偿,其含水率测试的相对误差由传统传感器的5%降低到1%。鉴定结果表明,此谷物含水率传感器相对误差在 $\pm 1\%$ 范围内,含水率测量范围6%~36%,适用温度范围 $-10\sim 80^\circ\text{C}$,基本克服了传统国产电容水分传感器精度低、温度影响大、安装困难等缺点。

关键词: 干燥 含水率 电容传感器 主动屏蔽

中图分类号: TP212.1; S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)01-0077-04

Development of a Coplanar Electrode Capacitance Moisture Sensor

Yang Liu^{1,2} Yang Minghao² Dong Lanlan¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

2. College of Information & Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

A coplanar electrode capacitance online moisture sensor was developed, which has higher precision, more compact configuration and easier installation compared with traditional parallel electrodes and cylindrical moisture sensors. An active shield electrode was invented to block the outside electric field, thus the stray capacitance was decreased and the precision and sensitivity of the sensor was increased according to finite element analysis. A comparative circuit was used to avoid the influence of shield electrode on drive electrode. Experiments were conducted on grains with 6%~36% moisture content on a custom-built equipment. The relationships between sensor output frequency and grain moisture content were investigated for each temperature condition and the result was compiled into software to realize temperature compensation which decreased the error from 5% to 1%. Experimental validation proved that the sensor had a small measuring error of 1% and was applicable to moisture content range of 6%~36% and temperature range of $-10\sim 80^\circ\text{C}$.

Key words Drying, Moisture content, Capacitance sensor, Active shield

引言

我国是个农业产粮大国,粮食必须经过干燥降水达到安全储存的标准。因此,需对谷物终水分进行精确的测定。

电容法是一种可靠、方便的间接测量谷物含水

率的方法,该方法已大量应用于粮食加工工业中。作为测量谷物含水率重要部分的探头技术发展较慢。一种探头是同心圆柱型^[1]的,它的性能比较稳定,精度基本可以满足生产使用。但它需要垂直接入或嵌入干燥机谷物流道中,占用较大的高度空间,迫使干燥机加高,增加设备的体积和投资,现有干燥

收稿日期:2008-10-15 修回日期:2009-01-17

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A13)

作者简介:杨柳,副教授,博士生,主要从事农产品检测和工业自动控制技术研究,E-mail: yangliu@cau.edu.cn

通讯作者:杨明皓,教授,博士生导师,主要从事农业电气化与自动化技术研究,E-mail: mhyang@cau.edu.cn

机加装时往往高度不够。此外它内部的间断启闭采样装置也有堵塞或出现机械故障的危险。另一种探头由两块平行极板构成,若应用在粮食干燥装置上在线测量粮食含水率,则要求粮食从极板间流过,安装将十分困难。这一型式的传感器致命缺点在于它只适合测量低的谷物含水率(25%以下),在高含水率情况下会导致极板短路的现象而使测量精度大大降低。而且极板间电场易受周围环境影响,杂散电容对测量结果影响较大^[2]。

另外,由于不同温度环境下含水率检测值相差很大,而国产传感器没有考虑温度的影响因素,使得含水率测量的精度大大降低。

为解决上述问题,提出一种主动屏蔽的平面探头,并利用硬件和软件对水分值进行温度修正。

1 主动屏蔽式平面探头水分在线传感器的探头设计

该探头结构如图1所示。图中3和5为待测电容的两块处于同一平面的极板,1和4为和极板5同电位的两块主动屏蔽极板,极板5和4电位相等,没有电势差,则它们之间场强为零,同理,3和2之间场强也为零,则5和3之间的电力线如图所示,

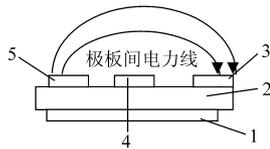


图1 平面极板结构
Fig.1 Diagram of the plane pole sensor

1. 主动屏蔽板 2. 平面基板
3. 5. 极板 4. 主动屏蔽板

被主动屏蔽极板限制在平板结构的某一边,粮食从电力线间流过,会对其产生影响,使极板5和3间电容发生变化,从而间接测得粮食含水率。由于这种主动屏蔽的探头结构既能使两极板处在同一平面,又克服了杂散电容对测量精度的影响,因而克服了传统平行极板型和圆筒型传感器的缺点。

2 探头的电磁场分析

利用 Ansoft 公司的电磁场有限元分析软件 Maxwell^[3] 求解边缘电场粮食水分传感器探头电场的空间分布^[4],得到的等电位线如图2和图3所示。在图2和图3的2个模型中,基板由聚酰胺制成,其相对介电常数为4.3;粮食相对介电常数为3.2,作用于电容极板的电压分别为驱动极板5V,接地板为零,屏蔽板电压为5V。

非屏蔽探头在空气侧电场分布较强,易受周围环境影响,加上主动屏蔽极板后,由于屏蔽板和驱动极板等电位,它们间的场强为零,所以空气侧电场分布较弱,减少了周围环境对测量结果的影响。虽然

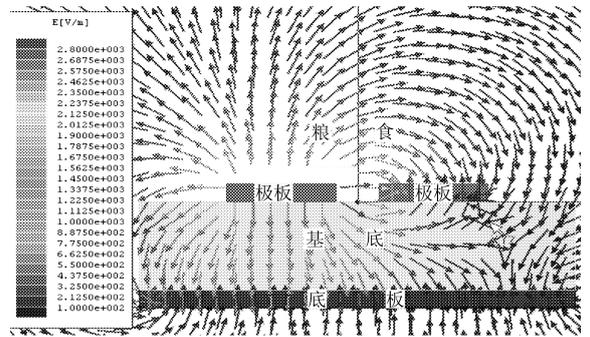


图2 无主动屏蔽探头电场分布

Fig.2 Electric field of un-shield sensor

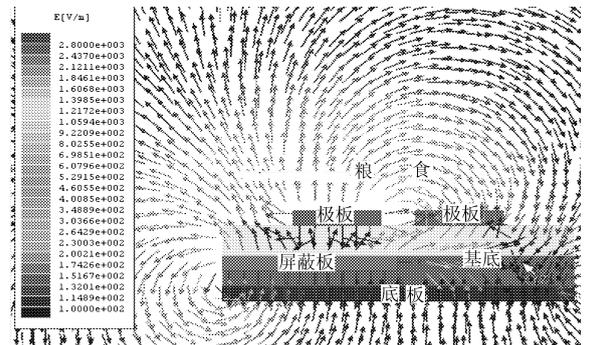


图3 主动屏蔽探头电场分布

Fig.3 Electric field of active shield sensor

屏蔽板和极板间电场较强,但根据叠加原理,屏蔽板对驱动板和接地板间的电容值无影响时,驱动板和接地板间的电力线受屏蔽板上电场的挤压,向粮食侧聚集,所以两者在驱动板电压相同时,主动屏蔽探头在粮食侧电场强度比非屏蔽探头的电场强,则主动屏蔽探头的灵敏度比非屏蔽探头高。

3 水分在线传感器温度补偿电路的设计

当传感器中充满流动谷物时,传感器所测电容 C 与谷物含水率 M 之间的关系式^[5]为

$$C = K_0 e \epsilon_3 + K_0 (1 - e) \epsilon_1 + \frac{K_0 \gamma_d (1 - e) (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{1 + M(\gamma_d - 1)} M \quad (1)$$

其中 $K_0 = \frac{\epsilon_0 A}{D}$

式中 ϵ_0 ——真空介电常数
 ϵ_1 ——谷物中干物质的介电常数
 ϵ_2 ——谷物中水分的介电常数
 ϵ_3 ——谷粒孔隙中空气的介电常数
 D ——极板间距 e ——谷物孔隙率
 A ——极板面积
 γ_d ——谷物干物质的容重

由式(1)可知,温度及电容器所加交流电场的频率也是影响这些介电常数的主要因素,对于确定的传感器,电容器所加交流电场的频率是恒定的,可

表1 小麦含水率重复性试验结果
Tab.1 Result of repeat test of wheat moisture

%

项目	测量次数										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15℃测量值	9.7	10.1	11.2	12.7	13.1	13.6	14.3	15.2	15.7	18.2	19.6
25℃测量值	9.8	10.3	11.4	12.9	13.4	13.7	14.6	15.5	16.2	17.5	19.8
50℃测量值	10.0	10.6	11.7	13.0	13.8	14.0	15	15.8	15.5	17.3	19.1
标准值	9.6	10.2	11.4	12.8	13.4	13.8	14.5	15.3	16	18	20
最大测量误差	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5	-0.5	-0.7	-0.9

项目	测量次数										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
15℃测量值	22.7	23.4	25.2	26.7	27.1	28.6	30.3	31.2	33.0	33.2	36.3
25℃测量值	22.8	23.3	25.4	26.9	27.4	28.7	30.6	31.5	32.9	33.5	36.8
50℃测量值	22.0	23.6	25.7	26.0	27.8	28.2	30.9	31.8	33.1	33.3	37
标准值	22.2	24.1	25.3	26.2	28.0	29.2	30.3	31.0	33.4	34.0	36.1
最大测量误差	0.6	-0.8	0.4	0.7	-0.9	-1.0	0.6	0.8	-0.5	-0.7	0.9

表2 小麦含水率重复性对比试验结果
Tab.2 Comparison of repeat test result of wheat moisture

%

项目	测量次数										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50℃测量值(有温度补偿)	9.7	10.1	11.2	12.7	13.1	13.6	14.3	15.2	15.7	18.2	19.6
50℃测量值(无温度补偿)	11.1	11.2	12.8	14.5	12.1	13.7	13.4	16.5	17.5	16.2	21.6
标准值	9.6	10.2	11.4	12.8	13.4	13.8	14.5	15.3	16	18	20
最大测量误差(有温度补偿)	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5	-0.5	-0.7	-0.9
最大测量误差(无温度补偿)	1.5	1.0	1.4	1.7	-1.3	1.6	-1.1	1.2	1.5	-1.8	1.6

5 结束语

经农业部农业机械鉴定总站鉴定,该传感器有较高的测量精度和较大的适用范围,传感器测量水

分的误差为 $\pm 1\%$,测量水分范围可达到 $6\% \sim 36\%$,测量温度范围 $-10 \sim 80^\circ\text{C}$ 。主动屏蔽极板的引入,减少了环境因素对测量结果的影响,提高了传感器的灵敏度。

参 考 文 献

- 程卫东,柏雪原,王相友,等.干燥过程中谷物水分在线测量系统[J].农业机械学报,2000,31(2):53~55.
Cheng Weidong, Bai Xueyuan, Wang Xiangyou, et al. An on line measurement and monitoring system of grain moisture during drying process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(2): 53~55. (in Chinese)
- Huangetal S M. Electronics transducers for industrial measurement of low value capacitances[J]. J. Phys. E, 1988(21): 242~250.
- Peter P. Finite elements for electrical engineers[M]. London: Cambridge University Press, 1996.
- Kishore S. Moisture measurement in paper pulp using fringing field dielectrometry [D]. Washington: University of Washington, 2003.
- 李庆中,高玉根,张道林,等.谷物含水率在线测试系统的研究[J].农业机械学报,1995,26(3):80~84.
Li Qingzhong, Gao Yugen, Zhang Daolin, et al. Study on the on-line system of measuring moisture content in grain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(3): 80~84. (in Chinese)
- Larry B. Capacitive sensors design and applications [M]. New York: IEEE Press, 1997.
- 杨柳,杨明皓,刘嫣红.利用边缘电场的电容式谷物水分传感器的研究[J].中国农业大学学报,2007,12(2):58~61.
Yang Liu, Yang Minghao, Liu Yanhong. Measurement of grain moisture with a coplanar electrode capacitance probe[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(2): 58~61. (in Chinese)