文章编号:1673-0062(2011)03-054-04

一体化静电场描绘仪研制

饶益花1,高真辉2,刘钰薇2,魏明海3,谷永春4,胡解生1

(1. 南华大学 数理学院,湖南 衡阳 421001;2. 南华大学 核科学技术学院核物理系 081 班,湖南 衡阳 421001;3. 南华大学 机械工程学院机械制造及自动化系 085 班,湖南 衡阳 421001;

4. 南华大学 电气工程学院电力 081 班, 湖南 衡阳 421001)

摘 要:研制了一种新型的静电场描绘仪,将导电板、电位测量系统、描点系统及电源 等四个部分进行了一体化设计,采用容栅传感器测定等电位点的位置,并实现了对等 位点位置的数字化测量,实验结果表明,该仪器高度集成,实验操作方便,提高了仪器 实验效率,提升了静电场的模拟精度.

关键词:静电场;容栅传感器;一体化;数字化

中图分类号:TN454 文献标识码:B

Researchon Integrated Electrostatic Field Description Instrument

RAO Yi-hua¹, GAO Zhen-hui², LIU Yu-wei², WEI Ming-hai³, GU Yong-chun⁴, HU Jie-sheng¹

(1. School of Mathematics and Physics, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
Class 081, Department of Nuclear Physics of Nuclear Science and Technology School, University of South China, Hengyang 421001, China;
Class 085, Department of Mechanical Manufacturing and Automation of Mechanical Engineering school, University of South China, Hengyang 421001, China;

4. Class 081, Department of Electric Power of Electrical Engineering school, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: A novel description instrument of the electrostatic field is researched and designed, with the electro conductive plates, potential measurement, potential point description system and power supply integrated. The instrument uses capacitive transducer to measure the position of isoelectric point, achieving the effect of digital measurement. It has got high integration, convenient and practical experimental operation. Experiment proved that it enhanced experiment efficiency and improved accuracy of electrostatic field simulation. **key words**:capacitive transducer;electrostatic field;integrated;digital

收稿日期:2011-07-15

基金项目:2009年度湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划基金资助项目(CXSY—SJ—09017) 作者简介:饶益花(1968-),女,湖南耒阳人,南华大学数理学院副教授,硕士.主要研究方向:物理.

0 引 言

模拟法测静电场是大学理工科各专业必做的 一个基础实验,静电式仪表测量静电场时,由于导 体或电介质的引入,将影响原场的分布而不能准 确测量,实验中一般用恒流场模拟静电场的测量, 所用仪器称为静电场描绘仪.目前,大部分高校采 用组装式模拟静电场描绘仪.目前,大部分高校采 用组装式模拟静电场描绘仪,其导电板、电位测量 仪器、描点装置及电源供应装置是分开的,操作较 为麻烦,且测量带来的误差较大.本文研制了一体 化的静电场描绘仪,采用容栅传感器测定等电位 点的位置,并实现了对等位点位置的数字化测量, 该仪器方便了实验操作,提高了实验效率,减小了 测量误差.

1 实验原理

静电场中电场强度是一个矢量,确定静电场 中电场强度分布往往是先研究电位的分布情况, 测得等位面,再根据电力线与等位面处处正交的 特点,作出电力线,整个电场的分布就确定了.

由电磁学理论可推知:同轴圆柱形电级间的 稳恒电流场(如图1所示)与无限长均匀带电同 轴圆柱面截面的静电场(如图2所示)中任一点 r 电位的表达形式相同,都可以表示为:

$$U_r = \frac{U_0}{\ln \frac{r_a}{r_b}} \ln \frac{r}{r_b}$$
(1)



图 1 同轴圆柱形电极间的稳恒电流场 Fig. 1 Steady current field between wire-cylinder electrodes

因而能用稳恒电流场来模拟静电场分布,只 要能测出稳恒电流场电位分布,静电场电位分布 就确定了.



图 2 同轴圆柱形静电场 Fig. 2 Electrostatic field between coaxial cylinders

2 容栅传感器位移显示原理

本仪器中等势点的定位通过容栅位移传感器 测量并显示.容栅位移传感器主体由容栅传感器、 八路驱动器、信号放大器、信号处理电路、数据处 理电路及数显器构成.其结构如图 3 所示.容栅传 感器由一组排列成栅状结构的平行板电容器并联 而成的,可动部分为动栅尺,固定部分为定栅尺, 动栅片由六组发射电极,每组有八片发射电极片 组成,定栅中反射电极片的宽度与四片发射电极 相对应,如图 4 所示.



图 3 信号测量原理图

Fig. 3 Principle diagram of signal measurement



图 4 容栅传感器 Fig. 4 Capacitive transducer

测量过程中,晶振的信号通过分频器分频后送 到8路驱动电路进行相移,然后形成8路驱动信号, 每路信号之间相位相差 π/4,这8路信号加到动栅 板,动栅反射信号是一个发生相移的正弦交流信号 (如图5所示),其相移与动栅的移动量成正比,经放 大后的相移信号与分频器输出信号在信号处理和数 据处理中由鉴相电路和计数器分别记录其输入与反 射信号的相位差及相位差的周期变化数,从而得到 总的相移量;位移的增加(或减小)对应相移的增加 (或减小).控制逻辑的作用是进行公英制转换、清零 和数据输出等.相移量通过数据处理后输入到数显 驱动器,数显驱动器把位移数据变换成 LCD 驱动信 号,直接与液晶屏相连,显示位移量.



3 整机一体化设计

本仪器把导电板、电位测量系统、描点系统及 电源等进行了一体化设计,整机外形如图6所示.

本仪器主要由电路模拟部分、电参数测量部 分和位置测量部分三部分组成,整体满足静电场 模拟实验的实验要求.其中,电路模拟部分由中心 铜柱的正极和导电板上负极通过导电的复合涂层 形成电流,产生稳定的恒流场.电参数测量部分由 探针探测的电位通过铜管内部的电位引导针传到 电路测量装置,得到测量点的电位并在显示屏上 显示出来.位置测量部分,使用容栅传感器测量. 容栅传感器的动栅随着测量点的变化而变化,实 验中要设定好容栅传感器机械装置的零点,等势 点的位置可以用数显方式在测量装置上显示 出来.



 1. 机箱;2. 电压调节旋钮;3. 坐标数字显示部分;4. 探针;5. 支撑 及传导轴;6. 导电板;7. 探测电位显示屏;8. 电源电压显示屏
图 6 整机外形图

Fig. 6 Whole appearance figure

4 实验结果与误差分析

使用研制的一体化模拟静电场描绘仪进行了 实验,分8个方向依次记录了1.00、2.00、3.00、 4.00、5.00、6.00、7.00 V电位的位置,其原始数 据如表1.

Table 1 Original data											
电势/V	0	45	90	135	180	225	270	315			
	位置/mm										
1.00	39.96	38.85	40.42	40.66	40.55	42.95	43.12	41.94			
2.00	33.06	32.17	33.39	34.25	34	36.27	37.2	35.61			
3.00	27.61	27.37	27.76	28.69	29.4	31.01	31.29	30.56			
4.00	23.61	23.49	23.83	24.49	25.51	26.17	26.43	25.93			
5.00	20.47	20.16	20.48	20.78	21.67	22.29	22.33	21.99			
6.00	17.37	17.38	17.93	18.14	18.5	18.93	18.55	18.35			
7.00	15.03	14.96	15.19	15.52	15.51	16.05	15.77	15.55			

表1 测量原始数据 Fable 1 Original date

其中导电板内半径 $r_a = 8.80 \text{ mm}$, 外半径 $r_b =$

49.00 mm, U₀ = 10.00 V; 相同电位的等位点的位

置取平均值作为拟合等位圆半径的代真值,数据 处理结果如表 2.

Table 2 Results of data processing										
U/V	<i>r</i> ∕nn	$\ln(r_a/r_b)$	$U_{\underline{n}}/V$	$\delta_{\scriptscriptstyle U}/\mathrm{V}$	Ε					
1.00	41.006	1.717 1	1.037 2	0.0372	3.6%					
2.00	34.444	1.717 1	2.052 9	0.0529	2.6%					
3.00	29.161	1.717 1	3.022 5	0.0225	0.7%					
4.00	24.883	1.717 1	3.946 6	-0.0534	1.4%					
5.00	21.221	1.717 1	4.873 5	-0.126 5	2.6%					
6.00	18.094	1.717 1	5.802 1	-0.1979	3.4%					
7.00	15.398	1.717 1	6.741 8	-0.258 2	3.8%					

表 2 数据处理结果 Table 2 Results of data processing

其中 \bar{r} 为各等位圆半径的代真值, $U_{\rm m}$ 为将各 \bar{r} 代入(1)中的理论值, δ_{U} 为 $U_{\rm m}$ 与测量电位之 差,即测量误差, E 为 δ_{U} 的绝对值与 $U_{\rm m}$ 的百分 比,即测量的相对误差,可见整体仪器相对误差小 于 3.8%,本机系统误差来源于:

1)导电板导电膜层不均匀,导致实验结果与 理论结果之间产生偏差.

2)仪器的制造机械误差:位置测量系统零点 处中心孔的轴线、电位传导杆的轴线、绝缘套筒的 轴线、中心铜柱的轴线之间存在同轴度误差;由于 零件配合之后导电板表面与位置测量系统之间的 平行度误差.

3)传导电路电阻分压误差:探针与电位引导

针之间的导电金属零件存在电阻,探针上会有微 小的电流,因而有较小量的分压,进而对电参数的 测量会造成微量偏差.

4)温度影响造成的误差:温度对电容、电阻等元件的影响造成输出电位的数值误差;此误差 在机箱的散热功能设计下控制在较小范围.

5 结 语

采用容栅传感器测定等电位点的位置,研制 了一体化的静电场描绘仪,并实现了对等位点位 置的数字化测量,实验表明,该仪器高度集成,实 验操作方便,提高了仪器实验效率,在一定程度上 减少了实验误差.

参考文献:

- [1] 郝卫东. 容栅位移传感器[J]. 桂林电子工业学院学报,1997,17(1):83-86.
- [2] 杨超,王云普,郭金山,等.环境友好型氟碳导电涂料的研究[J].涂料工业,2007,37(7):1-5.
- [3] 宋学丽. 静电场中电势零点的选择[J]. 锡林郭勒职 业学院学报,2009(2):55-56.
- [4] 李全信. 圆曲线的拟合方法与精度分析[J]. 北京测 绘,2001(3):29-33.
- [5] 饶益花,郭萍,管亮,等. 基于 Matlab 的金属丝杨氏模 量测量的数据处理[J].大学物理实验,2004,17(4): 76-78.
- [6] 饶益花.大学物理实验教程[M].1版.上海:上海交 通大学出版社,2011.