

# 《自动检测技术与系统实验》

## 实验报告

### 系列四：电容式传感器 实验

学    校：  南开大学

学    院：  人工智能学院

专    业：  智能科学与技术

实验成员：  2211292  郑皓文

              2212055  张箫鹏

              2212266  张恒硕

## 实验七 变面积式电容传感器特性实验

### 一、实验目的

- 1、了解变面积式电容传感器的基本结构。
- 2、掌握变面积式电容及二极管环形电桥的工作原理。
- 3、掌握变面积式电容传感器的调试方法。

### 二、实验所用单元

电容式传感器、电容式传感器转换电路板、差动放大器板、直流稳压电源、数字电压表、位移台架。

### 三、实验原理及电路

1、实验电路框图如图 7-1 所示。电容的变化通过电容转换电路转换成电压信号，经过差动放大器放大后，用数字电压表显示出来。

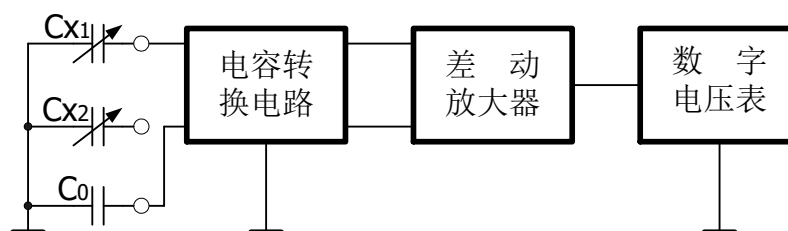


图 7-1 电容式传感器实验电路框图

2、图 7-1 中的电容转换电路图如图 7-2 所示。图中的信号发生器用于产生方波信号。电容转换由二极管环形电桥完成，二极管环电桥工作原理如图 7-3 所示。

固定频率的方波脉冲由 A 点输入，在方波的上升沿， $C_0$  被充电，充电途径是  $VD_3 \rightarrow C_0$ ；与此同时， $C_{X1}$  也被充电，其充电途径是  $C_9 \rightarrow VD_5 \rightarrow C_{X1}$ 。在方波的下降沿， $C_0$  和  $C_{X1}$  都放电， $C_0$  的放电途径是  $C_0 \rightarrow VD_4 \rightarrow C_9$ ； $C_{X1}$  的放电途径是  $C_{X1} \rightarrow VD_6$ 。由于  $C_9$  在一个周期内的充电和放电平均电流分别为： $I_U = fV_p C_{X1}$  和  $I_D = fV_p C_0$ ，式中  $f$  是脉冲频率， $V_p$  为方波峰值电压，因此 AB 间的平均电流  $I = I_D - I_U = fV_p (C_0 - C_{X1})$ 。从该式中可以看出电容的变化与 AB 间的电路成正比。

在图 7-2 中，增加了  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $C_{10}$  和  $R_6$ 。 $L_1$  和  $L_2$  对高频方波的阻抗很大，而直流电阻很小，与  $R_6$  一起形成了 A、B 间的直流通路，使充放电电流的直流分量得以通过。 $C_{10}$  用作滤波。这样在  $R_6$  两端就有与电容变化量成正比的直流电压输出。

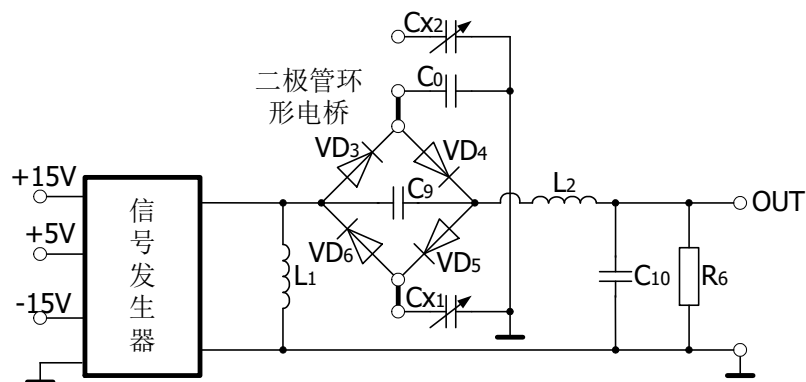


图 7-2 电容转换电路原理图

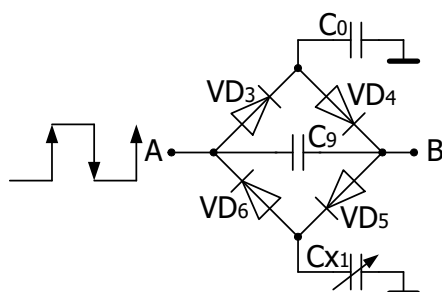


图 7-3 二极管环形电桥原理图

#### 四、实验步骤

1、固定好位移台架，将电容式传感器置于位移台架上，调节测微器使其指示 15mm 左右。将测微器装入位移台架上部的开口处，再将测微器测杆与电容式传感器动极旋紧。然后调节两个滚花螺母，使电容式传感器的动极上表面与静极上表面基本平齐，且静极能上下轻松滑动，这时将两个滚花螺母旋紧。

2、差动放大器调零（参见实验一）。

3、按图 7-2 接线，将可变电容  $C_{x1}$  与固定电容  $C_0$  接到实验板上，位移台架的接地孔与转换电路板的地线相连。

4、接通电源，调节测微器使输出电压  $U_0$  接近零，然后上移或下移测微器 1mm，调节差动放大器增益，使输出电压的值为 200~400mV 左右，再回调测微器，使输出电压为 0mV，并以此为系统零位，分别上旋和下旋测微器，每次 0.5mm，上下各 2.5mm，将位移量  $X$  与对应的输出电压  $U_0$  记入下表中。

表 7-1

$X$ (mm)	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5
$U_0$ (mV)	-0.868	-0.706	-0.459	-0.312	-0.163	-0.022	0.133	0.290	0.406	0.556	0.704

Ps: 0 处对应 16.2mm。

#### 五、实验报告

1、根据表 7-1，画出输入/输出特性曲线  $U_0 = f(X)$ ，并且计算灵敏度和非

线性误差。

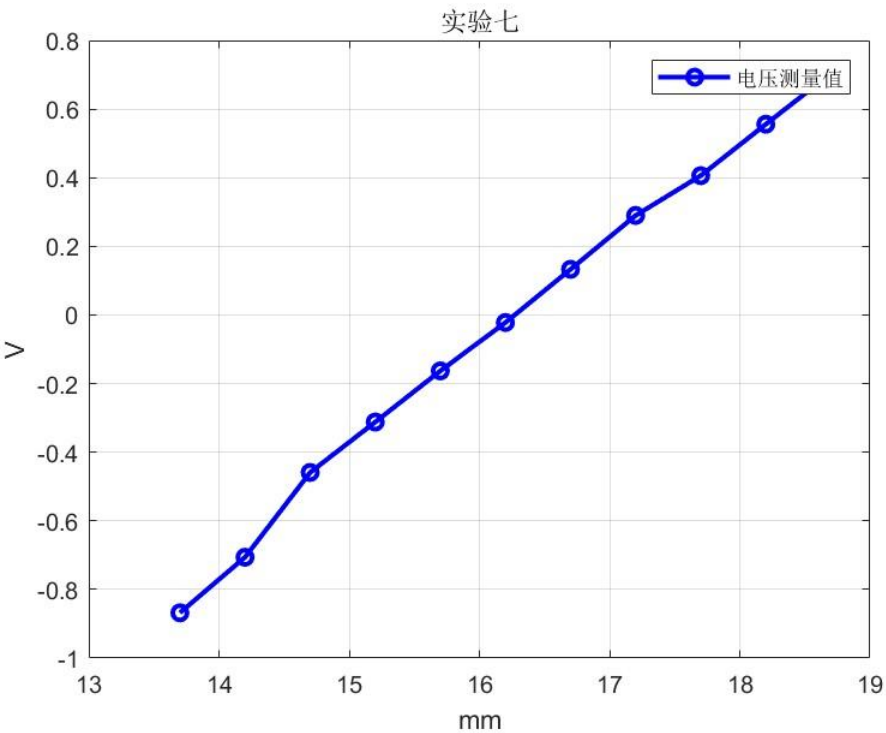


图 7-4 实验七输入输出特性曲线

灵敏度：

灵敏度：  $k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{0.704 - (-0.868)}{2.5 - (-2.5)} = 0.3144 \text{ V/mm}$

非线性误差：

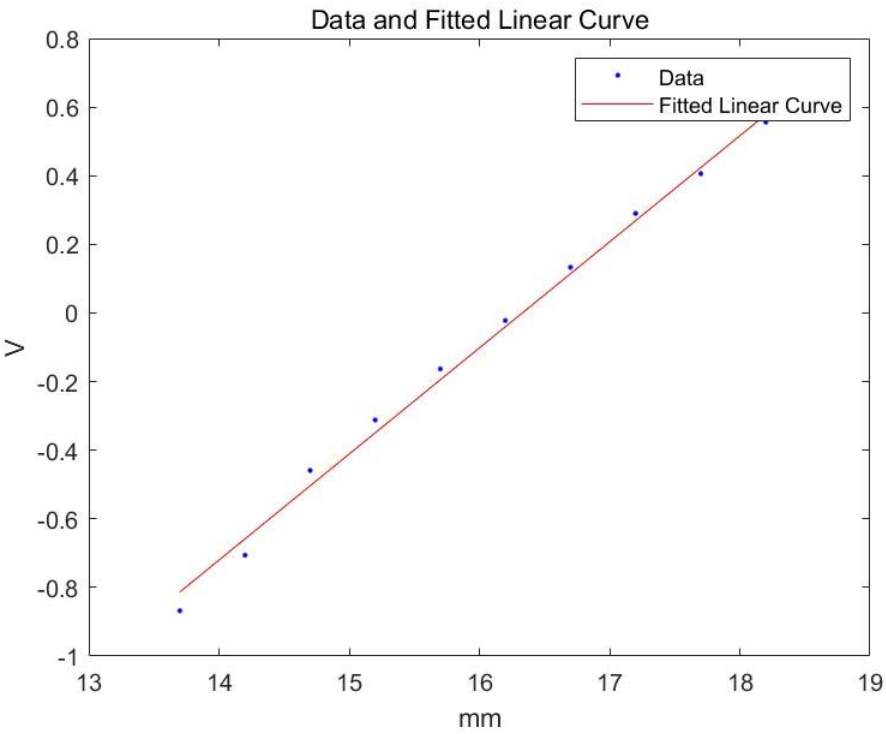


图 7-5 实验七拟合直线

拟合直线:  $y = 0.309145x - 5.048247$

最大误差:  $\Delta L_{\max} = 0.044809V$

非线性误差:  $\delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 2.8505\%$

最小二乘法误差:  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 0.035263V$

## 2、本实验的灵敏度和线性度取决于哪些因素？

实验的灵敏度和线性度主要取决于实验装置本身，比如选择的极板材料、动极和静极的形状等，这些主要因素在实验中是固定的，下面列举一些造成误差的因素：

1. 极板间距：动极在移动过程中，和静极的距离可能不恒定，这会影响灵敏度和线性度。这通常不是由于实验设备本身的问题，而是装配实验装置时的人为偏差。
2. 环境因素：温度、湿度等环境条件的变化会影响材料的物理性质，从而间接影响传感器的灵敏度和线性度。在本实验中，最大的影响因素可能来自实验人员的接触，其相当于将人体接入电路，会造成电压表示数大幅跳动。
3. 计数误差：由于外界干扰造成的示数大幅跳动和示数本身的小幅跳动，在计数时很难记录准确的数据，在跳动范围内人为选取的合理数据可能带来一定误差，这会影响传感器的灵敏度和线性度。

## 实验八 差动式电容传感器特性实验

### 一、实验目的

- 1、了解差动式电容传感器的基本结构。
- 2、掌握差动式电容传感器的调试方法。

### 二、实验所用单元

电容式传感器、电容式传感器转换电路板、差动放大器板、直流稳压电源、数字电压表、位移台架。

### 三、实验原理及电路

实验电路框图如图 8-1 所示。与实验七不同之处在于接入电容转换电路的两个电容都为可变电容，当电容传感器的动极移动时，两个电容的电容量都发生变化，但变化方向相反，这样就构成差动式的电容传感器。

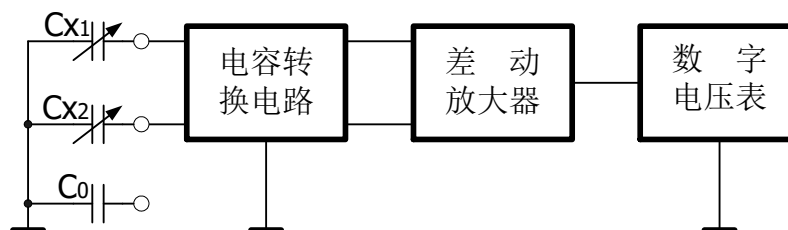


图 8-1 电容式传感器实验电路框图

### 四、实验步骤

按照实验七的步骤进行实验，注意接入电路板的两个电容为  $C_{x1}$  和  $C_{x2}$ 。将实验结果记入下表中。

表 8-1

X (mm)	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5
$U_o$ (mV)	-1.591	-1.272	-0.989	-0.643	-0.321	0.029	0.339	0.644	0.963	1.352	1.659

Ps: 0 处对应 15.4mm。实验时连续进行七、八两个实验，中间没有调节增益值。

### 五、实验报告

- 1、根据表 8-1，画出输入/输出特性曲线  $U_o = f(X)$ ，并且计算灵敏度和非

线性误差。

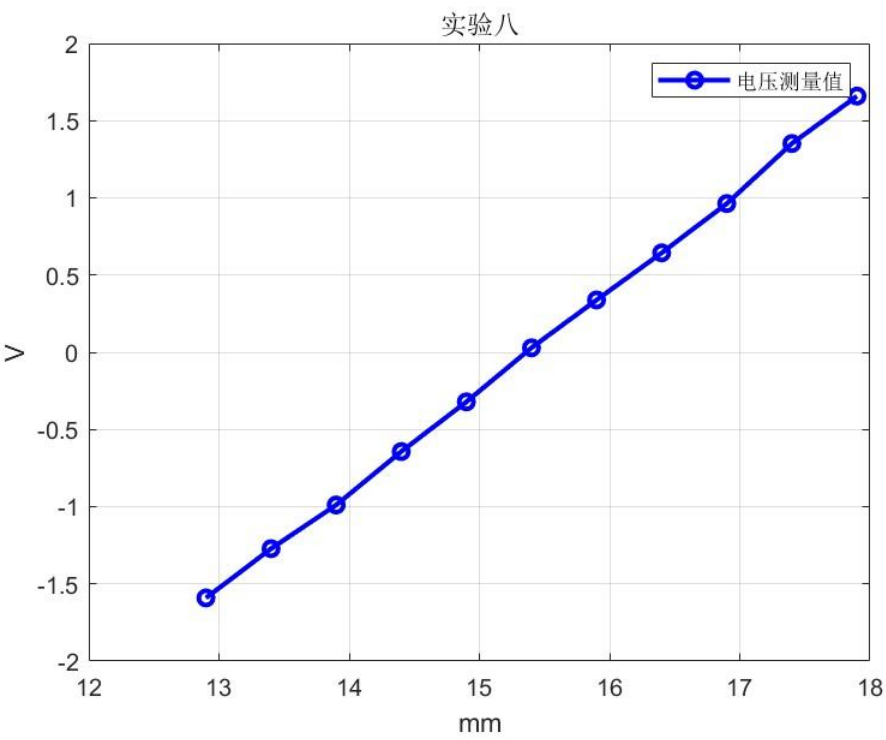


图 8-2 实验八输入输出特性曲线

灵敏度：

灵敏度： $k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k_{\text{校准}} = \frac{1.659 - (-1.591)}{2.5 - (-2.5)} = 0.65 \text{ V/mm}$

非线性误差：

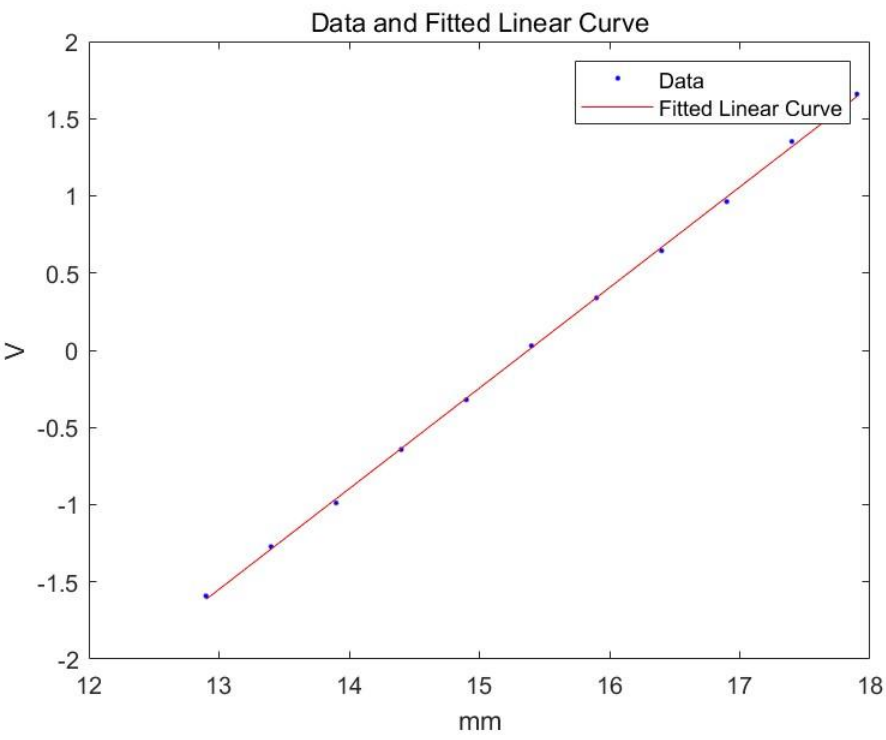


图 8-3 实验八拟合直线

拟合直线:  $y = 0.651564x - 10.018625$

最大误差:  $\Delta L_{\max} = 0.033418V$

非线性误差:  $\delta = \frac{\Delta L_{\max}}{L} \times 100\% = 1.0283\%$

最小二乘法误差:  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ 真实}} - y_{i \text{ 拟合}})^2} = 0.021409V$

2、试比较差动式和变面积式两种电容传感器的优劣。

	灵敏度	非线性误差
变面积式	$0.3144 V/mm$	2.8505%
差动式	$0.65 V/mm$	1.0283%

变面积式电容传感器结构相对简单，但在灵敏度和线性度上都要次于差动式电容传感器。变面积式对环境温度、边缘效应等因素较为敏感，在线性度上表现较差。而差动式通过差动抵消了这部分影响，具有较好的线性度，并通过差动进一步放大结果，利于更高精度的测量。