

# 浙江大学



## 本科实验报告

姓名：

---

学院： 生物医学工程与仪器科学学院

---

系： 生物医学工程

---

专业： 生物医学工程

---

学号：

---

指导教师： 陈凌翔

---

2025 年 4 月 3 日

# 浙江大学实验报告

课程名称： 生物医学传感与检测 实验类型：                     

实验项目名称： 电容传感器的特性测试及其应用

指导老师： 陈凌翔

实验地点： 教7西裙楼 - 301 实验日期： 2025 年 4 月 3 日

## 一、实验目的和要求

了解差动变面积式电容传感器的原理、特性及应用。

## 二、实验内容和原理

图 1.1 为差动变面积式电容传感器的实验装置。它由两组上、下层定片和一组固定在振动台上的动片组成，上层定片组与动片组组成电容器，总电容值为  $C_{X1}$ ，下层定片组与动片组组成另一个电容器，总电容值为  $C_{X2}$ 。当改变振动台上下位置时，动片组跟着改变垂直位置，使动片组与上下两组定片之间的重叠面积相应发生变化，引起上下两组电容器的总电容值  $C_{X1}$  和  $C_{X2}$  差动变化。如将  $C_{X1}$ ,  $C_{X2}$  接入电容—电压变换电路（电容变换器），则变换电路的输出电压  $U$  与电容变化有关，即与振动台位移量  $Y$  有关。

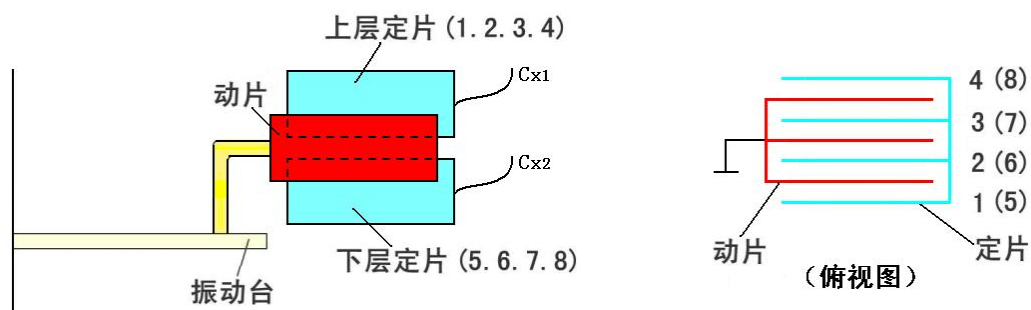


图 1.1 实验装置示意图

图 1.2 为电容变换器电路原理图，电容变换器采用二极管双 T 型交流电桥电路，将两个差动电容器 CX1 和 CX2 电容值的差值转换为电压信号输出，其电容—电压转换特性为：

$$U_L \approx E[(R+2R_L)/(R+R_L)^2] R f R_L (C_{X1} - C_{X2})$$

式中  $f$ ——电容变换器高频方波电源的频率；

$E$ ——方波的幅值；

$R$ ——内部固定电阻；

$R_L$ ——负载电阻（可调）；

$C_{X1}$ 、 $C_{X2}$ ——差动电容。

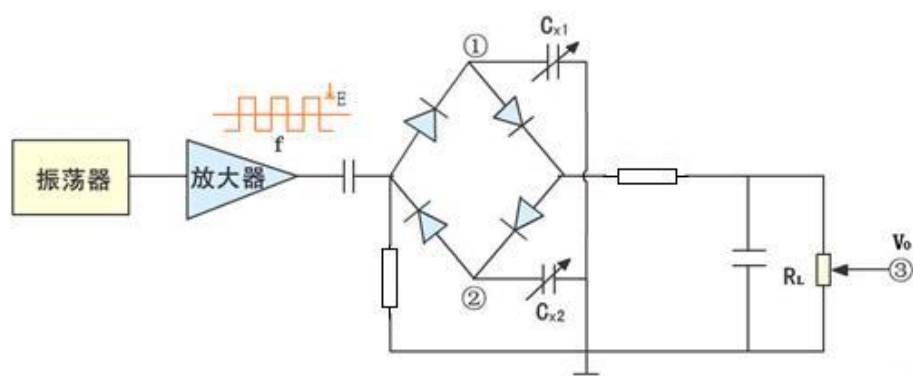


图 1.2 电容变换器电路原理图

### 三、主要仪器设备

电容传感器、电容放大（变换）器、差动变换（放大）器 II、低通滤波器、电压表、测微头、示波器、低频振荡器。

差动变换器 II 增益旋钮置于中间，电压表置于 2V 档，电容放大器增益最大。

### 四、操作方法和实验步骤

1. 差动变换器 II 调零，实验按图 1.3 接线。

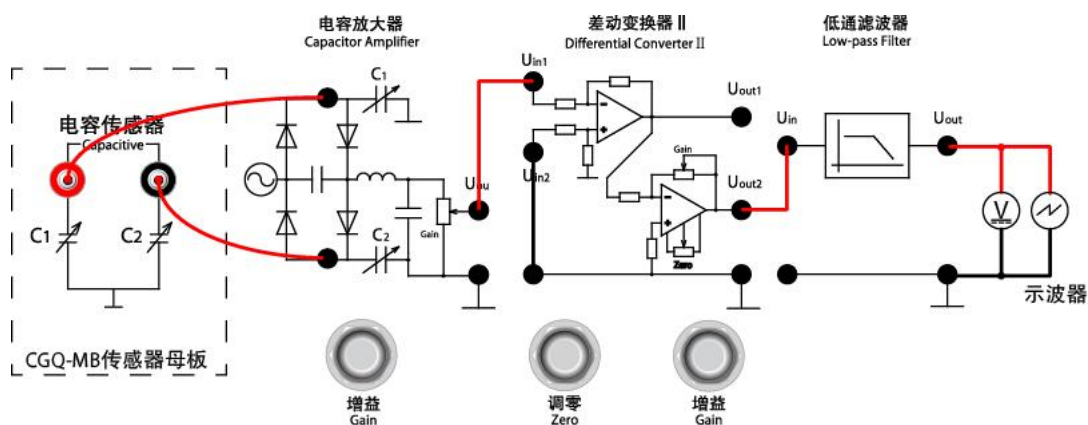


图 1.3 实验接线参考图

2. 电压表选 2V 档，安装测微头与圆盘工作台吸合，转动测微头，调节电容传感器动片的垂直位置，直至电压表读数为零，此时电容传感器的动片位于上层和下层定片的正中间 ( $CX1 = CX2$ )，标记为位移零点。
3. 转动测微头，上下位移  $\pm 2\text{mm}$ ，每次  $0.1\text{mm}$ ，记录测微头读数及电压表读数。找到位移零点后，可将测微头转到  $+2\text{mm}$  处，从  $+2\text{mm}$  往下到  $-2\text{mm}$  连续测量，保持数据的连贯性，避免回程误差。
4. 卸下测微头和电压表，将低频振荡器的输出端与频率表的输入端及振动源相连，如图 1.4，调节低频振荡器的频率和幅度，使圆盘工作台产生适当幅度的振动。用示波器观察低通滤波器的输出电压波形，记录振动频率，并与低频振荡器的频率相比较。

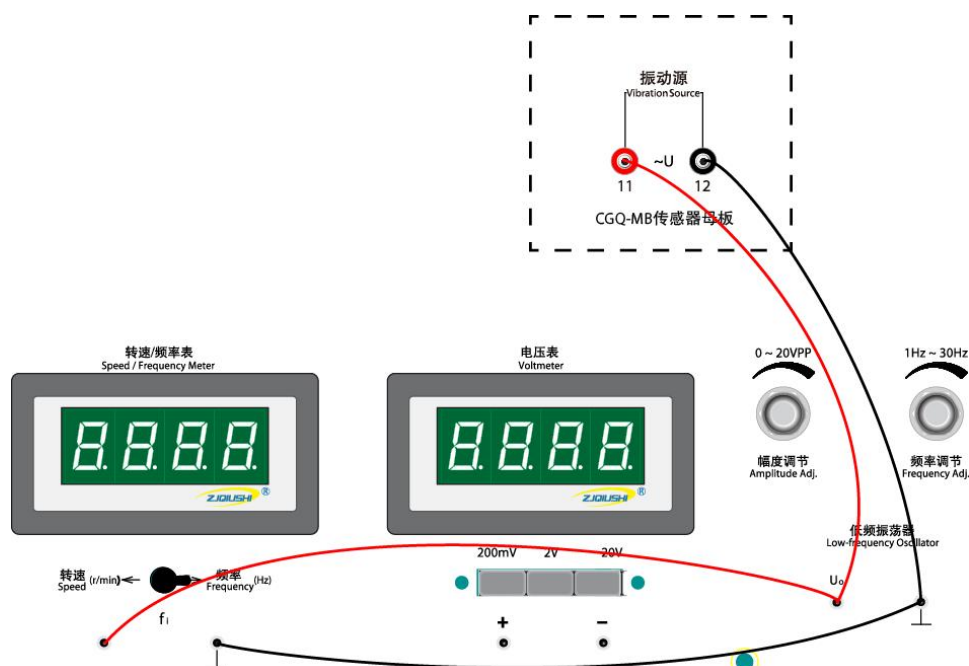
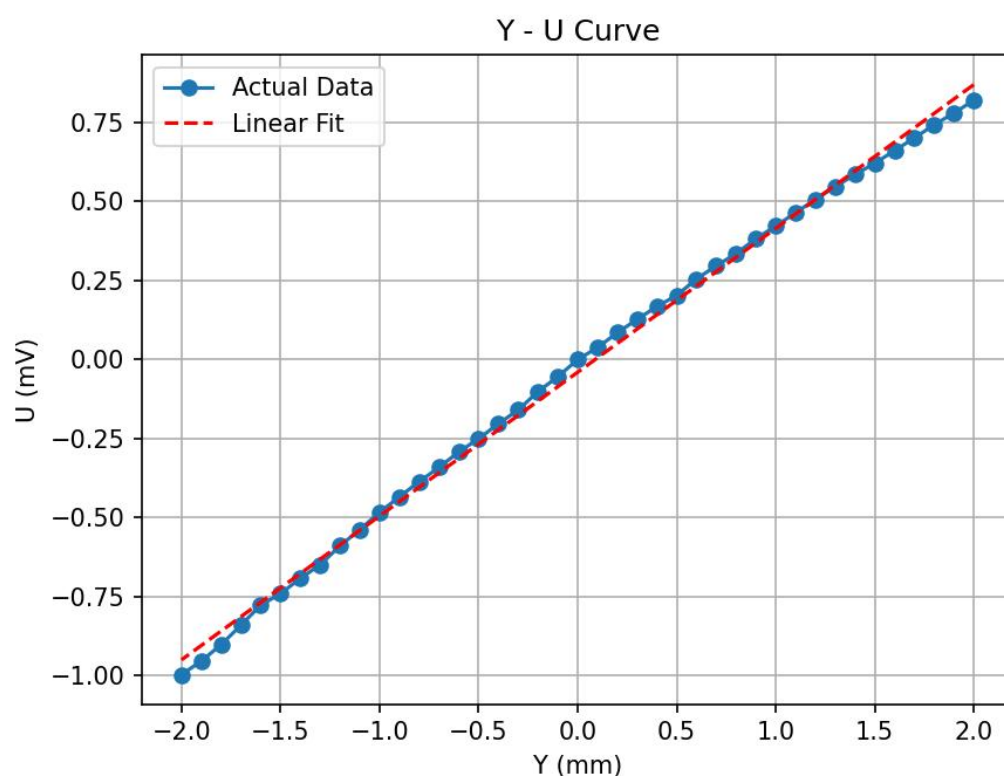


图 5.4 振动接线参考图

## 五、实验数据记录和处理

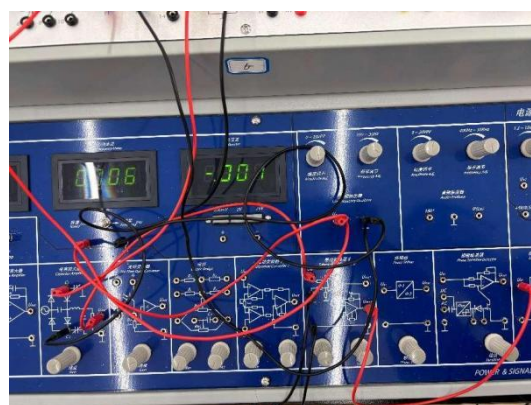
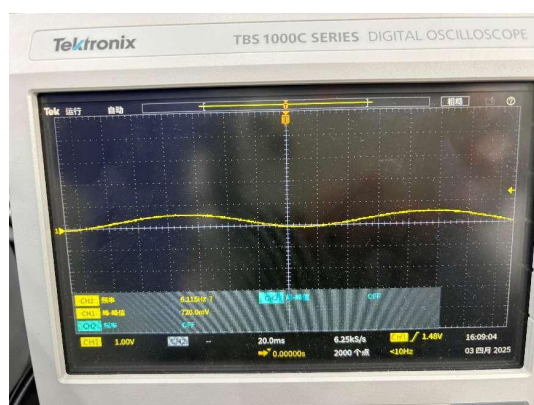
Y (mm)	U (mV)	Y (mm)	U (mV)
2	0.82	-0.1	-0.054
1.9	0.78	-0.2	-0.101
1.8	0.743	-0.3	-0.159
1.7	0.701	-0.4	-0.203
1.6	0.661	-0.5	-0.25
1.5	0.621	-0.6	-0.292
1.4	0.585	-0.7	-0.341
1.3	0.547	-0.8	-0.386
1.2	0.506	-0.9	-0.434
1.1	0.465	-1	-0.483
1	0.422	-1.1	-0.538
0.9	0.383	-1.2	-0.589
0.8	0.335	-1.3	-0.649
0.7	0.297	-1.4	-0.692
0.6	0.255	-1.5	-0.74
0.5	0.203	-1.6	-0.777
0.4	0.168	-1.7	-0.84
0.3	0.127	-1.8	-0.902
0.2	0.085	-1.9	-0.953
0.1	0.038	-2	-0.997
0	0		



## 六、实验结果与分析

根据线性拟合公式  $U = 0.45485Y + 0.0013$ ，灵敏度  $S$  计算为直线斜率  $0.45485 \text{ mV/mm}$ 。线性度根据最大偏差与满量程输出的百分比计算：

$$\text{线性度 } L = \Delta U_{\max} / U_{FS} \times 100\% = 2.74\%$$



由图可看出，示波器观测显示低通滤波器输出频率与低频振荡器频率误差小于  $0.5\%$ ，表明电容变换器电路具有良好的频率响应特性，即验证了系统设计的合理性。

## 七、讨论、心得

### 1. 与电涡流式传感器作比较，比较两种传感器在相同区间内的线性度。

在 lab3 中测得电涡流式传感器的线性度为 4.56%，因此排除误差影响（同台设备）仅从结果而言，差动变面积式电容传感器要优于电涡流式传感器。

而从原理来说，电容传感器采用差动结构，通过两个电容的差值输出有效抵消了共模干扰；电涡流式传感器受被测材料电导率、磁导率影响显著，且存在趋肤效应限制。变面积式电容变化与位移呈线性关系，而电涡流效应的非线性度更高，从而进一步验证了结果的结论。

### 2. 变面积式电容传感器与变极距式电容传感器相比哪一种线性好？讨论它们存在非线性的原因。

变面积式电容传感器的线性度明显优于变极距式。变面积式通过极板有效面积变化实现电容变化，其数学关系为  $C = \epsilon A/d$ ，当  $d$  固定时  $C$  与  $A$  成正比，理论线性度可达 0.1%。而变极距式的  $C = \epsilon A/(d \pm \Delta d)$ ，其非线性来源于分母的  $\Delta d$  项，导致输出与位移成反比关系。两种传感器非线性的主要原因包括：

- （1）边缘效应导致电场分布不均匀；
- （2）寄生电容的存在改变实际电容值；
- （3）极板机械变形引入附加误差；
- （4）变极距式传感器的非线性度随  $\Delta d/d$  增大而加剧。

实验结果验证了差动结构在改善线性度方面的有效性，同时也认识到环境因素对电容测量的影响。与电涡流式传感器的对比实验，使我更清晰地理解了不同类型传感器的适用场景，为后续工程应用奠定了实践基础。