

# 报告

## 微小阻抗测量

### 实验目的

- 学习使用锁相放大器
- 精确测量某一个元件或线路的微小阻抗及分离其纯电阻分量

### 实验材料

- 实验对象

| 可调节板间隔（变化）的平行板电容和变容二极管电容随偏置电压的变化。

- 待测器件

| 平行板电容

- 仪器用具

- 平板电容器

- 变容二极管

- D6251863 双通道锁相放大器

- 示波器

- 

### 数据文件格式

| (表格详见 数据记录 部分)

桌号: B3

LIA: D6251863, 双通道

实验方法：分压法测微小电容变化

面包板接触电阻太大

报告包含所搭建的测量单元的实物照片

## 微小阻抗测量原理

微小阻抗：微小感抗、微小容抗、微小电阻，阻值在微欧量级。在很多场合，更需要测量的是电阻、或电感、或电容的微小变化。

- 电流通过微小热敏阻抗或者热敏阻抗自身变化引起的压降比较小， $\text{SNR} \downarrow$ 。我们使用LIA测量之。
- 容感元件在不同频率下的阻抗也不同，分布的、极小的电容影响精密测量先明确结果影响因素：
- 引线
- 接触电阻
- 内阻
- 接触点温差电势

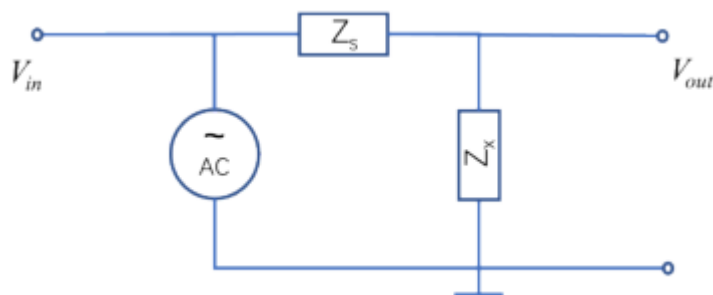
## 分压法测量

选择理由：分压法的噪声相比于四引线法更小。

微小电感

$$\tilde{Z}_L = j\omega L, Z_R = R$$

所以同时考虑低频下的电阻和电感的微小测量.对于一个标准的R,C串联电路:



$$\tilde{V}_{out} = \frac{Z_X}{Z_S + Z_X} \tilde{V}_{in} = \frac{r_x + j\omega L_x}{r_s + r_x + j\omega L_x} \tilde{V}_{in}$$
$$\frac{V_{in} e^{i\omega t}}{r_s + r_x + j\omega L_x} = \frac{V_{out} e^{i(\omega t + \varphi)}}{r_x + j\omega L_x}$$

$$V_{in} \frac{r_x^2 + \omega^2 L_x^2}{r_s^2 + r_x^2 + \omega^2 L_x^2} (r_s + r_x + j\omega L_x) = V_{out} (r_x \cos \varphi + \omega L_x \sin \varphi + j(r_x \sin \varphi - \omega L_x \cos \varphi))$$

$$\operatorname{Re}\{Left\} = \operatorname{Re}\{Right\}, \operatorname{Im}\{Left\} = \operatorname{Im}\{Right\}$$

$\implies$

$$r_x = \frac{V_{out} (r_s \cos \varphi - \omega L_x \sin \varphi)}{V_{in} - V_{out} \cos \varphi}$$

$Z_X$ 为纯电阻, 则 $L_X = 0, \varphi = 0, r_x = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} r_s$

测微小电容

$$C_X = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} C_0$$

可以得到待测电容。

分压法的输出电压进入锁相放大器, 能够得到时变的小阻抗信号。由于LIA的在低频段效果不甚理想, 于是我们必须考虑低频下的本底的消除。

固定平行板间距, 改变流经板间的介质的浓度。在测量电容时, 用OE1022D双通道锁相放大器提供信号源作为 $V_{in}$ 进入电路, 经过变压器提压和直流隔离, 加到测量电路, 再将 $V_{out}$ 输入到锁相放大器。

- 耦合: 此处是信号的叠加
- 阻抗匹配: 在此实验中, 低频信号可以忽略反射。但要考虑到变压器处的阻抗匹配。
- 直流耦合: 保证直流交流都能通过
- 交流耦合: 滤去直流

## 实验步骤

- 测量小电容及其变化
  1. 在教学实验箱上连接待测电容, 如变容二极管、或自制电容(如可调间距的平板电容、双绞线电容等);
  2. 按实验方案连线示意图对教学实验箱与锁相放大器接线: 包括锁相放大器信号输出、输入, 反偏直流电压点 DC-Vt 电位测量(查 OE1022 说明书, 注意单通道与双通道锁相放大器的不同。)
  3. 设置参考信号频率与振幅;
  4. 电缆连接后拍照, 且锁相放大器的外部输入的参考信号不得小于150mV
  5. 小心缓慢调节教学实验箱上的电位器, 扫频使得变容二极管的反偏直流电压DC-Vt 从1至 7.9V 逐渐变化, 变化步长为 0.2V, 逐点记录 DC-Vt 和锁相放大器 R 值;
  6. 记录测量值, 结束后利用(D1- 55)式计算二极管电容, 并作 DC-Vt 的曲线关系图。

$$3. C_x = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} C_0$$

如图所示，用教学实验箱给二极管加偏置电压，用OE1022提供信号源（式中的 $V_{in}$ 为SINE OUT信号发生器输出信号，经实验箱变压器提压以及直流隔离，加载测量电路上；式中的 $V_{out}$ 为输入锁相放大器 $signal_{in}$ 的信号，即 $V_{out}$ 是OE1022测得值幅值R， $C_0 = 6.8nF$

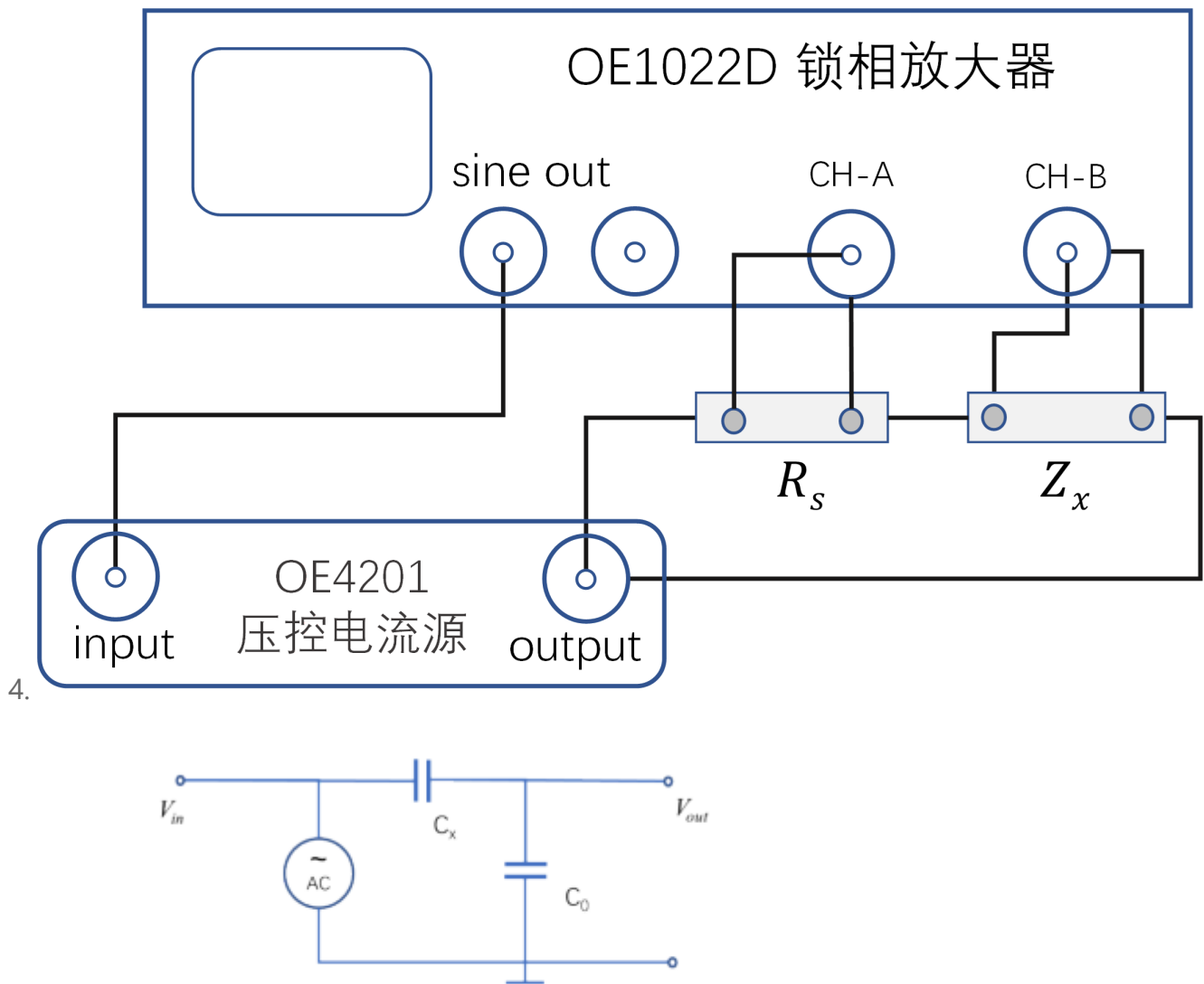


图 D1- 37 变容二极管结电容测量实验原理图简图

数据记录

$V_R \propto \frac{V}{Z}$

Sens = 5mV

$V_{PC}$ (mV)	$R_{max}$ (mV)
10	<del>0.0358</del> 0.0345
20	0.0292
30	<del>0.0297</del> 0.0221
<del>5</del>	<del>0.0335</del>
40	0.0235
50	0.0225
<del>150</del>	0.0835
250	0.091
350	0.105
450	0.144
550	0.166
700	0.187
1000	0.256, 0.287
1500	0.361
2000	0.397
3k	<del>0.436</del> 0.42
4k	<del>0.431</del> 0.42
5k	<del>0.431</del> 0.43
6k	0.47
7k	0.48
8k	0.49

Sens = 100mV

(Sens = 30mV)

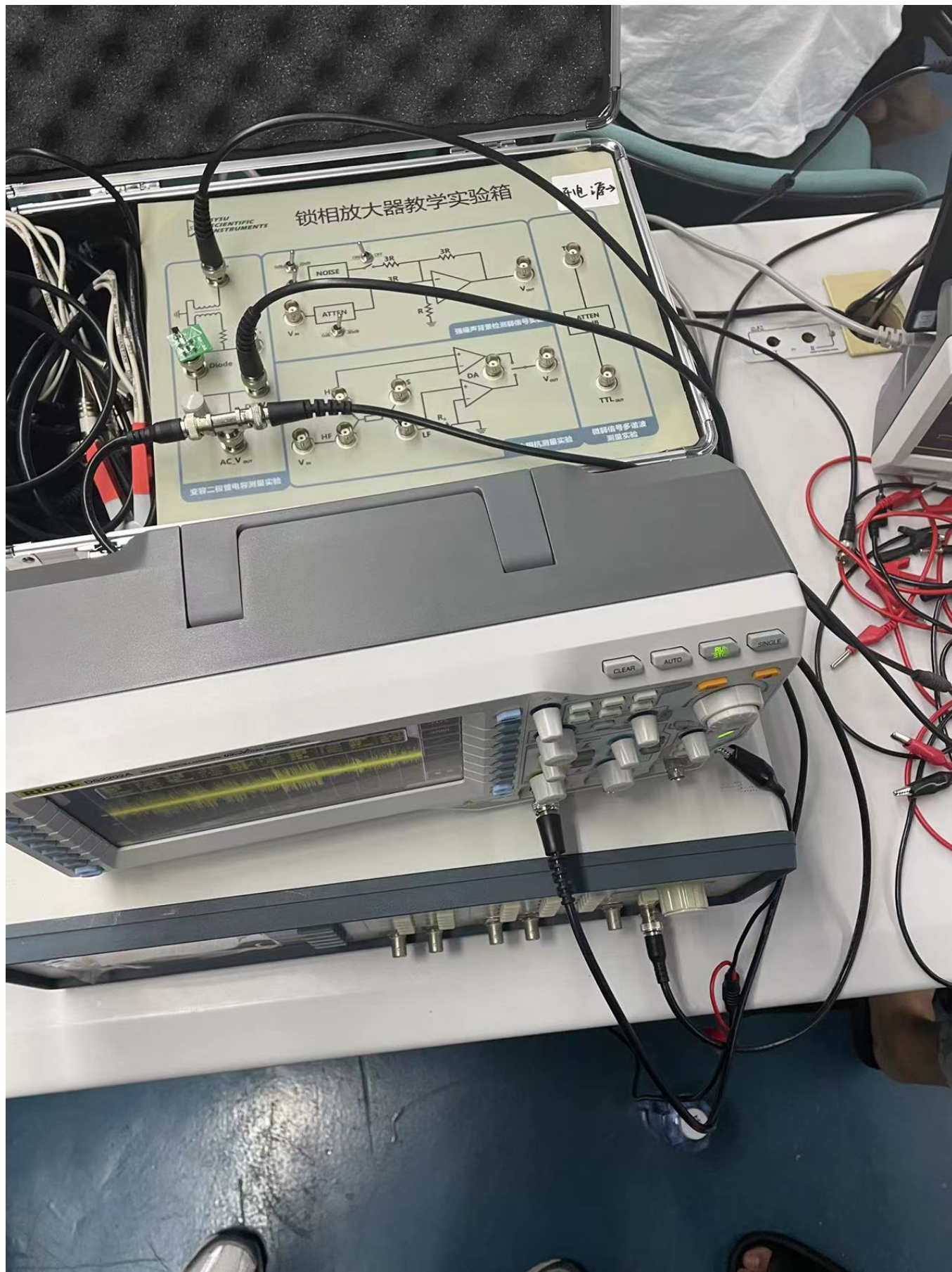
31/10/2022

1月慢拍记录

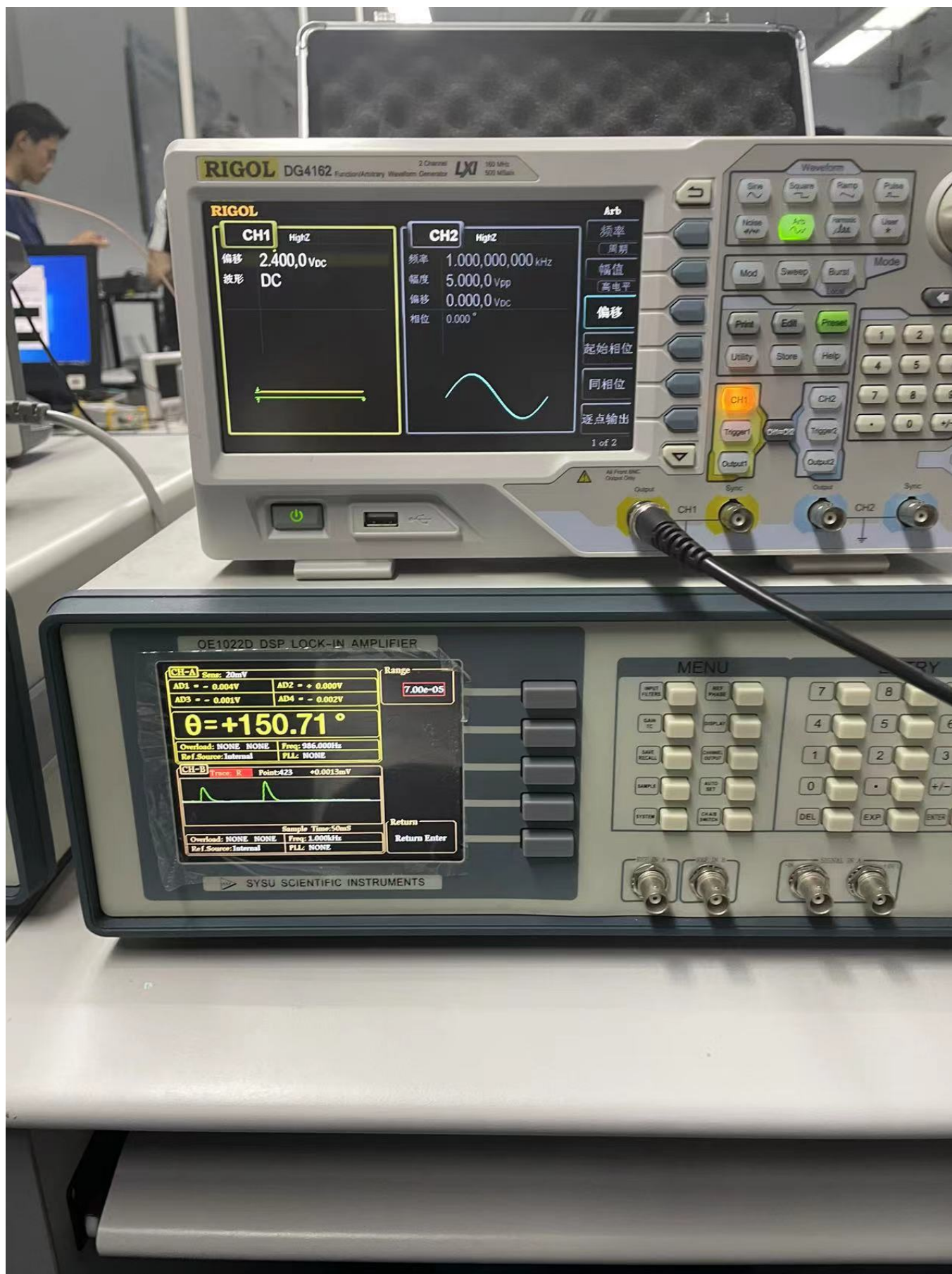
1月慢拍

分析讨论

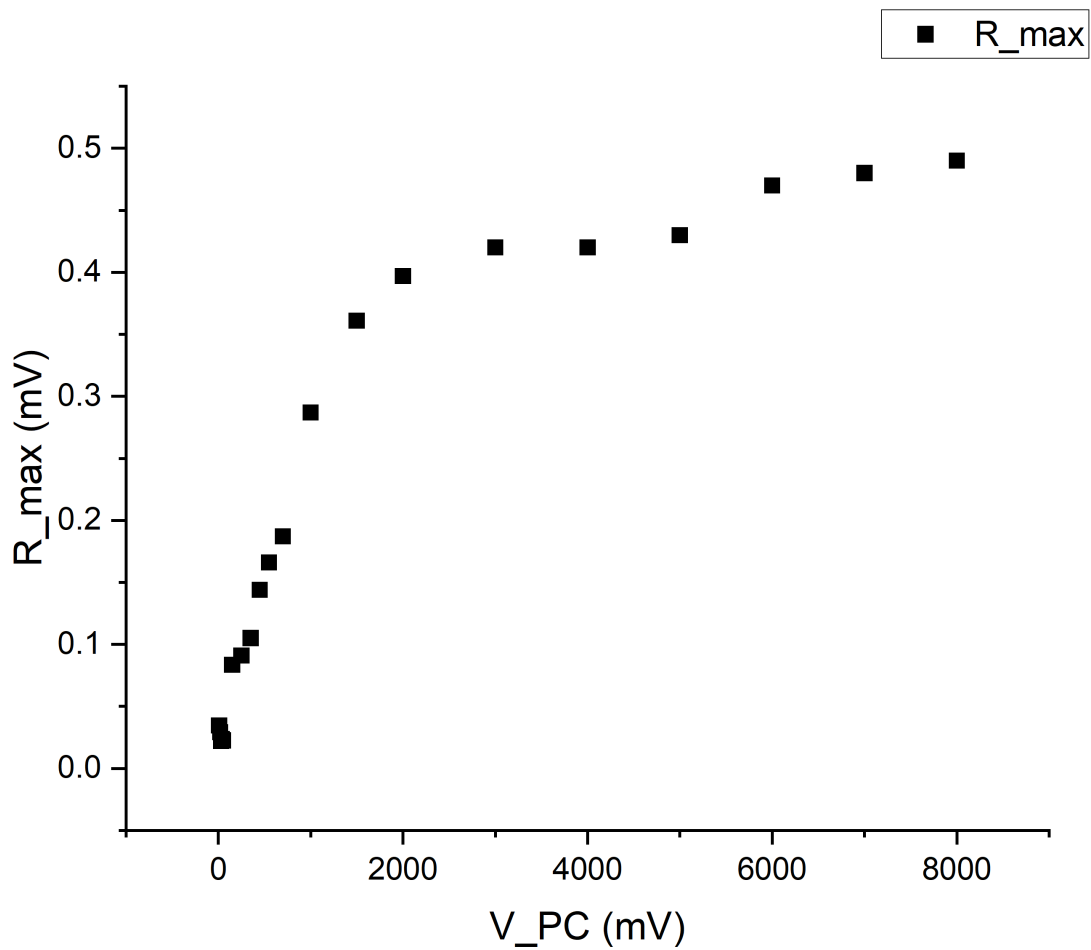
实验中，小组发现可以通过**TUX**接口来让双通道锁相放大器输出直流信号，但经过比较，我们发现锁相生成的直流信号会有不时的整体上下偏移，所以最终选择函数发生器的直流输出。







首先整理数据, 得到初步的  $R_{max} - V$  图像



我们测量到 $R_{max}$ 为经过LIA处理过的 $V_{out}$ ,  $V_{pc}$ 为其反向偏压

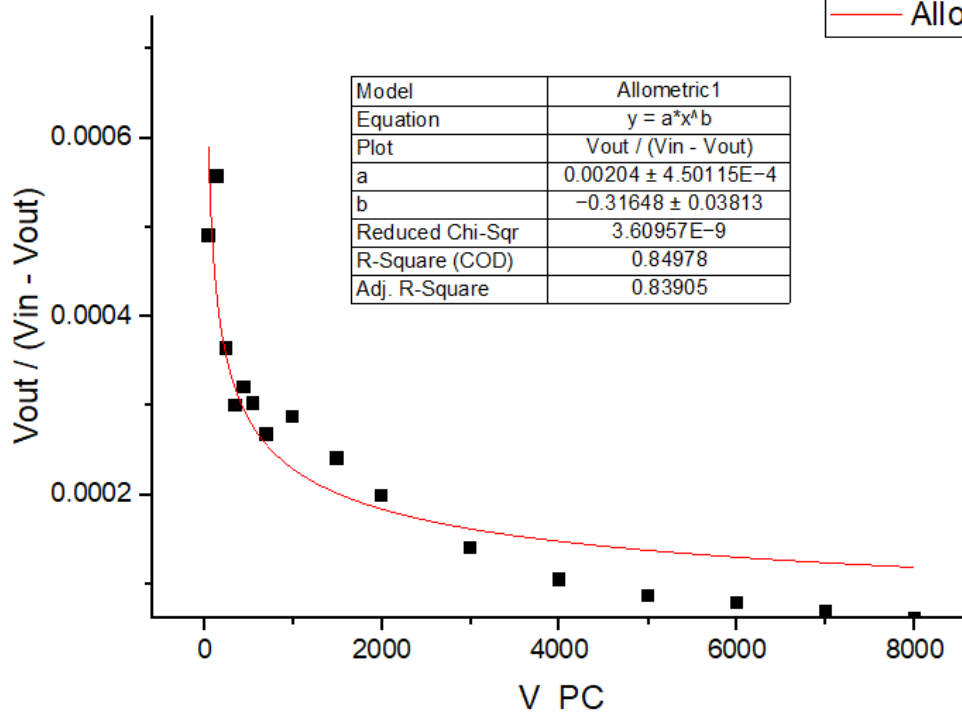
在不考虑电容的情况下，我们进行拟合：

在 $C_x = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} C_0 = \lambda C_0$ 中

$$\lambda = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} = (-) \frac{1}{1 - \frac{V_i}{V_o}} = - \frac{1}{1 - \frac{v}{v_D}}$$

$$\lambda_1(V_{pc}) = 0.002V_{pc}^{-3.1648}$$





## 思考题

### 测量微小电阻思考题

$$C_x = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} \quad (A)$$

1. 对于电流(纯电阻压降), 电容的压降为虚部, 在推导(A)式时, 为何没有考虑虚部的贡献?  
首先, 我们先导出:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_C &= \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \\ V_{out} e^{i(\omega t + \varphi)} &= V_{in} e^{i\omega t} \frac{\frac{1}{\omega C_0}}{\frac{1}{\omega C_0} + \frac{1}{\omega C_X}} = V_{in} e^{i\omega t} \frac{C_X}{C_X + C_0} \\ \frac{C_X + C_0}{C_X} &= \frac{\tilde{V}_{in}}{\tilde{V}_{out}} \Rightarrow C_X = \frac{C_0}{\frac{\tilde{V}_{in}}{\tilde{V}_{out}} - 1} = C_0 \frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in} - \tilde{V}_{out}} \end{aligned}$$

由于电路简图中, 我们并入了一个电容, 又串如一个电容, 所以对单电容造成的相差有了抑制效果。于是可以有:

$$\varphi \approx 0 \Rightarrow C_0 \frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in} - \tilde{V}_{out}} = C_0 \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}}$$

2. OE1022的输入阻抗为 $10\text{M}\Omega$ ，等效电容为  $25\sim 30\text{pF}$ （见手册），请在简化模型（图 D1-37 的原理图）的基础上画出等效电路（提示如图 D1- 43）；并且，分析忽略它会造成误差有多大？是属于什么误差？
3. 定量分析反偏直流电压与二极管结电容的关系，并通过拟合(D1- 61)式，判断所测的PN 结是哪种结：

$$C_j(v) = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{v}{v_D}\right)^\gamma}$$

其中， $C_{j0}$ 为偏置电压为零（ $V=0$ ）时的结电容， $\gamma$ 为电容变化系数，它的值随半导体的掺杂浓度和 PN 结的结构不同而异， $V_D$ 为接触电势差。

根据前面的拟合结果，测的是N结。