

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

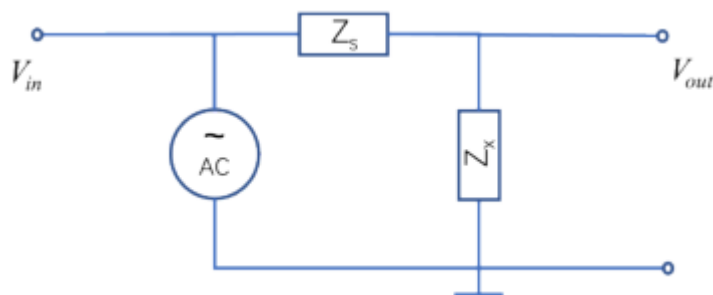
分压法测量

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， $C_0 = 6.8nF$

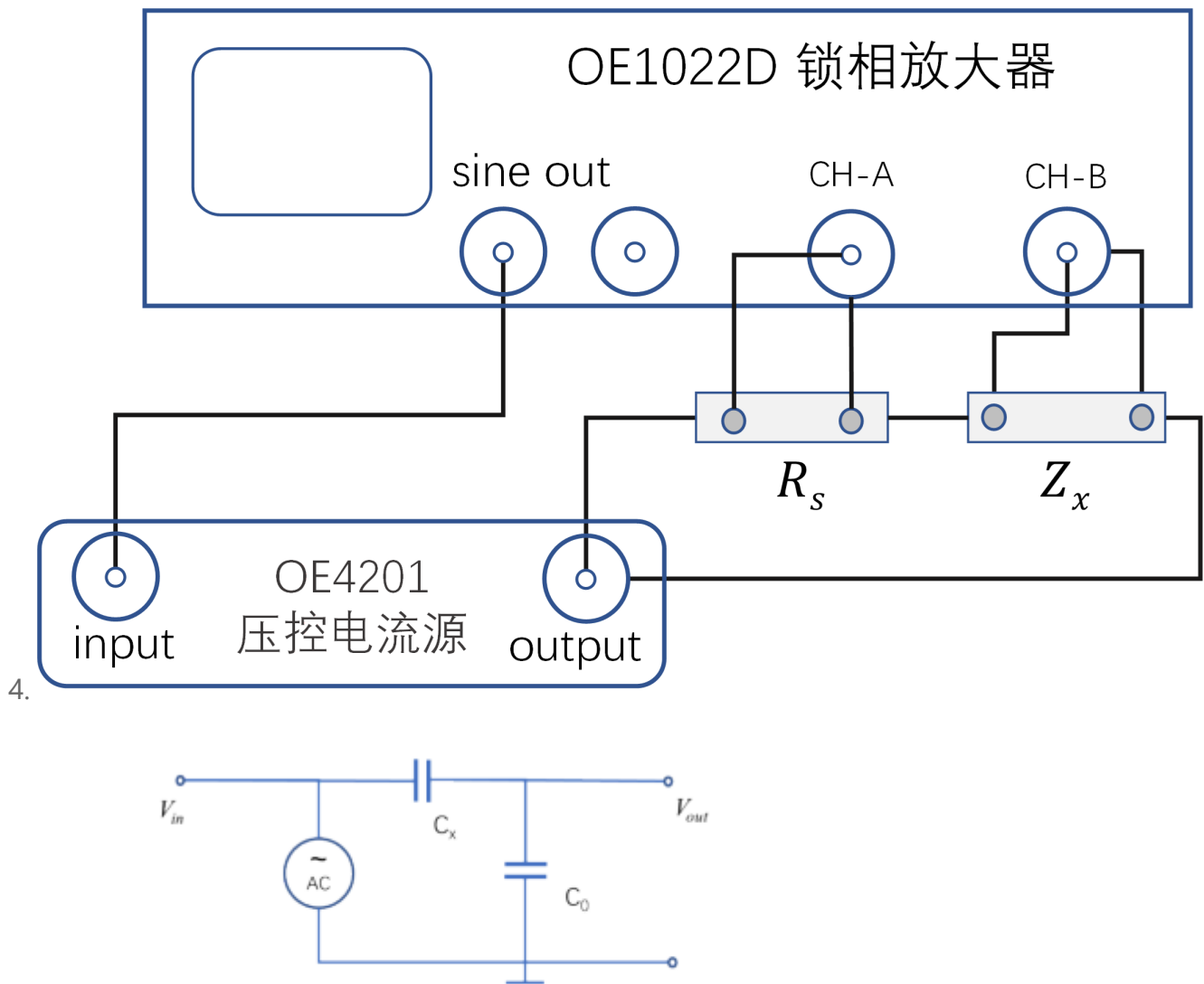


图 D1- 37 变容二极管结电容测量实验原理图简图

数据记录

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

Sens = 5mV

V_{PC} (mV)	R_{max} (mV)
10	0.0358 0.0345
20	0.0292
30	0.0297 0.0221
5	0.0335
40	0.0235
50	0.0225
150	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	0.436 0.42
4k	0.431 0.42
5k	0.431 0.43
6k	0.47
7k	0.48
8k	0.49

Sens = 100mV

(Sens = 30mV)

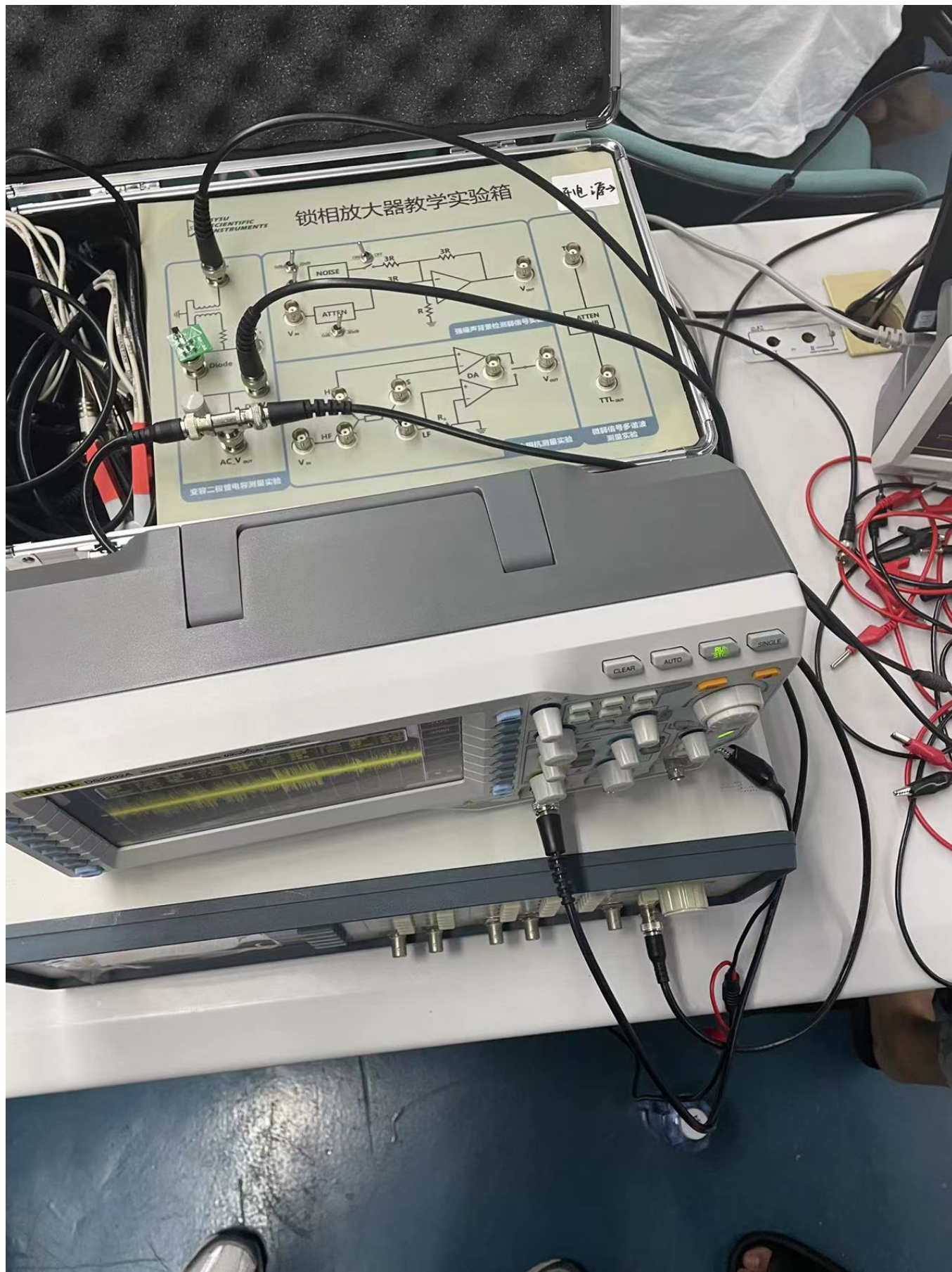
31/10/2022

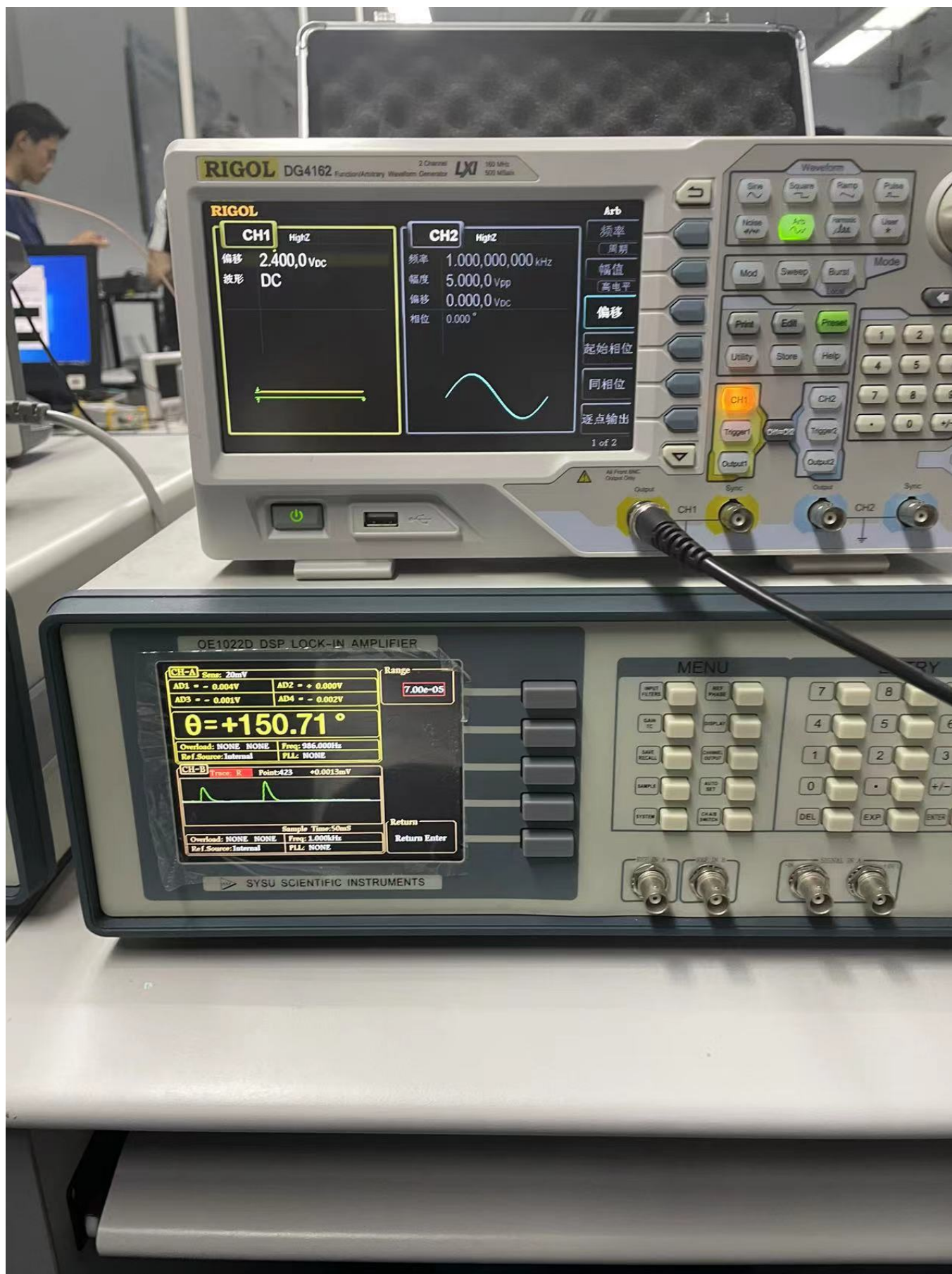
1月慢拍记录

1月慢拍

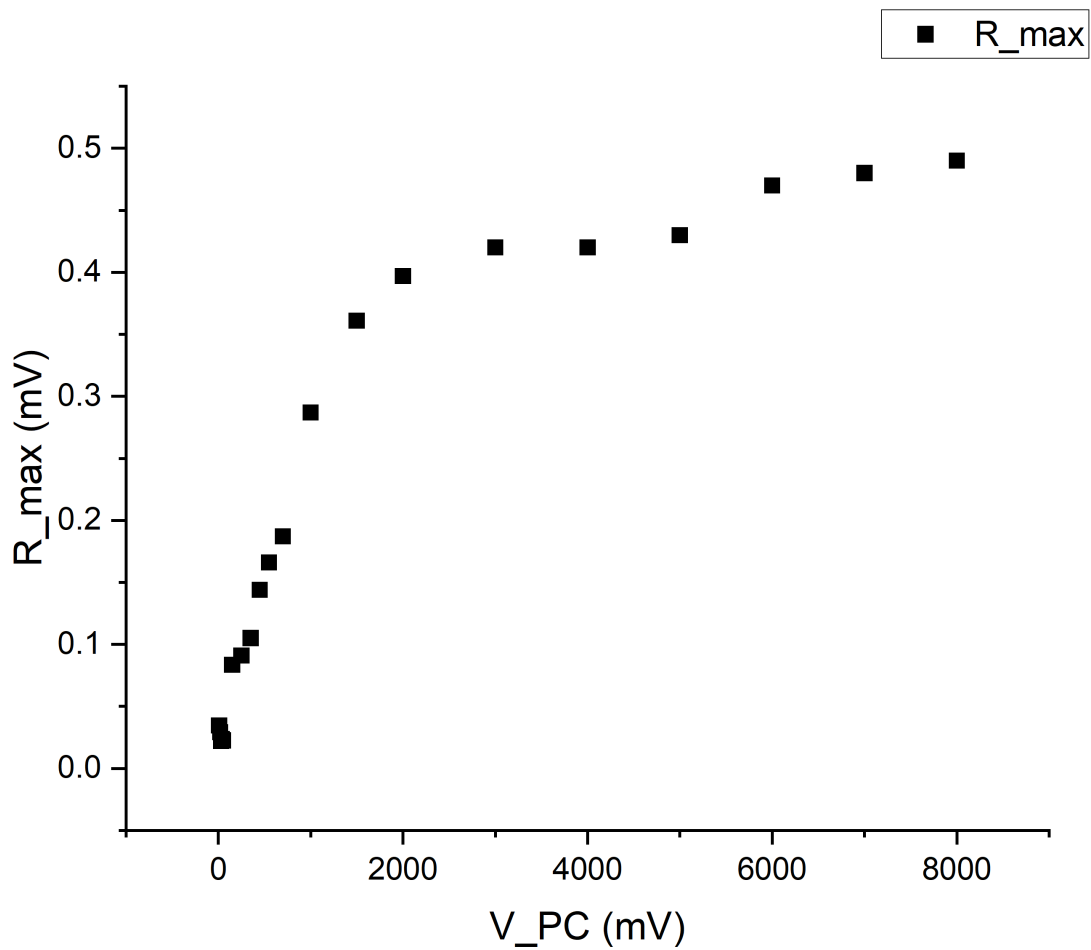
分析讨论

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



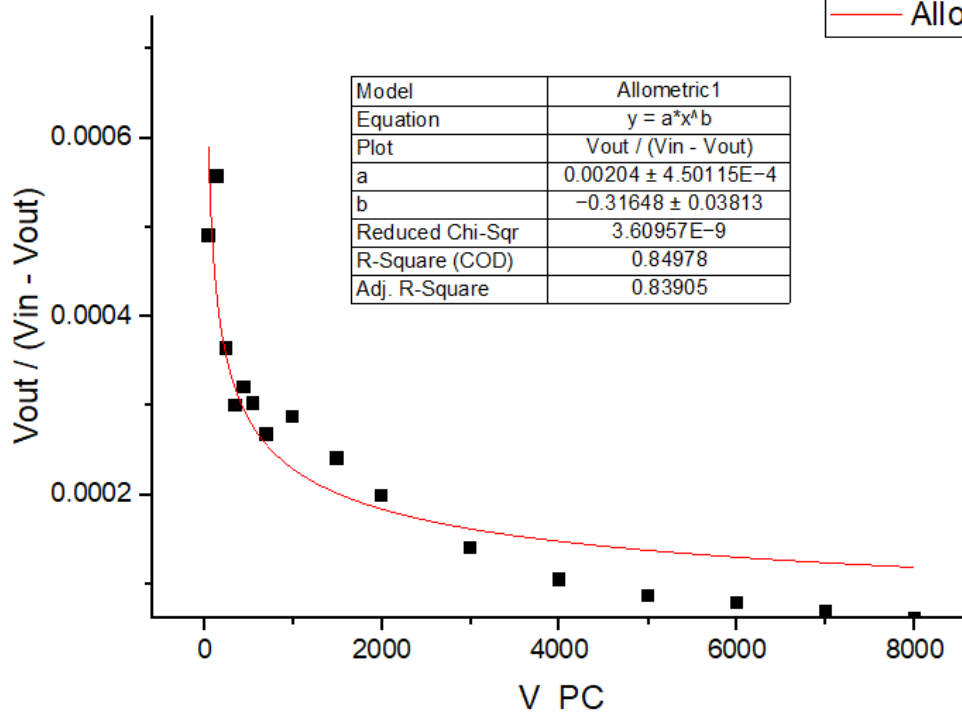
我们测量到 R_{max} 为经过LIA处理过的 V_{out} , V_{pc} 为其反向偏压

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， γ 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。