

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

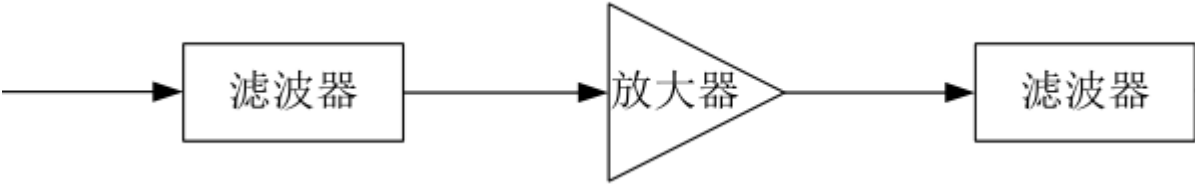
LIA基本原理重述

锁相放大器(Lock-in Amplifier), 对于弱毫伏量级的信号有较好的测量效果。

噪声测量处理技术

现在我们来滤除噪声，

- 简单滤波法 滤波法只适用于测量信号和噪声 $f_s \neq f_n$ 的小信号情况。一个有噪的直流滤波器除噪。用工频陷波器来给(50Hz_). 带通滤波适用于高频率小信号。一般地示波器:



输入信号 $x(t) = s(t) + n(t)$, 用 s 表示待检信号。

$$x(t) = a \cos \omega_s t + foo_a^b(other_waves)$$

我们对总体进行带通滤波(BPF)，信号为:

$$x(t) = a \cos \omega_s t(remainstill) + foo_{a-\Delta\omega/2}^{b+\Delta\omega/2}(other_waves)$$

其中 $\Delta\omega$ 为带同宽度。其余方法如LPF同理, 锁相放大器也采用LPF. 对于LPF的实现，我们根性。

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

- 调制解调技术

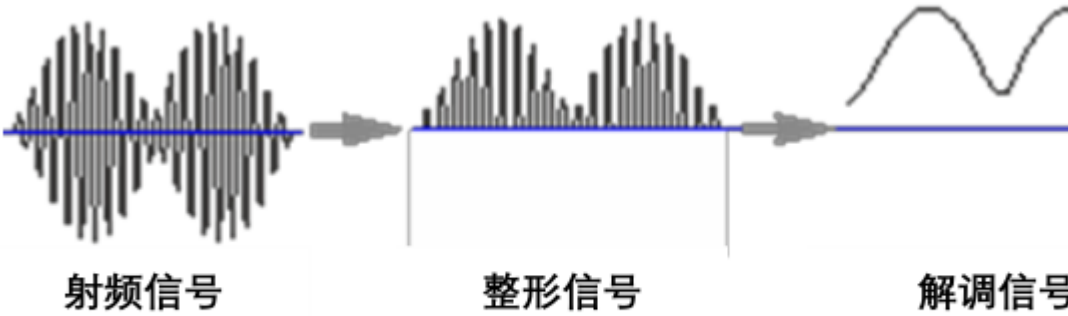


图 D1- 8 传统振幅调制（AM）解调原理，在时域的表示的主[AM/FM之分。

- 相敏检测

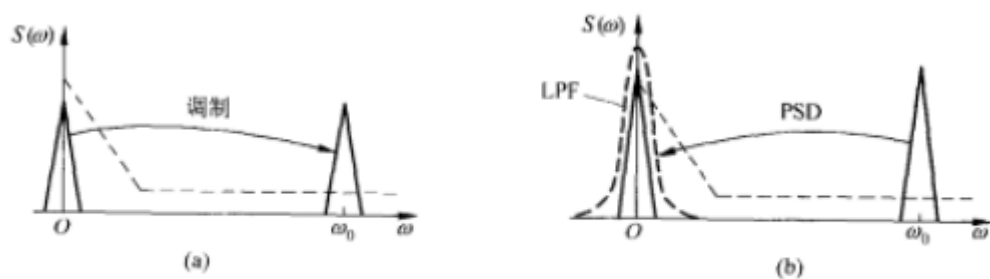
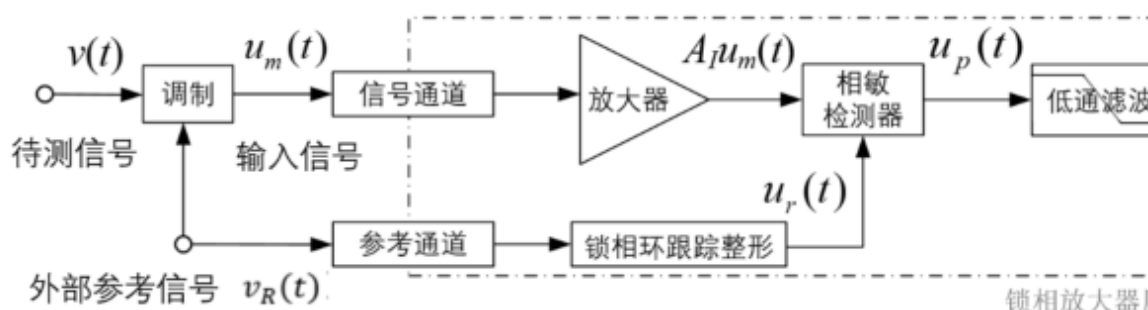


图 D1-9 锁相放大器对信号频谱进行迁移的过程

- 锁相放大法

LPF，所以直流或者慢变信号对他来说需要额外处理。LIA与一般地LPF的最大不同在于敏检波技术

1. 它先将直流或者慢变信号的频谱迁移到 ω_m 处，再进行放大。
2. 利用相敏检测器PSD对被调制信号解调，可以同时利用频率 ω_m 和相角 θ 检测信号,因为又同相的概率很低
3. 用低通滤波器来抑制宽带外的噪声。低通滤波器的频带可以做得很窄,而且其频带宽度锁相环内部的参考信号（实际与放大输入信号一起通过PSD的信号）是和输入的外部相位差锁定的参考信号 u_{ref} 。产生原理:



当然这个参考信号不一定都得是内部在生成的，它也可以是直接的外部参考信号，我们引，为了保证参考信号的稳定。

- LIA的具体工作原理

输入信号 $u_i(t)$ 放大 $\rightarrow A_I u_i \rightarrow PSD(A_I u_i u_{ref}) \rightarrow LPF \rightarrow u_o$

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， $SNR \downarrow$ 。我们使用LI
- 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
- 引线
- 接触电阻

- 内阻
- 接触点温差电势

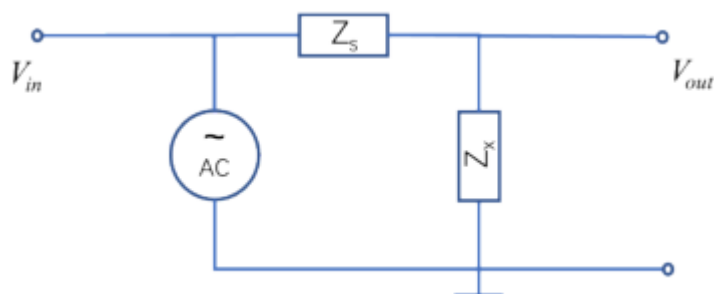
分压法测量

选择理由: 分压法的噪声相比于四引线法更小。

微小电感

$$\begin{aligned}\tilde{Z}_L &= j\omega L, \\ Z_R &= R\end{aligned}$$

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:



$$\begin{aligned}\tilde{V}_{out} &= \frac{Z_X}{Z_S + Z_X} \tilde{V}_{in} = \frac{r_x + j\omega L_x}{r_s + r_x + j\omega L_x} \tilde{V}_{in} \\ \frac{V_{in} e^{i\omega t}}{r_s + r_x + j\omega L_x} &= \frac{V_{out} e^{i(\omega t + \varphi)}}{r_x + j\omega L_x} \\ V_{in} \frac{r_x^2 + \omega^2 L_x^2}{r_s^2 + r_x^2 + \omega^2 L_x^2} (r_s + r_x + j\omega L_x) &= V_{out} (r_x \cos \varphi + \omega L_x \sin \varphi + j(r_x \sin \varphi - \omega L_x \cos \varphi)) \\ \text{Re}\{Left\} &= \text{Re}\{Right\}, \text{Im}\{Left\} = \text{Im}\{Right\} \\ \implies r_x &= \frac{V_{out} (r_s \cos \varphi - \omega L_x \sin \varphi)}{V_{in} - V_{out} \cos \varphi}\end{aligned}$$

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，将 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入、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区别）；
 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，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，锁相放大器 $signal_{in}$ 的信号，即 V_{out} 是OE1022测得值幅值R， $C_0 = 6.8nF$

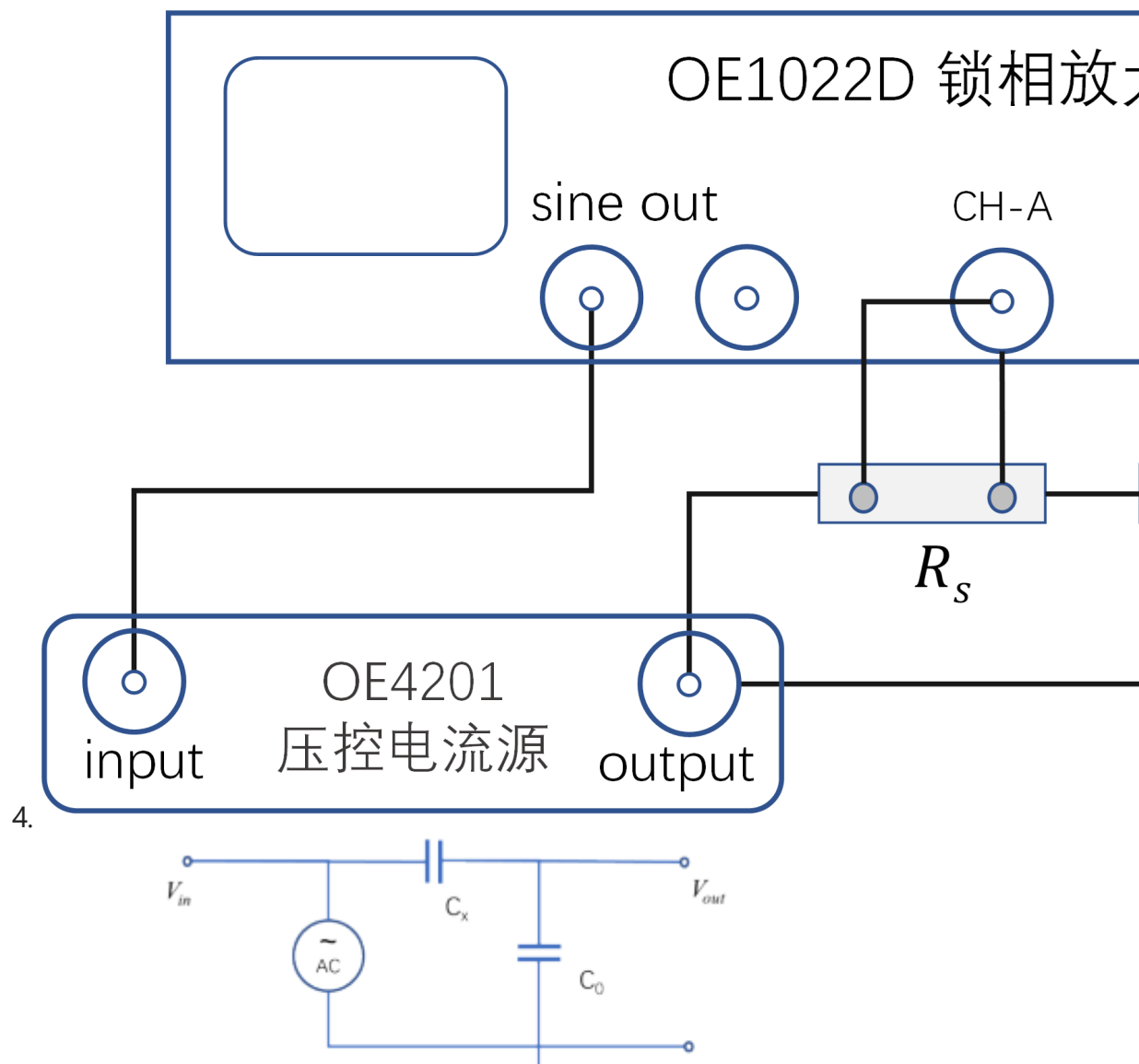


图 D1-37 变容二极管结电容测量实验原理图简图

数据记录

思考题

LIA思考题

1. 市频 50Hz 干扰通常通过电源耦合，影响仪器的测量结果；对于 997Hz 的待测信号，！吗？对锁相放大器的测量会有影响吗？
2. 如何用锁相放大器检测到待测的直流信号或慢变信号？(图 D1-9 中的 $v(t)$ 为直流或慢变信号)
3. 如用斩波器调制直流信号（如光强），被斩制后的信号（图 D1-9 中的 $u(t)$ 信号）仍为交流信号（即平均值不为零），但该直流分量随交流信号输入锁相放大器不会被锁相放大器检测到。

说明。

4. 相位以及相位差的含义是什么？锁相放大器输出的 ϕ 是待测信号的相位还是待测信号与位差？

测量微小电阻思考题

$$C_x = \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}}$$

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 $10M\Omega$ ，等效电容为 $25\sim 30pF$ （见手册），请在简化模型（图 D1-43）基础上画出等效电路（提示如图 D1-43）；并且，分析忽略它会造成的误差有多大？
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P

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

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，它的值随半导体结的结构不同而异， V_D 为接触电势差。