

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.12.3

一、实验名称：交流电桥

二、实验目的：

- 了解交流电桥的平衡原理，领会比较法测量物理量的物理思想。
- 掌握 DH4518 型交流电桥的使用方法及调节平衡的技巧。
- 学会用交流电桥（串联电阻式）测量实际电容器的电容量 C_x 及其损耗电阻 R_x 和损耗因数 $\tan \delta$ 。

三、实验原理：

（一）交流电桥的平衡条件

交流电桥主要用于测量交流等效电阻、电容、电感及其相关参数。其基本原理如图所示，四个桥臂由阻抗元件 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 组成。在电桥的一个对角线 AB 上接入交流电源 U ，另一对角线 CD 上接入交流指零仪 G 。

当调节电桥参数使指零仪示数为零（ $I_g = 0$ ）时，电桥达到平衡， C 、 D 两点电势相等。根据基尔霍夫定律，平衡条件为相对桥臂的阻抗乘积相等：

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

若写成复数形式 $Z = |Z|e^{j\varphi}$ ，则必须同时满足两个条件：

- 模平衡：** $|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|$
- 相角平衡：** $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$

这意味着交流电桥的平衡调节比直流电桥复杂，通常需要反复调节两个参数才能满足平衡。

（二）电容电桥（串联电阻式）测量原理

实际电容器存在介质损耗，可等效为理想电容 C_x 与损耗电阻 R_x 串联的模型。本实验采用 **串联电阻式电容电桥** 进行测量。

电路设计如下：

第 1 臂 (Z_1): 接入待测电容 C_x 和其等效损耗电阻 R_x ，即 $Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$ 。

第 2 臂 (Z_2): 接入标准电容 C_n 和可调电阻 R_n （在原始数据公式中对应 C_2, R_2 ），即 $Z_2 = R_n + \frac{1}{j\omega C_n}$ 。

第 3 臂 (Z_3) 和 第 4 臂 (Z_4): 接入纯电阻 R_3 和 R_4 （即比率臂 R_a, R_b ）。

根据平衡条件 $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$ ，代入阻抗可得：

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x})R_3 = (R_n + \frac{1}{j\omega C_n})R_4$$

分离实部和虚部，可解得待测参数的计算公式：

$$R_x = \frac{R_4}{R_3} R_n C_x = \frac{R_3}{R_4} C_n$$

电容器的损耗因数 $\tan \delta$ 定义为有功功率与无功功率之比：

$$\tan \delta = \omega C_x R_x = \omega C_n R_n$$

其中 $\omega = 2\pi f$ ， f 为电源频率（本实验 $f = 1000\text{Hz}$ ）。

四、主要仪器设备: DH4518 型交流电桥实验仪：内置正弦波信号源（1kHz）、交流指零仪、标准电阻箱、标准电容等；待测元件：待测电容盒；连接导线若干。

五、实验步骤：

（一）**熟悉仪器：** 观察 DH4518 面板，了解电源、频率调节、灵敏度旋钮及各接线柱位置。

（二）**连接电路：** 按照串联电阻式电容电桥的电路图连接线路。将待测电容接入 Z_1 臂，标准电容 C_n 和电阻箱 R_n 串联接入 Z_2 臂，电阻箱 R_3, R_4 分别接入 Z_3, Z_4 臂。

（三）**预置参数：** 接通电源，设置频率为 1000Hz 。根据 C_x 估值选择合适的 C_n （本实验取 $0.1\mu\text{F}$ ）。

（四）**粗调平衡：** 将指零仪灵敏度调至较低位置，调节 R_3, R_4 的比率及 R_n ，使指针偏转减小。

（五）**细调平衡：** 逐渐增大灵敏度，反复交替调节 R_4 （或 R_3 ）和 R_n ，直至指零仪准确指零。

（六）**记录数据：** 记录平衡时 R_n, C_n, R_3, R_4 的数值。

（七）**改变参数重复测量：** 改变比率臂电阻（如改变 R_3 ），重新调节平衡，共测量 3 组数据。

六、原始数据记录：

实验常数：

信号频率 $f = 1000Hz$

角频率 $\omega = 2\pi f \approx 6283.19\ rad/s$

标准电容 $C_n(C_2) = 0.1\mu F = 1 \times 10^{-7}F$

组号	$R_2(\Omega)$	$C_2(\mu F)$	$R_3(Ra)(\Omega)$	$R_4(Rb)(\Omega)$	指零仪增益 n
1	200	0.1	10000	9720	13
2	237	0.1	1000	969	26
3	240	0.1	100	96.6	29

七、数据处理：

利用以下公式对每一组数据进行计算：

1. 待测电阻： $R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_n$
2. 待测电容： $C_x = \frac{R_3}{R_4} \cdot C_n$
3. 损耗因数： $\tan \delta = R_n \omega C_n$ （理论上 $\tan \delta = R_x \omega C_x$ ，但在电桥平衡时 $R_x \omega C_x = R_n \omega C_n$ ，使用标准元件计算更为便捷）

计算过程示例（第 1 组数据）：

$$R_x = \frac{9720}{10000} \times 200 = 0.972 \times 200 = 194.40\ \Omega$$

$$C_x = \frac{10000}{9720} \times 0.1 = 1.0288 \times 0.1 \approx 0.1029\ \mu F$$

$$\tan \delta = 200 \times 6283.19 \times 10^{-7} \approx 0.1257$$

完整计算结果表：

组号	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$Rn(\Omega)$	$Rx(\Omega)$ (计算值)	$Cx(\mu F)$ (计算值)	$\tan \delta$ (计算值)
1	10000	9720	200	194.40	0.1029	0.1257
2	1000	969	237	229.65	0.1032	0.1489

组号	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$Rn(\Omega)$	$Rx(\Omega)$ (计算值)	$Cx(\mu F)$ (计算值)	$\tan \delta$ (计算值)
3	100	96.6	240	231.84	0.1035	0.1508
平均值	-	-	-	218.63	0.1032	0.1418

八、实验结果与讨论:

（一）实验结果：

通过串联电阻式交流电桥，在 $1kHz$ 频率下测得待测电容器的参数如下（取三次测量平均值）：

待测电容量： $\overline{C_x} = 0.1032\ \mu F$

损耗电阻： $\overline{R_x} = 218.63\ \Omega$

介质损耗因数： $\overline{\tan \delta} = 0.1418$

（二）结果分析与讨论：

- （1）**电容值的稳定性：**从三组数据来看， C_x 的测量值分别为 $0.1029\mu F$, $0.1032\mu F$, $0.1035\mu F$ ，数据非常接近，相对偏差极小，说明交流电桥在测量电抗元件（电容）方面具有较高的精度和稳定性。
- （2）**损耗电阻的波动：** R_x 的测量值在 194.4Ω 到 231.8Ω 之间有一定波动。这可能是因为损耗电阻本身数值较小（相对于容抗 $X_c = \frac{1}{\omega C} \approx 1591\Omega$ ），且容易受到导线接触电阻、电桥残余电感及外界电磁干扰的影响。特别是在第 1 组数据中， R_3 取值高达 $10k\Omega$ ，可能会引入分布电容的影响，导致 R_n 调节值偏小。
- （3）**平衡调节的收敛性：**实验中发现，调节 R_n 主要影响指零仪幅度的细微变化，而调节 R_4 （或 R_3 ）对比率影响较大。这验证了交流电桥需要反复交替调节两个参数才能达到“模”与“角”同时平衡的特性。