

浙江大学

本科实验报告

课程名称：普通物理学实验 II

姓 名：高玮轩

学 号：3230105892

学 院：竺可桢学院

专 业：人工智能（图灵班）

指导教师：王鲲

报告日期：2024 年 10 月 30 日

浙江大学实验报告

课程名称：	普通物理学实验 II	实验类型：	综合
实验项目名称：	交流电桥		
学生姓名：	高玮轩	学号：	3230105892
实验地点：	紫金港 东四-122	实验日期：	2024 年 10 月 30 日

引言

交流电桥是由电容、电感、电阻等元件组成的桥式电路。它采用了交流电作为电源，是一种常见的比较式仪器，在电子测量中有重要的地位。常见的交流电桥有阻抗比电桥和变压器电桥两大类，本实验中的交流电桥指的是阻抗比电桥，交流电桥和直流电桥有相同的结构样式，但是由于采用了交流电源，所以它的四个桥臂是阻抗。它的平衡条件、线路组成和平衡的实现都比直流电桥复杂。利用阻抗比电桥，我们可以对等效电阻、电容及介质损耗、电感和品质因数等参量进行测量。

1.1) 实验目的

1. 了解交流电桥平衡原理，掌握交流电桥平衡条件。
2. 掌握用交流电桥测量电容及介质损耗，电感及品质因素。
3. 学会利用交流电桥设计出相关测量方案。

实验原理

2.1) 交流电桥的平衡条件

我们在正弦稳态条件下讨论交流电桥的基本原理。在交流电桥中，4 个桥臂均由阻抗元件构成，在电桥的一条对角线 cd 中接入检流计，在另一对角线中接入交流电源。

调节桥臂参数，使得检流计中无电流通过时，cd 两点的电位相等，电桥达到平衡，这时有：

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

上式就是交流电桥的平衡条件。它说明，当交流电桥达到平衡时，相对的桥臂阻抗的乘积相等。

在此介绍阻抗的概念：在具有电阻，电容，电感的电路里，对交流电所起的阻碍作用叫做阻抗。阻抗一般用 Z 表示，是一个复数形式，实部为电阻，虚部为电抗。相应的，电容对电路中交流电所起的阻碍作用叫容抗，电感对电路中交流电所起的阻碍作用叫感抗，则，阻抗可以写成复数形式

$$Z = R + jX$$

若将其写为指数形式，则有 $Z = Z_0 e^{j\varphi}$ 。

根据复数相等的条件, 等式两端的幅模和幅角必须分别相等, 则

$$|Z_1| |Z_3| = |Z_2| |Z_4|$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$$

由此可见, 交流电桥的平衡条件必须同时满足两个条件:

1. 相对桥臂上的阻抗幅模乘积相等。
2. 相对桥臂上的阻抗幅角之和相等。

由以上条件, 我们可以得出几点重要的结论:

交流电桥必须按照一定的方式配置桥臂阻抗。为了能更好地调节电桥达到平衡, 我们需要根据元件的性质按照电桥的平衡条件适当配合。在目前的测量中, 常采用标准电抗元件和被测元件搭配, 一般有如下形式

1. 将标准元件和被测元件相邻放置, 即 Z_4 为 Z_x , Z_3 为 Z_n , 由电桥平衡条件可知

$$Z_x = \frac{Z_1}{Z_2} Z_n$$

其中 $\frac{Z_1}{Z_2}$ 为实数, 称为臂比, 所以此种形式又称臂比电桥。因此 Z_n 和 Z_x 必须是性质相同的元件, 改变臂比可以改变测量的量程。

2. 将被测元件和标准元件相对放置, 即 Z_4 为 Z_x , Z_2 为 Z_n , 由电桥平衡条件可知

$$Z_x = \frac{Z_1 Z_3}{Z_n}$$

这时, Z_1, Z_3 称为臂乘, 所以此种形式又称臂乘电桥, 其特点是, Z_n 和 Z_x 元件阻抗性质必须相反, 因此这种形式的电桥常用于使用标准电容测量电感。

由电桥的平衡条件可知, 如果相邻两臂接入纯电阻 (臂比电桥), 则另外相邻两臂也必须接入相同性质的阻抗。如果被测对象 Z_x , 是电容, 则它相邻桥臂 Z_n , 也必须是电容, 电感同理。

如果相对桥臂接入纯电阻 (臂乘电桥), 则另外相对两臂必须为相反性质的阻抗。如果被测对象 Z_x , 是电容, 则它相对桥臂 Z_n , 必须是电感。如果被测对象 Z_x 是电感, 则它相对桥臂 Z_n 必须是电容。

在实际测量中, 为了使电桥的结构简单和调节方便, 通常将其中的 2 个桥臂设计为纯电阻。在调节中, 为了要使 2 个参量同时达到平衡, 需要反复多次耐心的调节, 所以交流电桥的平衡要比直流电桥困难一些。

2.2) 电容电桥

电容器并非理想元件, 存在着介质损耗, 为了方便起见, 通常使用电容器的损耗角的正切值来表示它的介质损耗特性, 用符号 D 表示, 称之为损耗因数。

在串联等效电路中 $D = \tan \delta = \omega C R$, 在并联等效电路中 $D = \tan \delta = \frac{1}{\omega C' R'}$

由图看出, 对两种等效的电路都是适合的, 所以不管采用哪种等效电路, 求出的损耗因数应该一致的。

2.3) 电感电桥

电感电桥是用来测量电感的，电感电桥有多种形式，通常采用的是标准电容作为与被测电感相比较的标准元件，由前面对电桥的平衡条件的分析可知，此时标准电容一定要和被测电感放置在相对的桥臂上。当然，根据实际测量的需要，也可以采用标准电感作为标准元件，此时标准电感和被测电感应放置在相邻的桥臂上。

一般的电感线圈都不是纯电感，除了电抗外，还有等效电阻，两者之比称为电感的品质因数 Q ，即 $Q = \omega \frac{L}{R}$

实验内容

1. 交流电桥测量电容

根据实验原理的介绍，分别测量两个待测电容，试着应用合适的桥路测量电容的电容容量及损耗电阻，并计算损耗。

2. 交流电桥测量电感

根据实验原理的介绍，分别测量两个待测电感，试着应用合适的桥路测量电感的电感量及有效电阻，并计算品质因数。

实验数据

交流电频率为 $f = 1000Hz$ ，则 $\omega = 2\pi f = 6280Hz$

用电子仪器测得的数据作为理论值，如下：

电容 1: $C_1 = 1033.45nF$ ， $D_1 = 0.00578$

电容 2: $C_2 = 10.1577\mu F$ ， $D_2 = 0.09543$

于是对低损耗电容使用串联电桥，对高损耗电容使用并联电桥，设置合适的 R_a 与 C_n ，测得的数据如下：

电容 1	$R_a = 1k\Omega$	$C_n = 1\mu F$	$R_b = 1032\Omega$	$R_n = 1\Omega$
电容 2	$R_a = 100\Omega$	$C_n = 1\mu F$	$R_b = 1002\Omega$	$R_n = 1897\Omega$

则计算得到 $C'_1 = \frac{R_b}{R_a} C_n = 1.032\mu F$

相对误差 $E_1 = \left| \frac{C'_1 - C_1}{C_1} \right| = 0.03\%$

$C'_2 = \frac{R_b}{R_a} C_n = 10.02\mu F$

相对误差 $E_1 = \left| \frac{C'_2 - C_2}{C_2} \right| = 1.2\%$

电感 1: $L_1 = 9.9178mH$ ， $Q = 1.07604$

电感 2: $L_2 = 4.9572mH$ ， $Q = 6.9312$

于是对品质因数较低的电感使用 Maxwell 电桥，对品质因数较高的电感使用 Hay 电桥，设置合适的 R_a 与 C_n ，测得的数据如下：

电感 1	$R_a = 1k\Omega$	$C_n = 0.01\mu F$	$R_b = 888\Omega$	$R_n = 16100\Omega$
------	------------------	-------------------	-------------------	---------------------

电感 2	$R_a = 100\Omega$	$C_n = 0.01\mu F$	$R_b = 4667\Omega$	$R_n = 2310\Omega$
------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------

则计算得到 $L'_1 = R_b R_a C_n = 8.888mH$

相对误差 $E_1 = \left| \frac{L'_1 - L_1}{L_1} \right| = 4.9\%$

$L'_2 = R_b R_a \frac{C_n}{1 + (\omega C_n R_n)^2} = 4.867mH$

相对误差 $E_1 = \left| \frac{L'_2 - L_2}{L_2} \right| = 1.8\%$

误差分析

1. 检流计灵敏度过高时，可能指针偏转不准确，导致无电流状态下的电桥平衡点难以确定，从而影响测量结果的准确性。
2. 在电阻度数过大时，电阻箱较小的挡位对检流计指针偏转的影响较小，可能导致电阻读数不准确，从而影响测量结果的准确性。
3. 电子元件本身的参数可能与理论值存在一定的偏差，从而影响测量结果的准确性。

思考题

1. 简述交流电桥的基本特性。

高精度测量：能够精确测量电阻、电容和电感等，适合实验中对细微变化的检测。

平衡条件：通过调节电桥的各个臂以达到平衡状态，此时电桥输出零电流或零电压，满足测量条件。

适应性强：可以用于不同类型的实验，例如介质损耗、品质因数的测量，适用范围广。

频率选择性：能够在特定频率范围内进行测量，实验中可通过调整频率来观察材料或元件的响应。

相位分析：不仅测量阻抗的大小，还能分析电流与电压之间的相位差，提供更全面的电气特性。

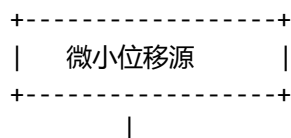
稳定性：在适当条件下，电桥提供稳定的测量结果，便于重复实验和数据验证。

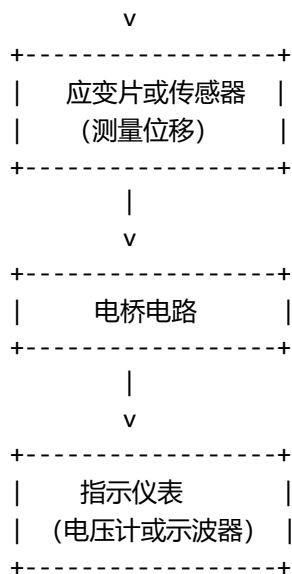
2. 设计一个利用电桥方法测量微小位移的方法，要求画出实验框图，简述实验原理和方法。

• 实验原理

利用电桥原理，通过对电桥平衡状态的变化来测量微小位移。常用的方法是将微小位移转化为电阻的变化，进而通过电桥的平衡条件进行测量。通常，使用应变片或电阻应变片将位移转化为电阻变化。

• 实验框图





• 实验方法

1. 传感器选择：选择适合测量微小位移的传感器，如应变片，将其固定在待测物体上，确保其能够随位移变化而改变电阻值。
2. 电桥搭建：将应变片连接到电桥电路中，电桥包括四个电阻，其中一个电阻是应变片，其余为已知电阻。
3. 调节电桥：在实验开始前，调节电桥的其他电阻，以使电桥处于平衡状态，此时电桥输出电压为零。
4. 施加位移：施加微小位移，导致应变片电阻变化。记录电桥输出电压的变化，电压的变化与位移成正比。
5. 数据处理：通过电压变化的大小，利用已知电阻和电桥的平衡条件，计算出微小位移的数值。
6. 结果分析：对实验数据进行分析，验证实验的准确性与重复性。