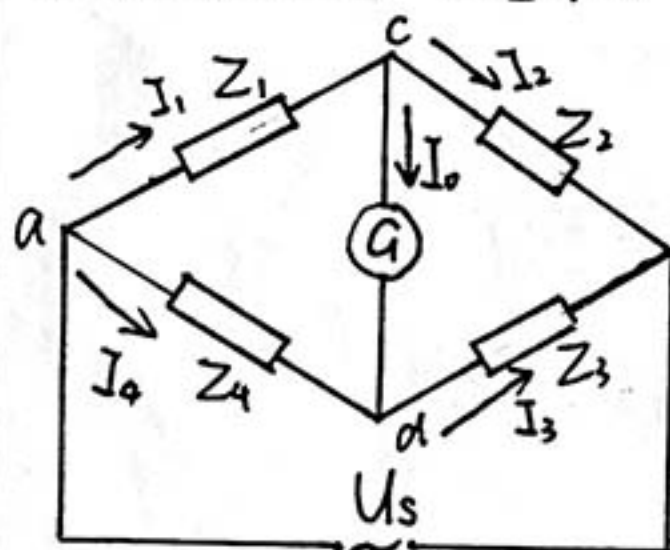


【实验目的】

1. 用交流电桥测量电感和电容及损耗
2. 了解交流电桥平衡的原理, 掌握调节平衡的方法

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)



左图是交流电桥的原理线路。它与直流单电桥原理相似。在交流电桥中, 四个桥臂一般是由阻抗元件如电阻、电感、电容组成; 电桥电源通常是正弦交流电源。交流平衡指示仪的种类很多, 适用于不同频率范围。指示器指零时, 电桥达到平衡。本实验采用高灵敏度的电子放大式指零仪, 有足够灵敏度, 频率为 1000Hz 、 100Hz 交流电源供电。

1. 交流电桥的平衡条件:

我们在稳态的条件下讨论交流电桥的基本原理。在交流电桥中, 四个桥臂由阻抗元件组成, 在电桥一个对角线 cd 上接入交流指零仪, 另一对角线 ab 上接入交流电源。当调节电桥参数, 使交流指零仪中无电流通过时, cd 由位相等, 电桥达到平衡, 这时有 $Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$ 。结合图可知, 若 Z_x 由 Z_1 构成, 则 $Z_x = \frac{Z_3}{Z_4} Z_1$, 当其他桥臂参数已知, 就可决定被测阻抗 Z_x 的值。

2. 交流电桥的平衡的分析

在正弦交流情况下, 桥臂阻抗可以写成复数的形式 $Z = R + jX = Ze^{j\varphi}$ 。若将电桥的平衡条件用复数的指数形式表示, 可得 $Z_1 e^{j\varphi_1} \cdot Z_3 e^{j\varphi_3} = Z_2 e^{j\varphi_2} \cdot Z_4 e^{j\varphi_4}$, 即 $Z_1 Z_3 e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)} = Z_2 Z_4 e^{j(\varphi_2 + \varphi_4)}$, 根据复数相等的条件, 等式两端幅模和幅角必须分别相等, 故有 $\begin{cases} Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4 \end{cases}$ 。此为平衡条件的另一种表现形式, 可见交流电桥的平衡必须满足两个条件: 一是相对桥臂上阻抗幅模的乘积相等, 二是相对桥臂上阻抗幅角之和相等。故交流电桥必须按照一定的形式配置桥臂阻抗。

【实验内容】（重点说明）

1. 交流电桥测量电容

根据前面实验原理的介绍, 分别测量两个 C_x 电容, 试用合适的桥路测量电容的电容量及其损耗电阻, 并计算损耗。

交流电桥采用的是交流指零仪, 所以电桥平衡时指针位于左侧 0 位。实验时, 指零仪的灵敏度应先调到较低位置, 待基本平衡后再调高灵敏度, 重新调平衡, 直至最终平衡。

2. 交流电桥测量电感

根据前面实验原理的介绍分别测量两个 L_x 电感, 试用合适的桥路测量电感的电感量及其损耗电阻, 并计算电感的 Q 值。

3. 交流电桥测量电阻

用交流电桥测量不同类型和阻值的电阻, 并与其他直流电桥的测量结果相比较。

4. 其他桥路实验

5. 在电桥平衡过程中, 有时指针不能完全回到零位, 这对于交流电桥是完全可能的。

【实验器材及注意事项】

实验器材:

FB305 型交流电桥实验仪, 导线

注意事项:

1) 实验前充分掌握实验原理, 接线前应明确桥路的形式, 错误的桥路可能会产生较大的测量误差, 甚至无法测量。

2) 因为被测电容 C_x 中, R_x 的量值比较小, 因此在测量前, R_n 的值可以放在零或很小的值, 设定一定大小的灵敏度, 使指零仪有一定幅度的偏转。

【数据处理与结果】

1. 交流电桥测量电容.

$$\omega = 1000 \text{ Hz}, R_a = 100 \text{ k}\Omega, R_b = 4400 \Omega, R_n = 2.00 \Omega, C_n = 1 \mu\text{F}$$

$$\text{损耗较小电容 } C_{x1} = \frac{R_b}{R_a} C_n = 0.044 \mu\text{F} \quad \text{损耗电阻 } R_{x1} = \frac{R_a}{R_b} R_n = 40.8 \Omega$$

$$\text{用仪器测得 } C_{x1\text{理}} = 0.0448 \mu\text{F}$$

$$\text{损耗因子 } D_1 = \omega C_n R_n = 2 \times 10^{-3}$$

$$\text{相对误差 } E_{C1} = \frac{|C_n - C_{x1\text{理}}|}{C_{x1\text{理}}} \times 100\% = 1.6\%$$

$$\text{损耗较大电容 } \omega = 1000 \text{ Hz}, R_a = 100 \Omega, R_b = 4400 \Omega, R_n = 800.0 \Omega, C_n = 1 \mu\text{F}$$

$$C_{x2} = \frac{R_b}{R_a} C_n = 44.0 \mu\text{F} \quad \text{损耗电阻 } R_{x2} = \frac{R_a}{R_b} R_n = 11.4 \Omega$$

$$\text{用仪器测得 } C_{x2\text{理}} = 43.4 \mu\text{F}$$

$$\text{损耗因子 } D_2 = \frac{1}{\omega C_n R_n} = 2.0$$

$$\text{相对误差 } E_{C2} = \frac{|C_{x2} - C_{x2\text{理}}|}{C_{x2\text{理}}} \times 100\% = 1.4\%$$

2. 交流电桥测量电感

$$\text{高Q值电感 } \omega = 1000 \text{ Hz}, R_a = 1000000 \Omega, R_b = 10 \Omega, R_n = 100.0 \Omega, C_n = 0.01 \mu\text{F}$$

$$L_{x1} = R_b R_a \frac{C_n}{1 + (\omega C_n R_n)^2} = 10 \text{ mH}$$

相对误差

$$\text{用仪器测得 } L_{x1\text{理}} = 4.93 \text{ mH}$$

$$E_{L1} = \frac{|L_{x1} - L_{x1\text{理}}|}{L_{x1\text{理}}} \times 100\% = 102.8\%$$

相对误差 E_{L1} 超过100%，说明这组数据存在严重问题，
所得结果不可信。

$$\text{低Q值电感 } \omega = 1000 \text{ Hz}, R_a = 1000000 \Omega, R_b = 1.0 \Omega, R_n = 1000.0 \Omega, C_n = 0.1 \mu\text{F}$$

$$L_{x2} = R_b R_n C_n = 10.0 \text{ mH} \quad \text{损耗电阻 } R_{x2} = 71.4 \Omega$$

$$\text{用仪器测得 } L_{x2\text{理}} = 10.01 \text{ mH}$$

$$Q = \omega C_n R_n = 0.14$$

$$\text{相对误差 } E_{L2} = \frac{|L_{x2} - L_{x2\text{理}}|}{L_{x2\text{理}}} \times 100\% = 0.1\%$$

3. 交流电桥测电阻.

$$\text{对于 } R_{x1}, R_n = 1008.0 \Omega, R_b = 1000 \Omega, R_a = 1000 \Omega$$

$$R_{x1} = \frac{R_a}{R_b} R_n = 1008.0 \Omega \quad \text{用仪器测得 } R_{x1\text{理}} = 1006.60 \Omega$$

$$E_1 = \frac{|R_{x1} - R_{x1\text{理}}|}{R_{x1\text{理}}} \times 100\% = 0.12\%$$

$$\text{对 } R_{x2}, R_n = 1008.0 \Omega, R_b = 1020 \Omega, R_a = 1000 \Omega$$

$$R_{x2} = \frac{R_a}{R_b} R_n = 988.2 \Omega \quad \text{用仪器测得 } R_{x2\text{理}} = 990.44 \Omega$$

$$E_2 = \frac{|R_{x2} - R_{x2\text{理}}|}{R_{x2\text{理}}} \times 100\% = 0.23\%$$

【误差分析】

1. 灵敏度过高时, 会给实验引入一些干扰
2. 尽量将变阻箱的每一位都利用起来, 否则可能会导致较大的误差.
3. 电子元件本身的故障也可能导致实验的失败.
4. 电感相对于电容而言, 更容易产生较大的误差.

【实验心得及思考题】

实验心得:

虽然之前做过直流电桥, 但交流电桥的实验更加复杂, 又加入不同的阻抗元件, 在实验过程中, 调节交流指零仪指零并不容易, 调节难度很大, ~~再~~电路虽然简单, 但也很容易出错, 稍有不慎会导致重大误差。

思考题:

~~不可以, 如果不同性质的~~

1. 不可以, 如果用不同性质的四个阻抗组成一个电桥, 不一定能够调节到平衡, 因此必须把电桥各元件的性质 ~~按~~ 按电桥两个平衡条件作适当配合
2. ~~由 R_1, R_2, R_3, R_4 组成~~ 为了满足 $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$ $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$ 这两个条件, 必须调节两个以上桥臂的参数, 而且往往需要反复调节, 才能使交流电桥趋于平衡
3. 正弦交流电源, 且在正弦稳态的条件下。
我们应尽量使平衡条件与电源频率无关。但有些形式的桥路的平衡条件与频率有关, 如惠氏电桥, 这样, 电源频率变化将直接影响测量准确性

【数据记录及草表】

$$C_{x1} = 49.8 \mu F \quad D = 0.035$$

$$C_{x2} = 43.4 \mu F \quad D = 0.35$$

$$L_{x1} = 4.93 mH \quad Q = 9.61$$

$$L_{x2} = 10.01 mH \quad Q = 1.04$$

~~$$R_{x1} = 0.24 \Omega$$~~

$$R_{x1} = 1007.3 \Omega$$

$$R_{x2} = 10.25 k\Omega$$

串联电容电桥

$$R_a = 100 k\Omega \quad R_b = 4900 \Omega \quad R_n = 2.0 \Omega \quad C_n = 1 \mu F \quad 1000 Hz \quad D \text{ 小}$$

$4900 \quad 120.0 \Omega \quad 100 Hz$

$$R_a = 100 \Omega \quad R_b = 4400 \Omega \quad R_n = 60.0 \Omega \quad C_n = 1 \mu F \quad 1000 Hz \quad D \text{ 大}$$

$4700 \quad 100.0 \Omega \quad 100 Hz$

并联电容电桥

$$R_a = 100 \Omega \quad R_b = 4000 \Omega \quad R_n = 100.0 \Omega \quad C_n = 1 \mu F \quad 1000 Hz \quad D \text{ 大}$$

$5000 \Omega \quad R_n = 1100.0 \Omega \quad 100 Hz$

串联电感电桥

$$R_a = 100000 \Omega \quad R_b = 300 \Omega \quad R_n = 366 \Omega \quad C_n = 0.01 \mu F \quad 100 Hz$$

$$R_a = 100000 \Omega \quad R_b = 10 \Omega \quad R_n = 100.0 \Omega \quad C_n = 0.01 \mu F \quad 1000 Hz$$

麦克斯韦电桥

$$R_a = 100 k\Omega \quad R_b = 1.0 \Omega \quad R_n = 1400 \Omega \quad C_n = 0.1 \mu F \quad 1000 Hz$$

$R_a = 100 k\Omega \quad R_b = 1.0 \Omega \quad R_n = 196 \Omega \quad C_n = 0.1 \mu F \quad 100 Hz$

教师签字: 