

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： _____

学号： _____

日期： 2024.2.29

地点： 紫金港东三 206

课程名称： 电网络分析 指导老师： 姚纓英 成绩： _____

实验名称： 互感参数测定 实验类型： _____ 同组学生姓名： 无

- | | |
|---------------|---------------|
| 一、实验目的和要求（必填） | 二、实验内容和原理（必填） |
| 三、主要仪器设备（必填） | 四、操作方法和实验步骤 |
| 五、实验数据记录和处理 | 六、实验结果与分析（必填） |
| 七、讨论、心得 | |

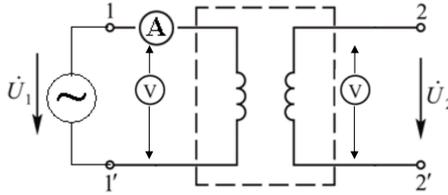
Lab1 互感参数测定

一、实验目的与要求

- 学习使用多种方法测量电感元件的自感系数、电阻，和电感之间的互感系数。
- 设计完整的实验方案，包括实验接线图、测量数据的记录表格及误差分析的过程。
- 分析实验中的误差传递。

二、实验方案与原理

（一）使用二次侧开路法测量



- 如上图所示，在 1, 1' 两端加频率为 $\frac{\omega}{2\pi}$ 交流电压源，通过电压表、电流表、功率表三表测量得到一次侧电感的电压 U_1 、电流 I_1 、有功功率 P 。
- 使用万用表测量二次侧两端电压 U_2 。
- 通过以上测量值，得到一次侧的电感、电阻，和互感系数。

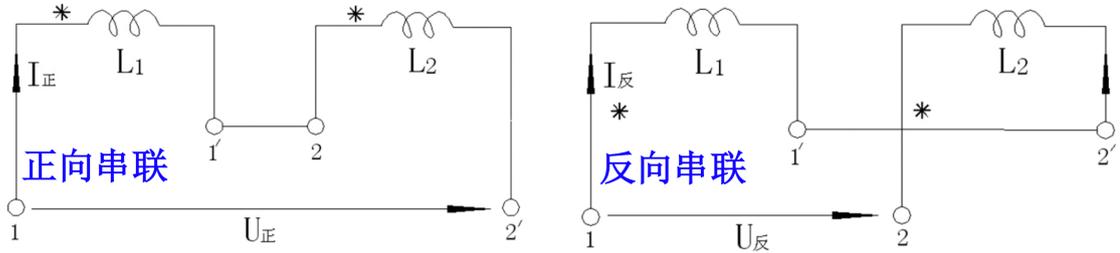
$$R_1 = \frac{P}{I_1^2}$$

$$L_1 = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - R_1^2}}{\omega}$$

$$M_{12} = \frac{U_2}{I_1 \omega}$$

4. 改在二次侧加交流电压，重复上述 1~3 步，得到二次侧电阻与电感。
5. 可以使用万用表欧姆档验证测量电阻的大小。

(二) 正向串联/反向串联伏安法测量



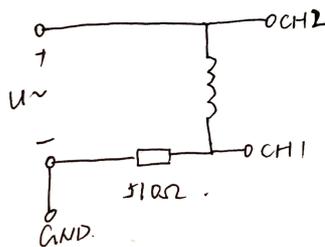
1. 将两个电感正向串联或反向串联，在两端加压，测量电路中流过的电流大小
2. 结合通过方法一得到的 $R_1 R_2 L_1 L_2$ ，计算出串联的等效阻抗。
3. 将正向/反向等效阻抗进行加减得到所要测量值。

$$M_{正} = 0.5 \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} - (L_1 + L_2) \right]$$

$$M_{反} = 0.5 \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} - (L_1 + L_2) \right] \times (-1)$$

$$M_{正反} = \frac{1}{4} \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} - \frac{\sqrt{\left(\frac{U_2}{I_2}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} \right]$$

(三) 示波器测量——向量伏安法

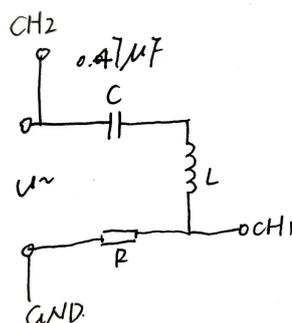


测量输入电压与电阻两端电压，及其电压之间的相位之差，通过测量数据得到 L_1 的 R_1 和 L_1 。

$$R_1 = \frac{U_s \times \cos\varphi - U_R}{\frac{U_R}{R}}$$

$$L_1 = \frac{U_s \cdot \sin\varphi}{\frac{U_R}{R}}$$

(四) 谐振法测量电感系数



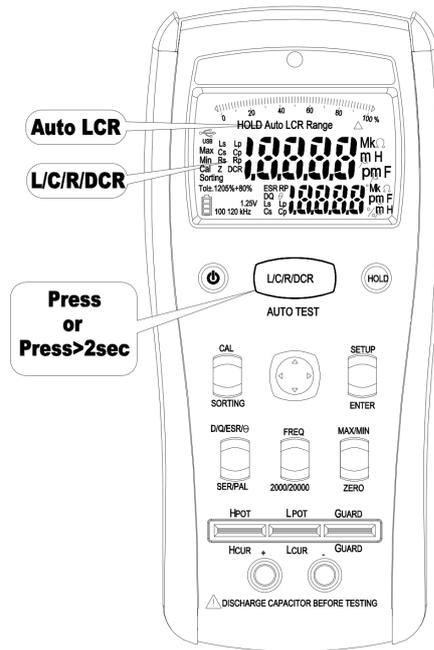
在电路中串联一个电容，通过信号源频率调节，观察示波器李萨如图像，当电路发生谐振时，李萨如图像变为一条直线。根据谐振频率等数据，计算电感的电感系数和电阻大小。

$$\therefore 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\therefore L_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

$$R_1 = \frac{U_2 - U_1}{U_1} R$$

(五) LCR 仪器直接测量法

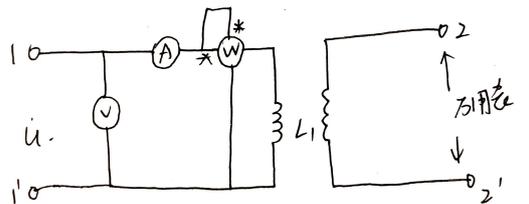


选择 Auto 档位测量 LCR 的值，选择串联 SER 模式，并显示 ESR。直接读出电感大小和等效内阻大小。

三、 实验步骤与数据记录

(一) 使用二次侧开路法测量

1. 利用实验工具台上的 220V 交流电源，输入到变压器中，输出 16V 交流电压。
2. 准备实验所用电感，将上部螺丝按钮拧紧，以保证电感间最大耦合。
3. 按照下图接入电路



4. 读出电压表、电流表、功率表读数，以及万用表读数。

f/Hz	U_1/V	I/A	U	A	W	Var	VA	PF	θ	U_2/V
50	16.00	0.533	15.6	0.533	4.7	6.9	8.2	0.57	55.2	2.697

1. 计算得到 L_1 、 R_1 、M 的值

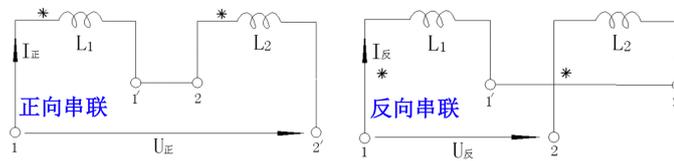
$L_1 = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{\omega}$	0.0773
$R_1 = \frac{P}{I^2}$	16.54
$M_{12} = \frac{U_2}{I_1 \omega}$	0.0161

2. 左右交换一次侧二次侧电路，测量得到 L_2 、 R_2 、 M 的值

f/Hz	U_1/V	I/A	U	A	W	Var	VA	PF	θ	U_2/V
50	5.60	0.217	5.2	0.217	1.1	0.3	1.1	1	0	1.118

$L_2 = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{\omega}$	0.0203
$R_2 = \frac{P}{I^2}$	23.36
$M_{21} = \frac{U_2}{I_1 \omega}$	0.0164

(二) 正向串联/反向串联伏安法测量



1. 将两个电感正向串联，在1,2'两端加压，测量电路中流过的电流大小。

U/V	I/A	U	A	W	Var	VA	PF	θ
10.89	0.181	10.5	0.181	1.3	1.3	1.8	0.727	43.1

1. 通过三表读数得到 $M_{正}$ 大小为:

$$M_{正} = 0.5 \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} - (L_1 + L_2) \right] = 0.0144H$$

2. 将两个电感反向串联，在1,2 两端加压，测量电路中流过的电流大小。

U/V	I/A	U	A	W	Var	VA	PF	θ
10.87	0.230	10.5	0.230	2.1	1.1	2.3	0.909	24.7

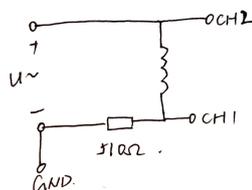
$$M_{\text{反}} = 0.5 \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}}{2\pi f} - (L_1 + L_2) \right] \times (-1) = 0.0157H$$

3. 利用正向、反向测量结果，计算 $M_{\text{正反}}$

$$M_{\text{正反}} = \frac{\frac{1}{4} \left[\sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2} - \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2} \right]}{(2\pi f)} = 0.0151Hs$$

(三) 示波器测量——向量伏安法

1. 连接下图电路，使用信号源作为电压源，输入 4Vpp1kHz 正弦交流电源。



1. 使用示波器 Measure 档位测量 Channel2 与 Channel1 的相位差，并记录 CH2 与 CH1 的峰值。

CH1/V	CH2/V	θ
1.36	1.92	-41.5

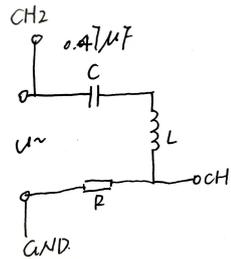
1. 根据公式计算 R_1, L_1 的值

$$R_1 = \frac{U_s \times \cos\varphi - U_R}{\frac{U_R}{R}} = 29.25\Omega$$

$$L_1 = \frac{U_s \cdot \sin\varphi}{\frac{U_R}{R}} = 0.0759H$$

(四) 谐振法测量电感系数

1. 连接下图电路，以 4Vpp 的正弦交流电源作为输入，调节输入频率大小。



1. 使用示波器李萨如图像 (Acquire->XY)，观察 CH2 与 CH1，当屏幕显示一条直线时，记录此时的频率、CH1、CH2 的峰值。

谐振频率/Hz	CH2/V	CH1/V
819.3	1.82	1.76

2. 计算得到 L_1, R_1 的值

$$L_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = 0.0803H$$

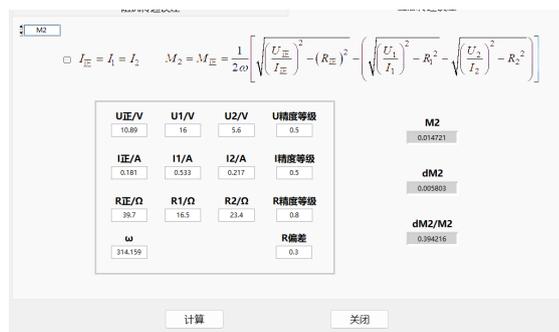
$$R_1 = \frac{U_2 - U_1}{U_1} R = 16.81\Omega$$

(五) LCR 仪器直接测量法

1. 将电感接入 LCR 测量仪器
2. 选择 Auto 档位测量 LCR 的值，选择串联 SER 模式，并显示 ESR。
3. 直接读出电感大小和等效内阻大小。

L1		L2	
L_1	R_1	L_2	R_2
77.89mH	16.6Ω	24.75mH	29.1Ω

四、 数据处理与结论



使用上述软件界面对结果进行分析，得到如下结果汇总（没有标注单位即为国际标准单位）：

方法	测量值	数据	精度/误差	数据
万用表测量电阻	R_1	16.5	0.8%+3 字	
	R_2	23.4	0.8%+3 字	
二次侧开路法(二次侧开路)	U_1	16	0.5	
	I	0.533	0.5	
	U_2	2.697		
	L_1	0.078	dL_1	0.003
	M_1	0.0161	dM_1	0.0003
二次侧开路法(一次侧开路)	U_2	5.6	0.5	
	I	0.217	0.5	
	U_1	1.118	0.5	
	L_2	0.021	dL_2	0.005
	M_1'	0.0164	dM_1'	0.0003
正向串联	U	10.89	0.5	
	I	0.181	0.5	
	R	39.9	0.8%+3 字	
	M_2	0.015	dM_2	0.006
反向串联	U	10.87	0.5	
	I	0.23	0.5	
	R	39.9	0.8%+3 字	
	M_3	0.016	dM_3	0.006
M4	M_4	0.0156	dM_4	0.003
LCR 测量	L_1	77.89mH		
	R_1	16.6		
	L_2	24.75mH		
	R_2	29.1		

通过上述结果可以发现：

- 使用二次侧开路法的数据精度最高。由于数据都是通过读表直接读出，没有间接计算的过程，所以准确度较高。
- 使用正向串联和反向串联测得的互感系数精度很低，需要通过同
- 时使用两组数据得到的平均值（即 M_4 的计算方法），所得最终结果比较精确，减少了间接测量所得值（ L_1, L_2 ）造成的影响。

最终结果可以确定为：

Lab1 3220104119 冯静怡

$$L_1 = (78 \pm 3)mH$$

$$R_1 = (16.5 \pm 0.5)\Omega$$

$$L_2 = (21 \pm 5)mH$$

$$R_2 = (23.4 \pm 0.6)\Omega \text{ (不准确, 不同情况下变化较大)}$$

$$M = (16.1 \pm 0.3)mH$$