

# 实验报告

课程名称: 电路 IA 实验

姓 名: psp

专 业: 自动化类

开课学期: 2023 春

指导教师: 姜倩倩

## 实验与创新实践教育中心

### 学生实验守则

实验时应保证人身安全，设备安全，爱护国家财产，培养科学作风。为此，在本实验室应遵守以下守则：

1. 实验室是教学实验及科学研究的重要基地，学生在实验室进行教学实验和科学研究必须遵守校、院（系、所）制定的实验室有关的规章制度。
2. 教学实验是学生进行专业学习的重要组成部分，通过教学实验逐步树立辩证唯物主义世界观，培养求实严谨的科学态度，提高分析问题和解决问题的能力。因此每位同学要充分重视教学实验，认真做好实验。
3. 严守纪律，按时开始实验。
4. 严禁带电拆线、接线。
5. 非本次实验用的设备器材，未经指导教师许可不得动用。
6. 若自己增加实验内容，须事先征得指导教师同意。
7. 注意实验安全，爱护实验器材，使用仪器设备时要严格遵守操作规程，仪器发生故障，要立即报告指导教师。损坏、丢失仪器设备要及时报告，按学校的有关管理办法处理。
8. 实验过程中，要精心操作，细心观察实验现象，认真记录各项测试数据，独立分析，原始实验记录要真实完整。
9. 树立良好学风，保持实验室肃静，禁止喧哗和随意走动。
10. 保持实验室整洁，实验室内不得吸烟，不准随地吐痰及乱扔纸屑和杂物，实验台上严禁放水杯、矿泉水、书包、衣物等与实验无关的物品。
11. 实验完毕，认真清理实验器材，将仪器回复原状，搞好室内卫生。必须将设备电源关闭，整理好桌椅后征得指导教师同意方可离开实验室。
12. 独立完成实验报告，并按时上交指导教师批阅。

## 实验设备使用注意事项

1. 必须在断电情况下完成实验电路的连接，经检查确认无误后方可上电。切勿将 380V 电源和 220V 电源接错。
2. 强电实验与弱电实验使用的导线不同，强电导线端子是有塑料保护绝缘的，不可将弱电导线用于强电实验中。
3. 若发现设备打开无显示，请检查设备电源是否插好或保险丝是否良好。
4. 恒流源、单相调压器、直流可调电源在使用前应调至最小值（逆时针旋转到底）；使用完毕后也须调至最小值。
5. 可调电阻（电位器）在使用时，须先调至最大值，然后再通电，最后调至需要的阻值。
6. 使用电流表时请注意将电流表调至最大档位串联于电路中，再逐个调节档位，避免烧坏仪表。且切勿将电流表并联于电路，以免造成电源短路。
7. 示波器两个测试探头的地端是接在一起的，所以测试时需要接在电路的同一个“地”的电位点。
8. 函数发生器的输出的黑色端和发生器的地是在内部接在一起的，所以在测试时，函数发生器的黑色端、示波器探头的地端都应该接在电路的“地”的同一点。

## 实验课安全知识须知

1. 须知 1：规范着装。为保证实验操作过程安全、避免实验过程中意外发生，学生禁止穿拖鞋进入实验室，女生尽量避免穿裙子参加实验。
2. 须知 2：实验前必须熟悉实验设备参数、掌握设备的技术性能以及操作规程。
3. 须知 3：实验时人体不可接触带电线路，接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。
4. 须知 4：学生独立完成接线或改接线路后必须经指导教师检查和允许，并使组内其他同学引起注意后方可接通电源。实验中如设备发生故障，应立即切断电源，经查清问题和妥善处理故障后，才能继续进行实验。
5. 须知 5：接通电源前应先检查功率表及电流表的电流量程是否符合要求，有否短路回路存在，以免损坏仪表或电源。

特别提醒：实验过程中违反以上任一须知，需再次进行预习后方可再来参加实验；课程中违反三次及以上，直接重修。

## 实验报告撰写要求

1. 要求 1：预习报告部分列出该次实验使用组件名称或者设备额定参数；绘制实验线路图，并注明仪表量程、电阻器阻值、电源端编号等。绘制数据记录表格，并注明相关的实验环境参数与要求。
2. 要求 2：回答实验指导书中的问答题、思考题，对实验数据进行分析和整理，说明实验结果与理论是否符合；另一方面根据实测数据和在实验中观察和发现的问题，经过自己研究或分析讨论后写出的心得体会。
3. 要求 3：在数据处理中，曲线的绘制必须用坐标纸画出曲线，曲线要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线，不在曲线上的点仍按实际数据标出其具体坐标。要求在同一坐标系下画的不同曲线，需要用不同的线型或者符号标明。
4. 要求 4：本课程实验结束后，请班长按照序号排序，并在课程结束后按要求上交实验报告。

温馨提示：实验报告撰写过程中如遇预留空白不足，请在该页背面空白接续。

## 实验项目目录

（请根据实际实验顺序自行填写）

（实验序号及实验项目名称

实验报告部分对应的页码）

实验一 电路元件与电路基本定律

---

实验二 电路定理

---

实验三 元件参数测量和阻抗的串并联

---

实验四 日光灯功率因数校正实验

---

实验五 三相电路

---

实验六 互感电路的测量

---

实验

---

实验

---

实验

---

实验

---

实验

---

实验

---

本课程实验小结

---



# 实验报告

课程名称： 电路 IA 实验 实验 六： 互感电路的测量

实验日期： 2023 年 5 月 16 日 地 点： K408 实验台号： 40

姓名： psp

评分： \_\_\_\_\_

---

教师评语：

教师签字： \_\_\_\_\_

日 期： \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

- (1) 掌握互感线圈同名端的判定方法
- (2) 掌握互感线圈互感系数的测量方法

## 二、实验设备及元器件

本实验所需仪器与元器件见表 2.36。

表 2.36 实验仪器与元器件

序号	名称	数量	型号
1	三相空气开关	1 块	30121001
2	单相调压器	1 块	30121058
3	单相电量仪	1 块	30121098
4	双路可调直流电源	1 块	30121046
5	互感耦合线圈	1 组	1 000 N × 1,500 N × 2
6	U 形铁芯	1 副	—
7	电阻器	2 只	10 Ω × 1,510 Ω × 1
8	发光二极管	1 只	红色 φ5 mm
9	电容器	1 只	220 μF * 1

续表 2.35

序号	名称	数量	型号
10	短接桥和连接导线	若干	P8 - 1 和 50148
11	实验用 9 孔插件方板	1 块	300 mm × 298 mm
12	单位开关	1 个	—
13	示波器	1 台	是德 DSOX2014A

### 三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

#### 1、同名端的判定方法

两个或两个以上具有互感的线圈中，感应电动势（或感应电压）极性相同的端钮定义为同名端（或称同极性端）。在电路中，常用“·”或“\*”等符号标明互感耦合线圈的同名端。同名端可以用实验方法来确定，常用的有直流法和交流法。

##### (1) 直流法

如图 2.37 所示，当开关 S 合上的瞬间， $\frac{dI_1}{dt} > 0$ ，在 1-1' 中产生的感应电压为

$$U_1 = M \frac{dI_1}{dt} > 0$$

2-2' 线圈的 2 端与 1-1' 线圈中的 1 端均为感应电压的正极性端，1 端与 2 端为同名端。（反之，若电压表反偏转，则 1 端与 2' 端为同名端）

同理，如果在开关 S 打开时  $\frac{dI_1}{dt} < 0$ ，同样可用以上的原理来确定互感线圈内感应电压的极性，以此确定同名端。

上述同名端也可以这样来解释，就是当开关 S 打开或闭合瞬间，电位同时升高或降低的端钮即为同名端。如图 2.37 中，开关 S 合上瞬间，电压表若正偏转，则 1、2 端的电位都升高，所以，1、2 端是同名端。这时若将开关 S 再打开，电压表必反偏转，1、2 端的电位都为降低。

##### (2) 交流法

如图 2.38 所示，将两线圈的 1'-2' 串联，在 1-1' 加交流电源。分别测量  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  和  $\dot{U}_{12}$  的有效值，若  $U_{12} = U_1 - U_2$ ，则 1 端和 2 端为同名端； $U_{12} = U_1 + U_2$ ，则 1 端与 2' 端为同名端。

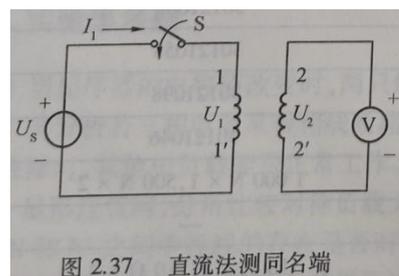


图 2.37 直流法测同名端

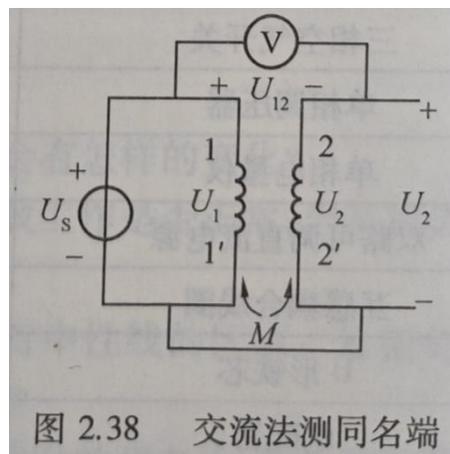


图 2.38 交流法测同名端

#### 2、互感系数 M 的测定

测量互感系数的方法较多，这里介绍两种方法。

##### (1) 互感电动势法测量互感系数

图 2.39 所示为两个互感耦合线圈的电路，当线圈 1-1' 接正弦交流电压，在线圈 2-2' 即可产生互感电压  $\dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1$ ，其中  $\omega$  为电源的角频率， $\dot{I}_1$  为线圈 1-1' 中的电流。当电压表的内阻足够大时，可认为测得量即为电压  $\dot{U}_2$ ，由计算可得互

$$\text{感系数 } M = \frac{U_2}{\omega I_1}$$

##### (2) 等效电感法测量互感系数

利用两个互感耦合线圈串联的方法，也可以测量

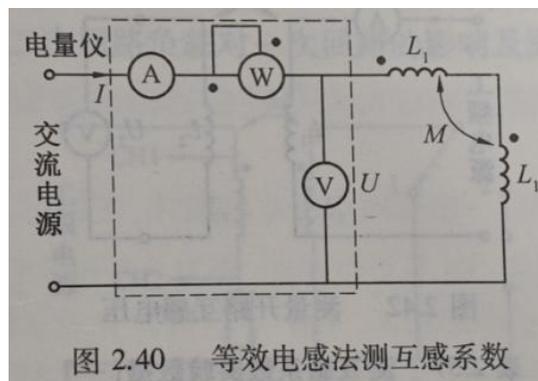


图 2.40 等效电感法测互感系数

它们之间的互感系数，如图 2.40 所示。二端口耦合电感串联可用一个电感来等效，如电流从同名端流入，称为正串（或顺接）；电流从异名端流入，称为反串（或反接）

电感正串时的等效电感为  $L_{正} = L_1 + L_2 + 2M$

反串时的等效电感为  $L_{反} = L_1 + L_2 - 2M$

只要分别测出  $L_{正}$ 、 $L_{反}$ ，则  $M = \frac{L_{正} - L_{反}}{4}$

## 实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：\_\_\_\_\_ 原始数据审核：\_\_\_\_\_

（包括预习时，计算的理论数据）

### 1、判别互感的同名端：

交流法测试时，分别测量  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  和  $\dot{U}_{12}$  的有效值，

记录数据： $\dot{U}_1 = 5.07V$   $\dot{U}_2 = 4.81V$   $\dot{U}_{12} = 9.86V$

将其中一个线圈倒过来再测试同名端，

记录数据： $\dot{U}_1 = 5.07V$   $\dot{U}_2 = 4.80V$   $\dot{U}_{12} = 9.92V$

表 6-1 测互感系数实验数据（一）

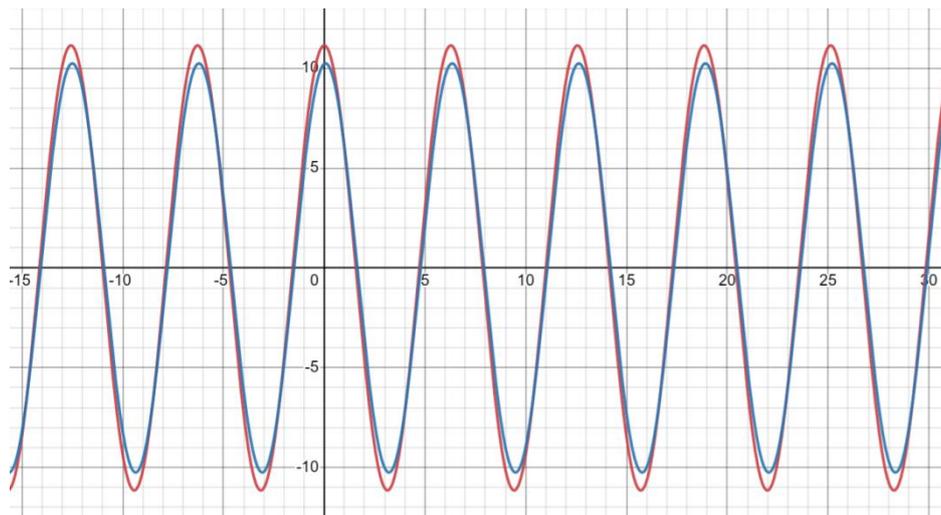
线圈匝数 $L_1/L_2$		500/500			500/1000		
介质变化		同为空心	U 形铁芯	回形铁芯	同为空心	U 形铁芯	回形铁芯
测量值	$I_1$ (mA)	1170	433.5	30.6	1200	442.0	29.7
	$U_2$ (V)	0.049	1.78	4.77	0.081	3.624	9.57
计算值	$M$ (mH)	0.133	13.07	496.19	0.215	26.10	1025.6

表 6-2 测互感系数实验数据（二）

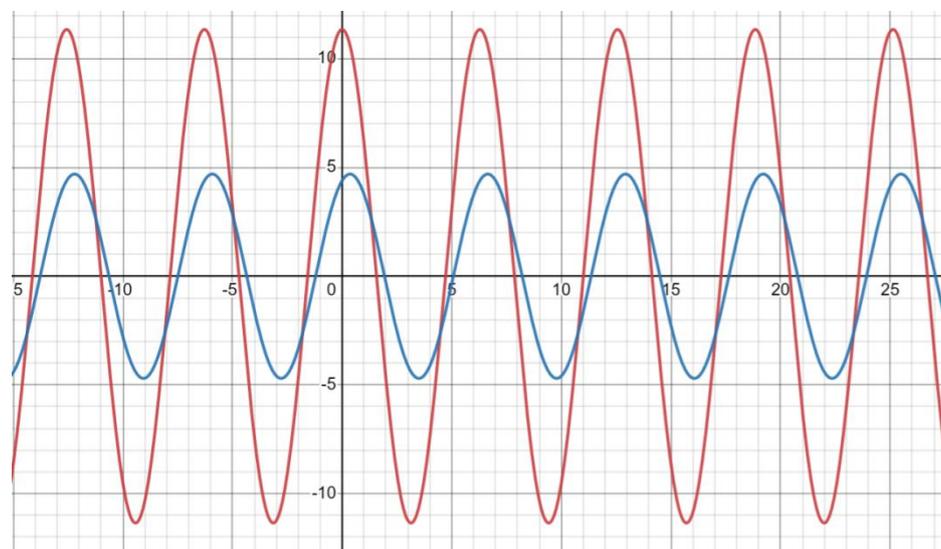
U 型磁芯	测量			计算		
串接方式	$P/W$	$U/V$	$I/mA$	$R$	$X_L$	$L$
正串	1.2	12.0	380.9	8.27	30.40	0.0968
反串	4.6	12.0	763.1	7.898	13.598	0.043

回型磁芯	测量			计算		
串接方式	$P/W$	$U/V$	$I/mA$	$R$	$X_L$	$L$
正串	0.0	12.0	15.6	0	769.2	2.45
反串	3.2	12.0	633.5	7.975	17.18	0.055

回型磁芯的互感，二次回路负载对一次回路的影响实验的相关波形（坐标纸绘图）

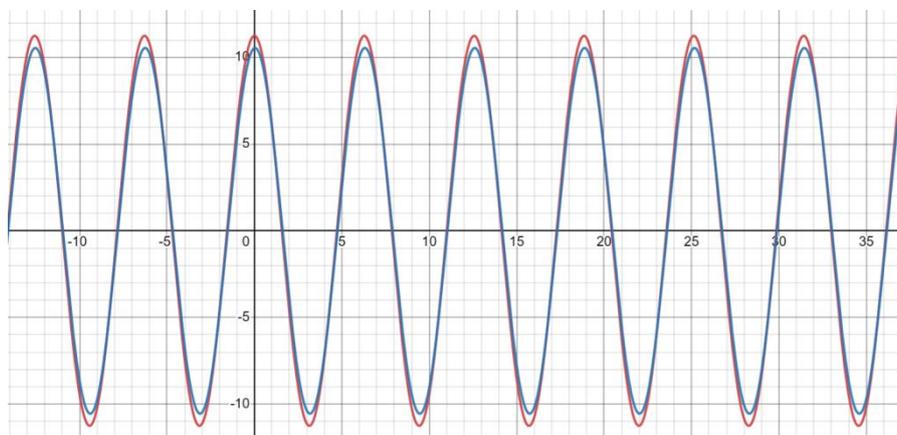


二次侧短路，一次侧电压和电流的波形

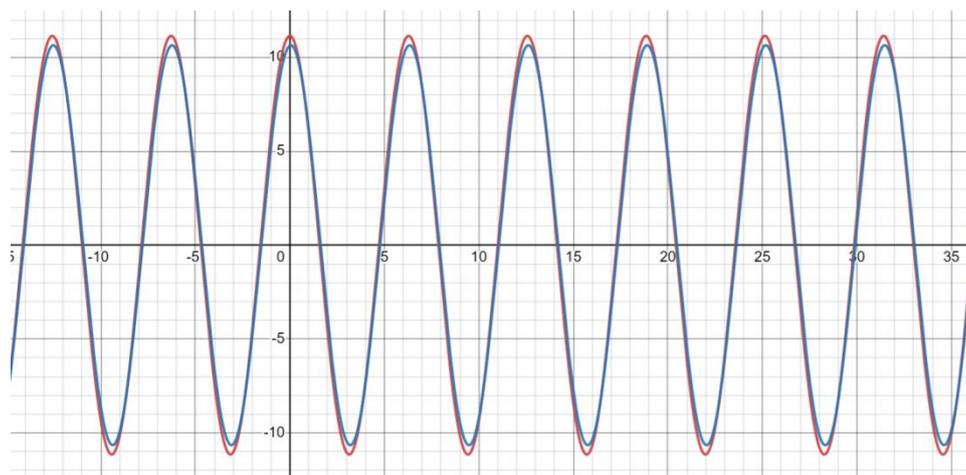


二次侧开路，一次侧电压和电流的波形

U型磁芯的互感，二次回路负载对一次回路的影响实验的相关波形（坐标纸绘图）

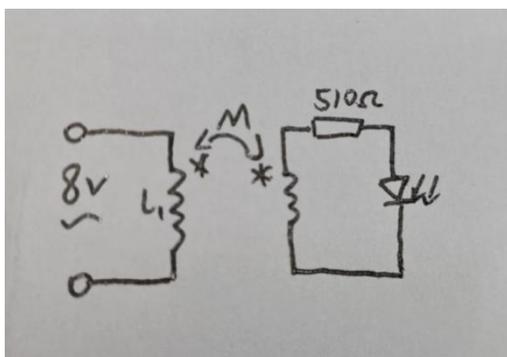


二次侧短路，一次侧电压和电流的波形

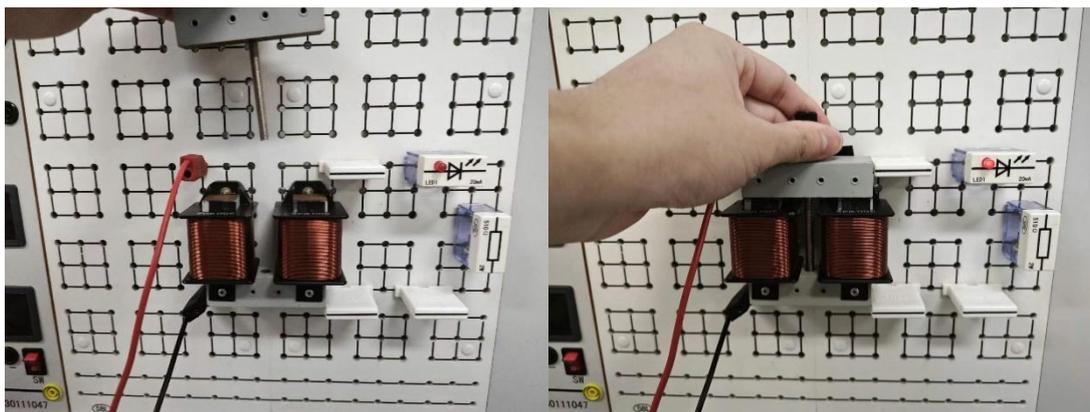


二次侧开路，一次侧电压和电流的波形

2、观察互感现象，画出设计的电路图（包括参数）：



3、将 U 型铁芯从两个线圈中抽出和插入，观察 LED 亮度的变化。请分析原因。



答：抽出时，LED 灯变暗，插入时 LED 灯变亮

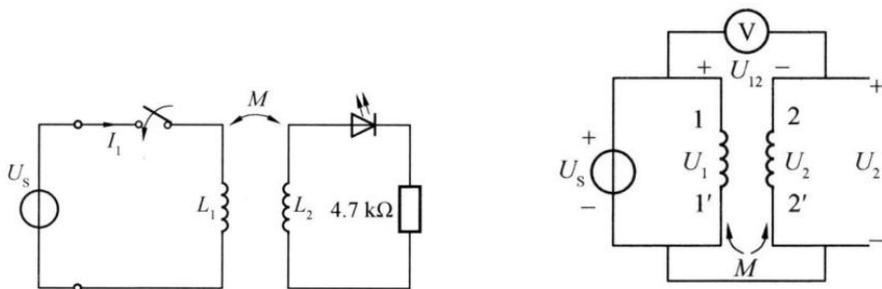
原因：当 U 型铁芯插入时，它增加了线圈之间的磁耦合，导致互感系数变大，从而使得 LED 的亮度增加，相反，当将 U 型铁芯抽出时，磁路中的漏磁增加，使得互感系数减小，LED 的亮度降低

## 四、实验过程

（叙述具体实验过程的步骤和方法，记录实验数据在原始数据表格，如需要引用原始数据表格，请标注出表头，如“实验数据见表 1-1”）

### 1. 测定两互感耦合线圈的同名端

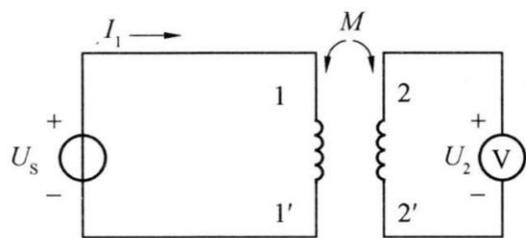
使用直流法（电源电压为 5 V）和交流法（电源电压为  $5 V_{rms}$ ），测量两端耦合线圈的同名端，注意两种方法测定的同名端是否相同。在测量过程中，确保两个线圈都插入一个条形铁芯（或将两线圈内插入一个共用的 U 形铁芯），以增强耦合效果。两个线圈（ $L_1$  和  $L_2$ ）均为 500 匝



### 2. 测定两互感耦合线圈的互感系数 M

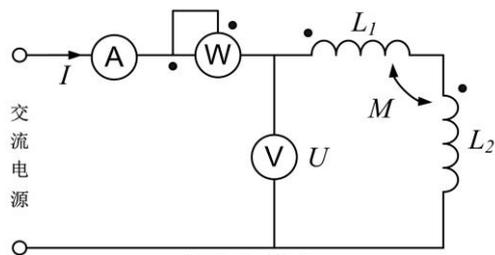
（1）开路互感电压法：

根据上图所示的连接电路，将其接入 5V 工频电源，并改变  $L_2$  的匝数，同时在线圈内插入不同的介质材料观察线圈匝数和介质材料对互感的影响。测量  $I_1$  和  $U_2$  并计算相应的互感系数 M 值。使用电能表的电流表测量电流  $I_1$ ，使用电量仪的电压表监测输入电压，使用万用表的交流电压表测量  $U_2$ 。



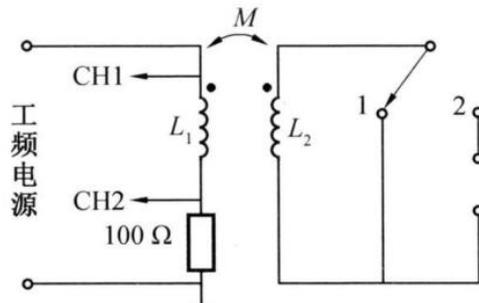
（2）等效电感法：

根据上图所示的接线，将电路接入 12V 工频电源，并使用 U 形铁芯制作的耦合电感。分别测量在  $L_1$  与  $L_2$  顺向串联和反向串联时的电压 U、电流 I 以及功率 P。同时保持  $L_1$  与  $L_2$  线圈匝数相同，均为 500 匝。



（3）观察二次回路负载对一次回路的影响：

根据上图所示的接线，选择回形铁芯的两电感（ $L_1$  与  $L_2$  线圈匝数同为 500），分别在二次回路短路和二次回路开路两种情况下使用示波器观察一次回路电压



和电流的波形。为了观测电流波形，我们在一次回路中串联了一个  $100\ \Omega$  的电阻。同时，选择 U 形铁芯的两电感，在同样的二次回路短路和二次回路开路情况下，也使用示波器观察一次回路电压和电流的波形。同样地，在一次回路中串联了一个  $100\ \Omega$  的电阻。对比并分析两种情况下观察到的波形差异，并解释二次回路负载对一次回路的影响及其原因。

(4) 观察互感现象：

将交流电压有效值为  $8\text{V}$  的低电压加在  $L_1$  侧，将  $L_2$  侧接入 LED 发光二极管和  $510\ \Omega$  电阻串联的支路。注意观察 LED 发光管的亮度，若发光管不亮，可适当增大  $L_1$  侧交流电压，直到 LED 发光管亮度适中。绘制所设计的电路图。在实验中，将 U 形铁芯从两个线圈中抽出和插入，观察 LED 亮度的变化，并分析引起变化的原因。

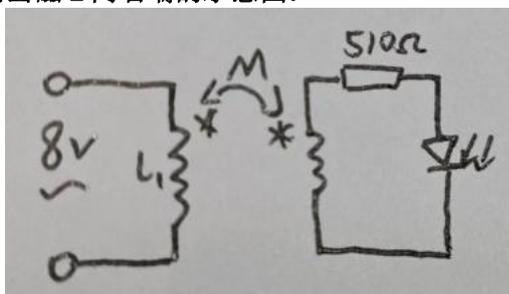
## 五、实验数据分析

(按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析和处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行)

1、判别互感的同名端：

直流法测试的现象及同名端结论：当开关断开时，发光二极管变亮，由此可知 1 端和 2' 端是同名端

请画出磁芯同名端的示意图：



交流法测试时，分别测量  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  和  $\dot{U}_{12}$  的有效值，

记录数据： $\dot{U}_1 = 5.07\text{V}$   $\dot{U}_2 = 4.81\text{V}$   $\dot{U}_{12} = 9.86\text{V}$

交流法判别结论：1 与 2' 端为同名端

将其中一个线圈倒过来再测试同名端，

记录数据： $\dot{U}_1 = 5.07\text{V}$   $\dot{U}_2 = 4.80\text{V}$   $\dot{U}_{12} = 9.92\text{V}$

同名端是否发生变化，为什么？

原因：同名端不变化，因为将一个线圈倒过来后，线圈绕向不变，因而同名端不变

2、由表 6-2 测试数据，计算  $L_{正}$ 、 $L_{反}$  及  $M$ 。由计算得到的  $L_{正}$ 、 $L_{反}$  可得  $M$  值为：

$$M = \frac{L_{正} + L_{反}}{4}$$

U 型：M=0.03495H

回型：M=0.62625H

3、由表 6-2 的测试数据，对比回型磁芯和 U 型磁芯的实验结果，说明差异的原因：

答：回型铁芯的磁导率比较大，使得在相同激励下，漏磁比较少，通过两线圈的互感磁链较大，从而使得互感系数增大

4、对比表 6-1、6-2 的测试数据，请同学们自行对比使用等效电感法测试出来的互感与开路互感电压法测试出来的互感值，是否一致。思考原因。

答：在误差允许范围内，与开路互感电压法测出的互感值是一致的。

5、由回型磁芯测试的波形，分析二次回路负载对一次回路的影响及原因。

影响及原因：（需要计算公式）

公式：

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j\omega L_2 \dot{I}_2 \pm j\omega M \dot{I}_1 \end{cases}$$

设二次侧负载的阻抗为Z，代入化简得：

$$\dot{U}_1 = (j\omega L_1 - \frac{\omega^2 M^2}{Z - j\omega L_2}) \dot{I}_1$$

影响：回型磁芯测试的波形：二次回路为断路时，原线圈两端的电压较二次回路为短路时高，相移角较二次回路为短路时大。

原因：二次回路为回型磁性时，一次负载支路的等效电感较大，原线圈两端的电压也较大，相移角也较大。

6、选择 U 型磁芯的两电感，分别在二次回路短路及二次回路开路两种情况下用示波器观察一次回路电压和电流的波形，为了用示波器观测电流波形，在一次电路中串联一个 100 欧姆电阻。请分析结果和使用回型磁芯两电感的不同的原因。（坐标纸绘图）

答：使用 U 型磁芯时，U 型磁芯的漏磁更严重，降低了电感间耦合，使得二次回路感应电动势变小，等效负载阻抗更小，对一次回路的影响更小。

## 六、问题思考

（回答指导书中的思考题）

1. 用直流法判断同名端时，将开关闭合和断开，判断同名端的结果是否一致？

答：一致

2. 定性分析两线圈的介质变化会对互感产生怎样的影响。

答：插入铁芯使得互感系数变大，回形铁芯比 U 形铁芯互感系数大

## 七、实验体会与建议

通过这次实验，我更加直观地明白了互感现象，理解了铁芯对互感现象的影响