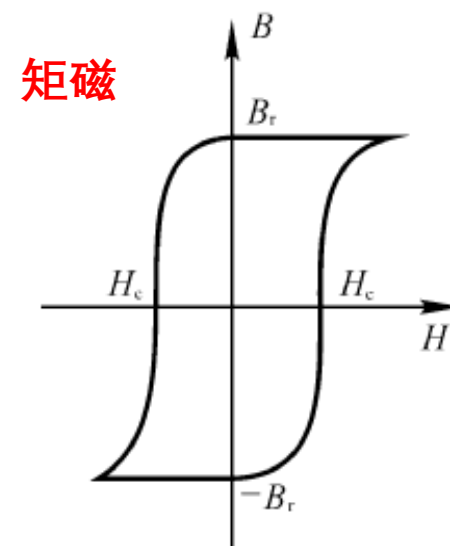
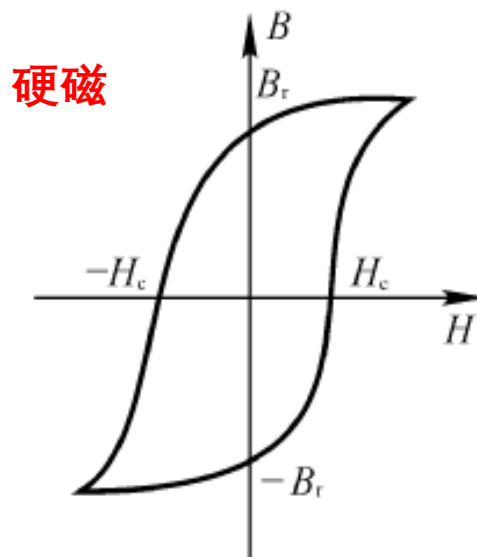
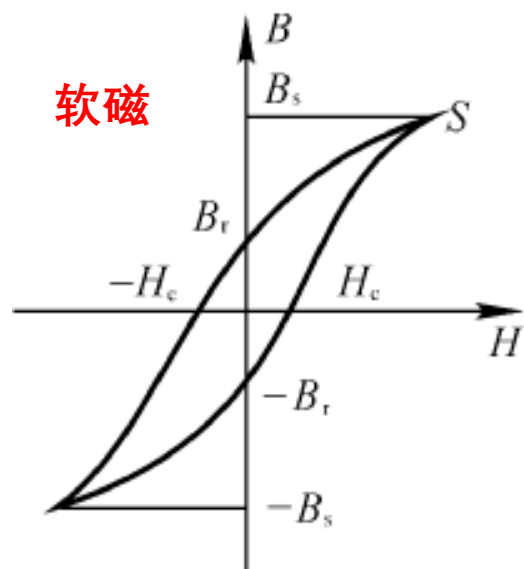


实验15 动态磁滞回线测量实验

一、实验背景知识

铁、钴、镍以及稀土合金等铁磁材料的应用具有悠久历史（可追述到公元前的司南），同时也是现代科学技术中高新材料（如计算机中的磁盘，巨磁阻的磁头、 α 磁谱仪等等）的主要组成部分。

铁磁材料的特性是用磁滞回线来表征的，可分为软磁、硬磁和矩磁三种类型，磁滞回线由磁导率 μ 、饱和磁化强度 B_s 、剩磁 B_r 、矫顽力 H_c 几个重要参数来确定。



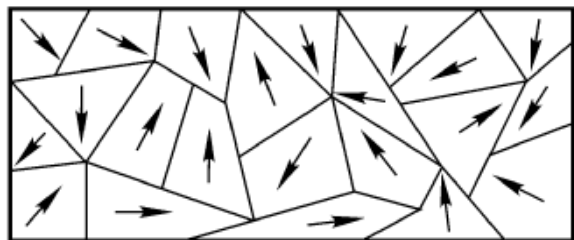
硬磁材料（永磁材料）的磁滞回线宽，剩磁和矫顽力大；

软磁材料（变压器用）的磁滞回线窄，矫顽力小，但磁导率和饱和磁感应强度大；

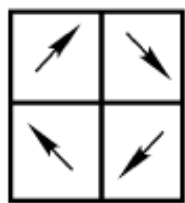
矩磁材料（磁存储器）的磁滞回线与矩形相似，剩磁接近于饱和磁感应强度，矫顽力适中（易于磁化读写，还能抗干扰）。

磁化曲线和磁滞回线既是铁磁材料的重要特性，也是设计电磁产品和仪器仪表的依据之一。

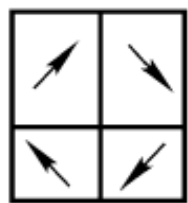
磁畴



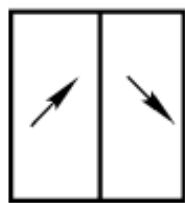
磁化过程



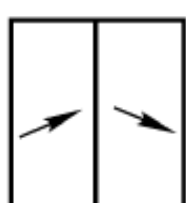
(a) $H=0$



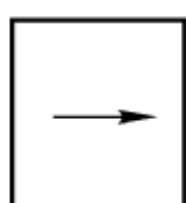
(b) $H \rightarrow$



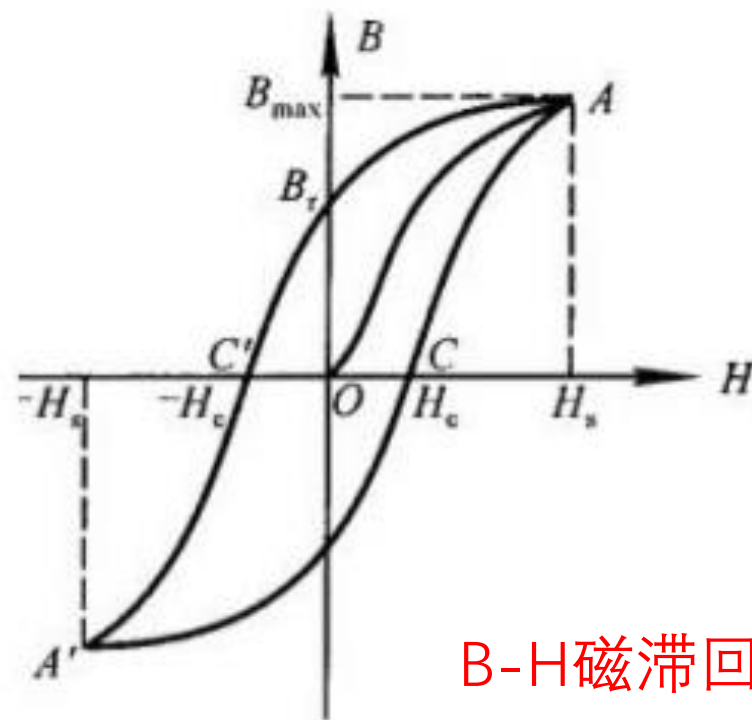
(c) $H \rightarrow$



(d) $H \rightarrow$



(e) $H \rightarrow$



B-H磁滞回线

实验中用交流电对材料样品进行磁化，测得的B-H曲线称为**动态磁滞回线**。

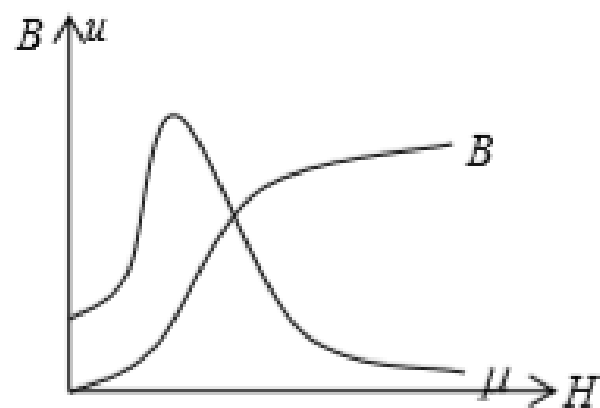
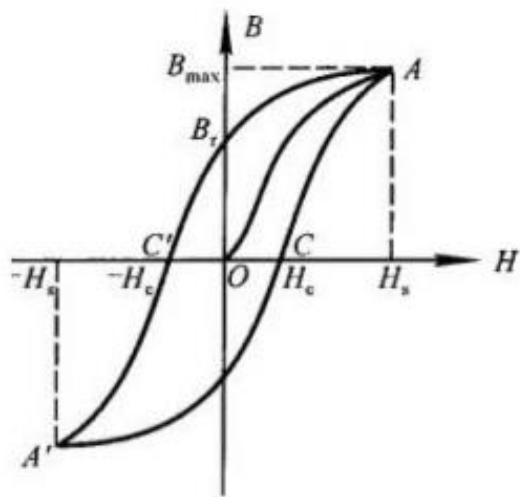
测量磁性材料动态磁滞回线方法较多，用示波器法测动态磁滞回线的方法具有直观、方便、迅速以及能够在不同磁化状态下(交变磁化及脉冲磁化等)进行观察和测量的独特优点，所以在实验中被广泛利用。

本实验要求掌握铁磁材料磁滞回线的概念和用示波器测量动态磁滞回线的原理和方法，从而在理论和实际应用上加深对材料磁特性的认识。

二、实验内容

主要内容：

1. 搭建测量装置，样品消磁；
2. 测量样品的磁滞回线；
3. 测量磁化曲线和铁磁材料的特征参量。
4. B ， H 的实验标定。

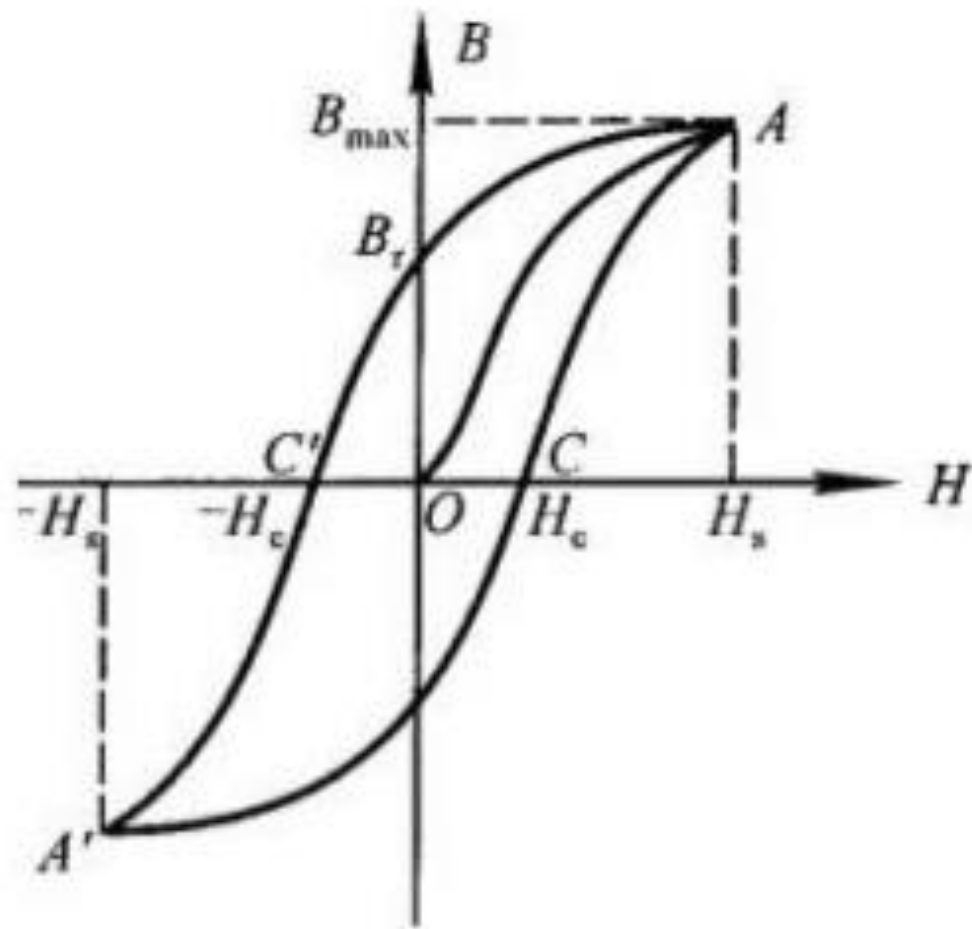


三、实验原理

1、铁磁材料的磁滞性质

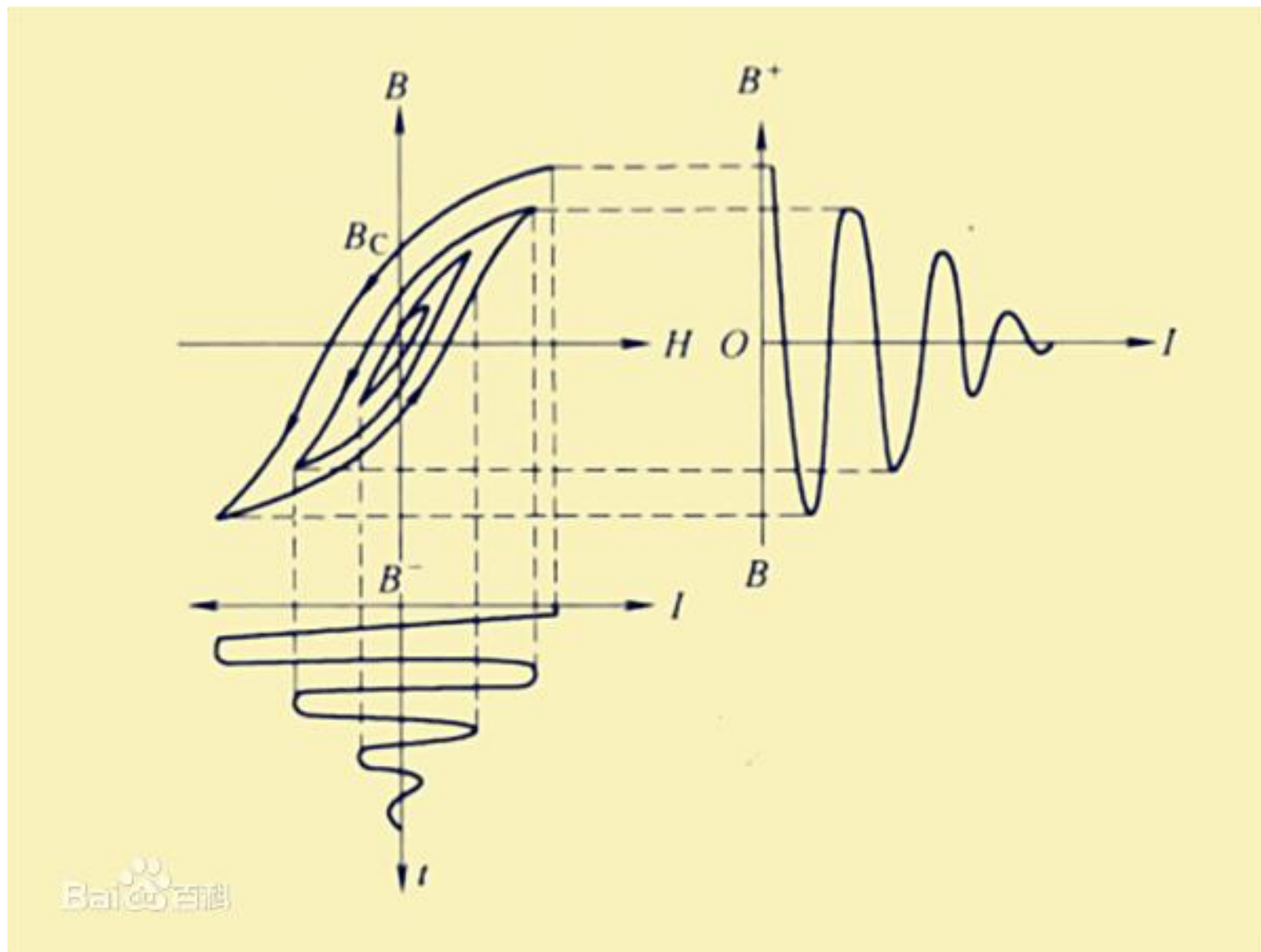
由于铁磁材料的磁滞特性，磁性材料所处的某一状态必然和它的历史有关。为了使样品的磁特性能重复出现，也就是指所测得的基本磁化曲线都是由原始状态($H=0, B=0$)开始，在测量前必须进行退磁，以消除样品中的剩余磁性。

励磁电流从最大值600mA每次减小20mA

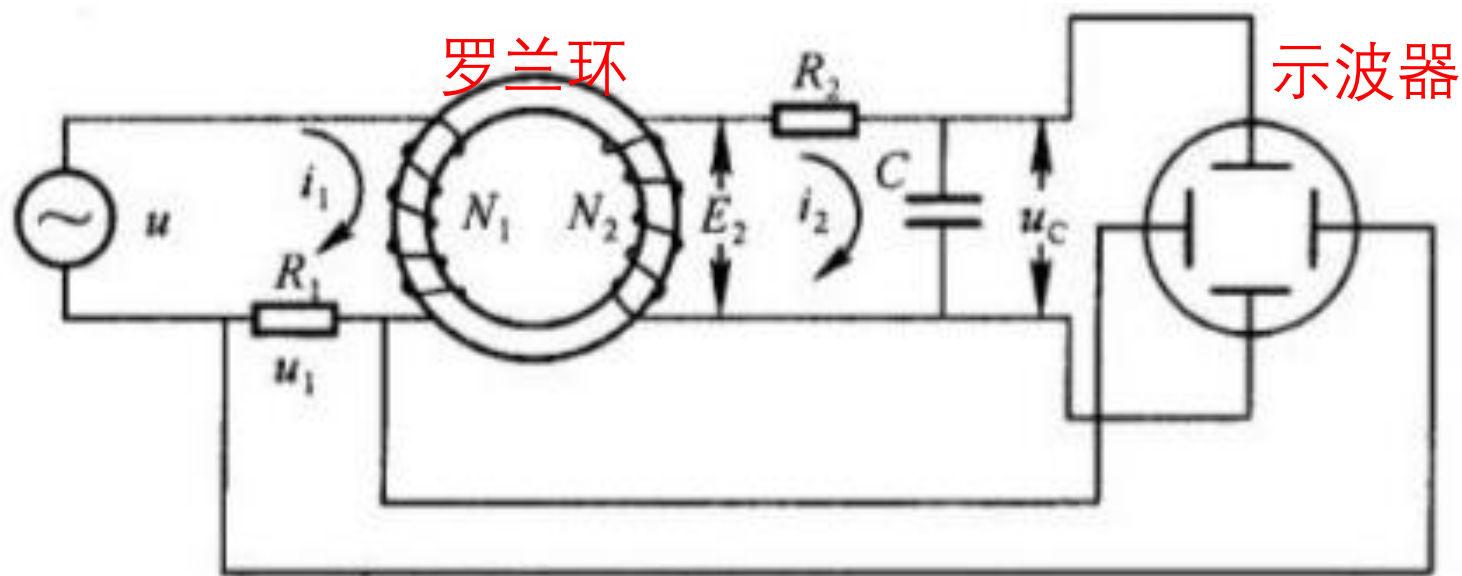


退磁

思考：退磁为何要从磁饱和开始？



2、示波器测量磁滞回线的原理



(1) u_x (x轴输入)与磁场强度 H 成正比

罗兰环样品的平均周长为 l
磁化线圈的匝数为 N_1

$$H = \frac{N_1}{l} i_1 = \frac{N_1}{l} \frac{u_1}{R_1} \quad (1)$$

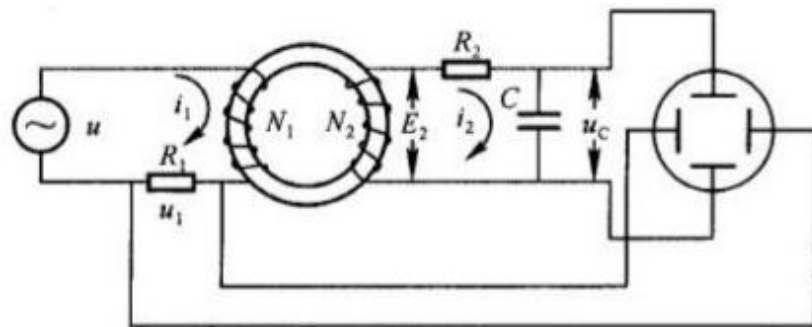
(2) u_c (y轴输入)在一定条件下与磁感应强度B成正比

考虑到副线圈匝数 N_2 较小，因而自感电动势未加以考虑。

设样品的截面积为 S ，在匝数为 N_2 的副线圈中，
感应电动势应为：

$$E_2 = N_2 S \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

$$E_2 = R_2 i_2 + \frac{q}{C} \quad (3)$$



， R_2 与 C 都做 成足够大，使电容 C 上的电压降($u_c = q/C$)比起电阻上的电压降 $R_2 \times i_2$ 小到可以忽略不计

$$E_2 \approx R_2 i_2 \quad (4)$$

将 (2) 式代入 (4) 式可知:

$$E_2 = N_2 S \frac{dB}{dt} = R_2 \times i_2$$

$$N_2 S dB = R_2 \cdot i_2 dt = R_2 \cdot dq_2 = R_2 c du_2$$

$$\int N_2 S dB = \int R_2 \cdot c \cdot du_2$$

$$B = \frac{R_2 c}{N_2 S} u_2 \quad (5)$$

(3) 测量标定

以一个纯电阻 R_0 代替被测样品室铁磁材料

x轴(H轴)标定

$$H_0 = \frac{N_1}{l} i_1 = \frac{N_1}{l} \frac{u_1}{R_1}$$

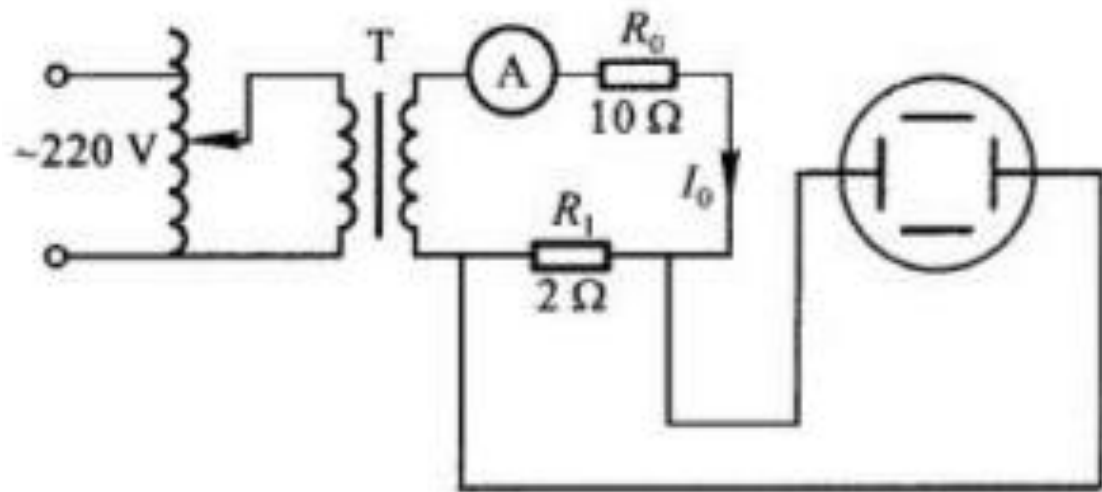
$$i_1 = \frac{2\sqrt{2}I_0}{M_x}, H_0 = \frac{N_1}{l} \frac{2\sqrt{2}I_0}{M_x}$$

I_0 为电流表的读数（有效值）。

M_x 为示波器荧光屏上水平线长度的格子数。

H_0 为每格子所对应的磁场强度。

$$H = \frac{N_1}{l} \frac{u_1}{R_1}, \text{ 也可以用电压直接标定。}$$



x轴(H)轴标定线路图

(3) 测量标定

y轴(B轴)标定：确定y轴(B轴)的每一小格实际代表多少磁感应强度。

流经互感器原边的瞬时电流为 i_0 ，则互感器副边中的感应电动势 E_0 为

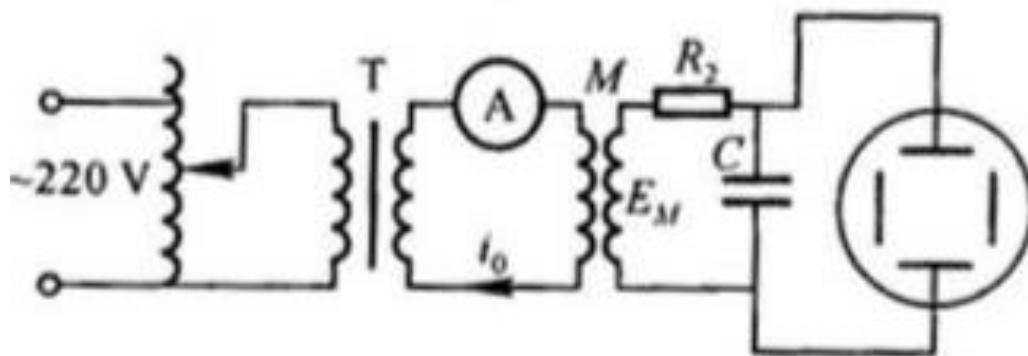
$$E_0 = -M \frac{di_0}{dt} \quad M \frac{di_0}{dt} = R_2 C \frac{du_c}{dt}$$

对上式两边积分，可得

$$u_c = \frac{Mi_0}{R_2 C}$$

$$B = \frac{R_2 c}{N_2 S} u_2 = \frac{Mi_0}{N_2 S} \quad (6)$$

图中 M 是一个标准互感器



y轴(B轴)标定线路图

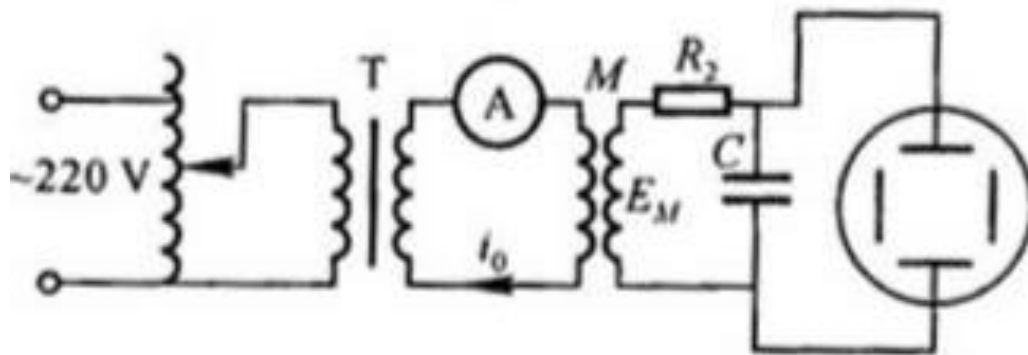
同理可得：

$$B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2 SM_y}$$

(3) 测量标定

图中 M 是一个标准互感器

$$B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2SM_y}$$



y轴(B轴)标定线路图

I_0 为电流表的读数（有效值）

M_y 为示波器荧光屏上竖垂线长度的格子数。

B_0 为每格子所对应的磁感应强度。

$$B = \frac{R_2C}{N_2S}u_2, \text{ 也可以用电压直接标定。}$$

$$H_0 = \frac{N_1}{l} \frac{2\sqrt{2}I_0}{M_x}$$

$$B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2SM_y}$$

初级线圈匝数 N_1 为600匝，次级线圈匝数 N_2 为75匝，
平均磁路 l 为 47.123cm,样品的截面积 S 为1.3273 cm

互感系数 $M=10.0\pm0.1mH$.

$$H = \frac{N_1}{l} \frac{u_1}{R_1}$$

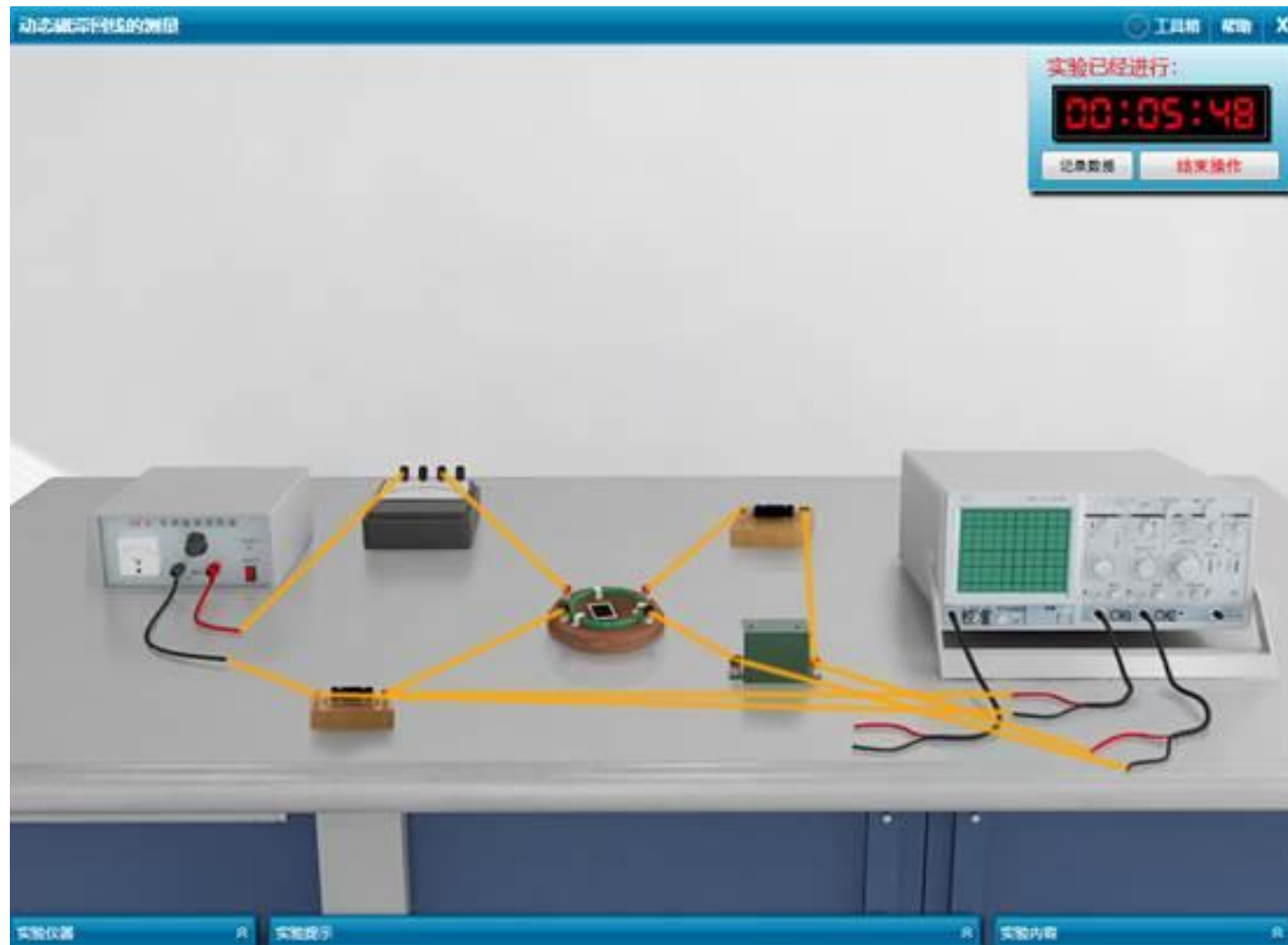
$$B = \frac{R_2 c}{N_2 S} u_2$$

$$R_1 = 2 \Omega, \quad R_2 = 11 \text{ k}\Omega \quad c = 1 \mu F$$

为何不用直接标定？
电阻和电容值的有效位数，以及实际测量中，
电阻电容的离散性问题。

四、实验设备

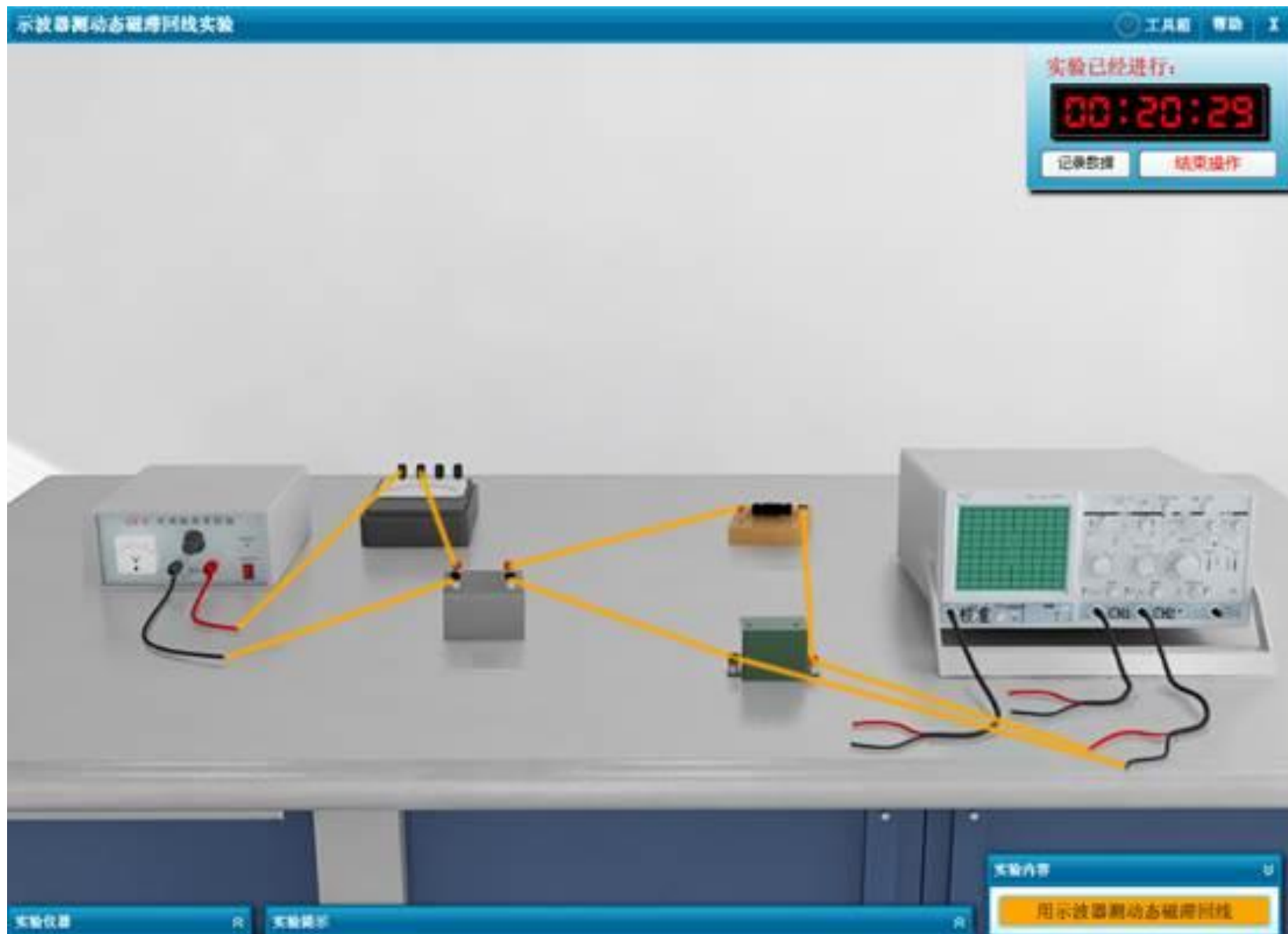
动态磁滞回线与磁化曲线的测量



磁场强度H的标定



磁感应强度B的标定





输入220V, 50Hz
输出: 0—100V可调, 50Hz

交流电流表



具有三个量程:
0.5A , 1A, 5A

标定电阻R0

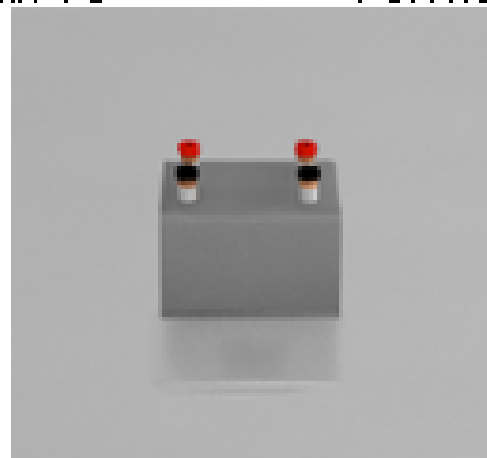
实验中用来进行标定磁场强度H的标准限流电阻，其阻值大小为 500Ω 。



仿真仪器

BH-2标准互感器

实验中用来标定磁感应强度B，其标准互感系数M为 $10 \pm 0.1\text{mH}$ ，允许的最大额定电流值为0.3A。



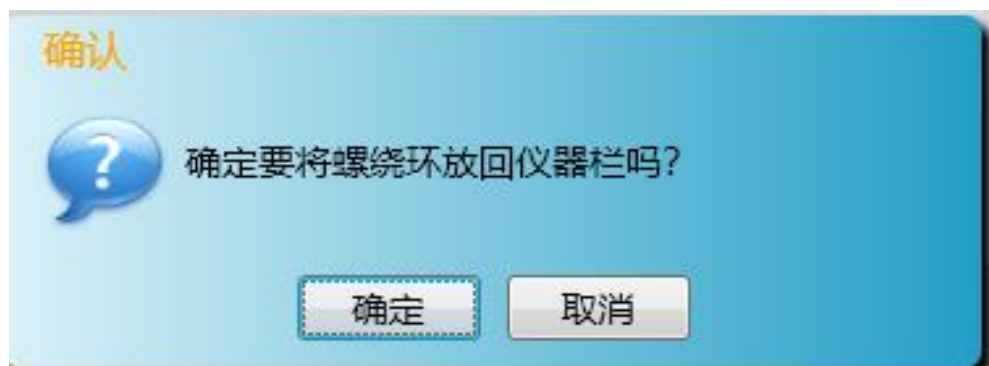
仿真仪器

互感系数 $M=10.0 \pm 0.1\text{mH}$ ， 允许最大额定电流为0.3A

五、实验操作和注意事项

1、螺绕环和标准互感器互换操作：只有在操作台面上删除其中一个后才能在操作台面上放上另一个。

删除办法：鼠标选中（如螺绕环）时按“Delete”键，可以出现“确认”提示



2、示波器校正，CH1，CH2，（扫描校正与该实验测量无关）

3、退磁操作

缓慢调节调压器的输出电压，使励磁电流从最大值每次减小20mA左右，直至调为零，重新增大励磁电流使样品达到磁滞饱和，若磁滞回线闭合则样品被完全退磁，否则重复退磁操作，直至退磁完成。

4、建议：示波器CH1的增益为“50mV”，CH2的增益为“0.1V”。
在增益不变下测量和标定。

4、测量过程参考：

实验内容

1. 仪器的调节

(1)按图3所示线路接线，调节示波器，使光点调至荧光屏正中心。示波器的x轴增益置“50mV”档，y轴增益置“0.1V”档，可适当调整x、y的增幅，使荧光屏上得到大小适中的磁滞回线。调节可调隔离变压器，从零开始逐步增大磁化电流，使磁滞回线上的B值能达到饱和。

(2)样品的退磁：缓慢调节调压器的输出电压，使励磁电流从最大值每次减小20mA左右，直至调为零，重新增大励磁电流使样品达到磁滞饱和，若磁滞回线闭合则样品被完全退磁，否则重复退磁操作，直至退磁完成。

(3)退磁完成后，重新调节可调隔离变压器电压为80V，使荧光屏上得到大小适中的磁滞回线，并记录饱和磁化电流I的大小。

2. 测量动态磁滞回线以及基本磁化曲线

(1)将电源电压从0V逐渐调节到100V，以每小格为单位测若干组B、H的坐标值。并记录电压为80V时饱和磁滞回线的顶点(A)、剩磁(B_r)、矫顽力(H_c)三个点的读数。

(2)测量基本磁化曲线，将电源电压从0V逐渐调节到100.0V，每隔10V记录下当前电流值以及磁滞回线的顶点坐标值，并将各个磁滞回线的顶点进行连接即可得到基本磁化曲线。

(3)标定H，按图4接线，依次逐渐增大线路中的电流值分别为0.02mA、0.04 mA、0.06 mA、0.08mA、0.10 mA、0.12 mA，并记录下不同电流时示波器对应的格数，根据公式求出示波器单位每小格表示的磁场强度 H_0 。

3. 标定B，按图5接线，依次逐渐增大线路中的电流值分别为0.05mA、0.10 mA、0.15 mA、0.20 mA、0.25 mA、0.30 mA，记录下不同电流时示波器对应的格数，并根据公式求出示波器单位每小格表示的磁感应强度 B_0 。

4. 将标定的结果带入测基本磁化曲线数据表格，求出对应不同电压时的 H_m 、 B_m 以及相对磁导率 μ_a ，以 $\mu_a - H_m$ 曲线确定初始磁导率 μ_{a0} 和最大磁导率 μ_{am} 。

思考题

1. R_1 的值为什么不能大?
2. U_c 对应的是H还是B? 请说明理由?
3. 测量回线要使材料达到磁饱和, 退磁也应从磁饱和开始, 意义何在?