

## 用示波器观测动态磁滞回线

### 1.

- 饱和磁感应强度：把物体放入外磁场  $H$  中，物体就会被磁化，在其内部产生磁场，设其内部磁化强度为  $M$ ，磁感应强度为  $B$ ，有  $B = \mu_0(M + H)$ 。起初磁化强度会随着外磁场的增大而增大，到达图 1 中所示的 a 点之后，材料已经被磁化到饱和状态，继续增大磁场  $H$  的时候磁化强度  $M$  并不增大，这个表示  $M$  刚刚达到饱和的 a 点对应的磁感应强度就是饱和磁感应强度。
- 饱和磁滞回线：当铁磁材料处于正向饱和状态（a 点），减小外磁场，并施加反向磁场可以使铁磁材料的状态由 a 点经过 b, c 点到达反向饱和状态（d 点）；之后再增大正向磁场使其沿着 defa 曲线回到正向饱和状态。表示这两个过程的曲线相对于原点中心对称，形成的闭合曲线 abcdefa 叫做饱和磁滞回线。
- 剩余磁感应强度：如果将铁磁材料磁化到饱和状态后再减小磁场  $H$ ，那么磁感应强度  $B$  会随着  $H$  减小而减小，但是不会沿着起始磁化曲线（图 1 中虚线）减小，而是会更加缓慢地减小，所以当外磁场降至 0 时，磁感应强度并不为 0，此时的  $B$  值（即图中 b 点对应的  $B$  值）成为剩余磁感应强度。
- 矫顽力：因为外磁场降至 0 后磁感应强度并不为 0，所以要想将磁感应强度降至 0，就需要施加反向的磁场，当施加的反向磁场使得材料内部的磁感应强度降至 0 时，此时的外磁场称为矫顽力  $H_c$ 。

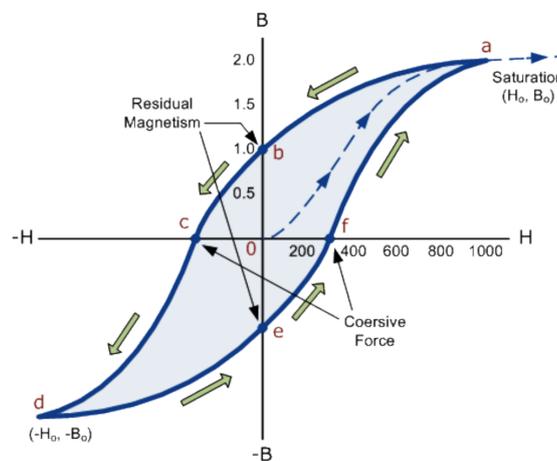


图 1: 铁磁材料的磁滞回线示意图

### 2.

- 起始磁化曲线：当铁磁材料从磁中性（ $H = 0, B = 0$ ）时，给它加上由小变大的磁场  $H$  进行磁化时，磁感应强度  $B$  随  $H$  的变化曲线称为起始磁化曲线（即图 1 中虚线）。
- 动态磁化曲线：如果磁场在  $[-H_m, H_m]$  范围内作循环变化，那么  $B$  也在  $-B_m, B_m$  范围内作循环变化，形成一个闭合的磁滞回线。将磁场幅值从 0 增大到  $H_s$ ，这些磁滞回线的顶点  $(H_m, B_m)$  的连线称为动态磁化曲线。

- 测量前利用交流退磁法对材料进行退磁。交流退磁的过程中，将材料内部的磁矩反复扰动，从而使得材料内部磁矩的分布随机化，消除整体的磁性。

### 3.

- 振幅磁导率：在动态磁化曲线上任意一点的  $B_m$  和对应的  $H_m$  的比值  $\frac{B_m}{\mu_0 H_m}$  叫做振幅磁导率；
- 起始磁导率：当交流磁化场的幅度很小的时候，铁磁材料的磁化过程是可逆的，磁滞回线退化为一斜线，定义起始磁化率为  $\lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{\mu H}$ ，它表征了起始可逆磁化阶段的磁化性能。在实验中，可以通过测定材料的磁滞回线并求其在原点附近的斜率得到起始磁导率。

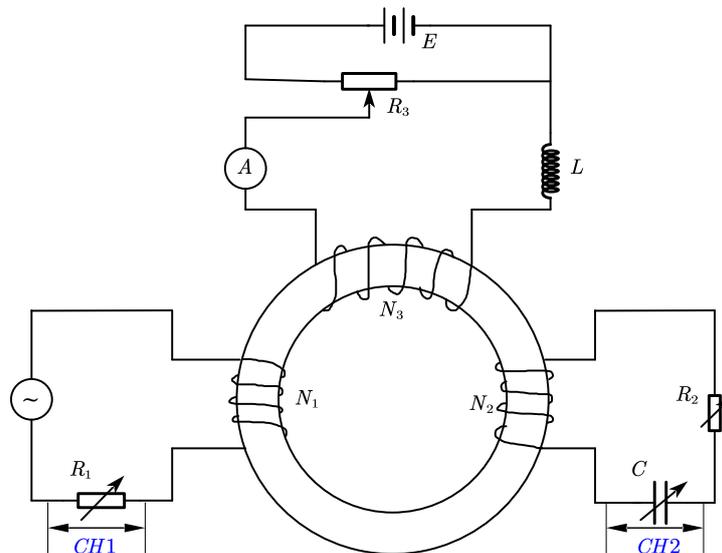


图 2: 用示波器测量动态磁滞回线电路图

### 4.

- 用示波器测量动态磁滞回线的电路图如图 2 所示。
- 测量磁场强度：根据安培环路定理，磁场强度  $H$  正比于励磁电流  $i_1$ ： $H = \frac{N_1}{l} i_1 = \frac{N_1}{l R_1} U_{R_1}$ ；测量磁感应强度：根据法拉第电磁感应定律，线圈 2 中的磁通变化在线圈 2 中产生感应电压  $u_2 = -\frac{N_2 d\Phi}{dt} = -\frac{N_2 S dB}{dt}$ ，在电路 2 中，如果  $RC \gg T$  ( $T$  为外磁场的周期)，则电容  $C$  上的电压远远小于电阻  $R$  上的电压，电阻上的电压近似为  $u_2$ ，所以电容  $C$  上的电压为  $u_c = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{1}{C R_2} \int u_{R_2} dt \approx \frac{1}{C R_2} \int u_2 dt$ ，则磁感应强度为  $B = \frac{R_2 C}{N_2 S} u_c$ 。
- 对 RC 积分电路的时间常数要求：要求时间常数  $R_2 C$  远远大于磁场变化的周期。
- 用感应线圈测量磁场的优势：可以快速响应磁场的变化；可以测量比较弱的磁场；不需要接触物体就可以测量磁场。局限性：只能测量磁场的大小，不能测量磁场的方向。

5. 固定励磁电流幅度  $I_m = 0.2A$ ：控制  $u_{R_1}$  的大小，使得  $u_{R_1} = I_m R_1$ ；固定交变磁场幅度的大小  $H_m = 400A/m$ ：控制  $u_{R_1}$  的大小，使得  $u_{R_1} = \frac{l P_1}{N_1} H_m$ ；