

示波器观测动态磁滞回线

1. 什么是饱和磁滞回线？什么是饱和磁感应强度？什么是剩余磁感应强度、矫顽力？

- 饱和磁感应强度：把物体放入外磁场中，物体就会磁化，其内部产生磁场。设内部的磁化强度为 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加而增加，达到图中所示的 S 点后，材料被磁化到饱和状态，继续增大 H 时磁化强度 M 并不增大，这个表示 M 刚刚达到饱和的点所对应的磁感应强度 B 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时，减小外磁场，并施加反向磁场可以使铁磁材料由 S 点经过 P 、 Q 点，到达反向饱和状态后；再正向增大磁场使其沿着 $S'P'Q'$ 回到正向饱和状态。这一整个过程的曲线相对于原点中心对称，形成的闭合曲线称为饱和磁滞回线。

- 剩余磁感应强度、矫顽力：将铁磁材料磁化到饱和状态后再减小磁场 H ，磁感应强度会随着 H 的减小而减小，但不会沿着起始磁化曲线，而是更加缓慢的减小，所以当外磁场降为零时，磁感应强度 B 不为零（图中 P 点），此时的 B 值称为剩余磁感应强度。而如果想将 B 降至零需要施加一定的反向磁场（图中 Q 点），这时的外磁场称为矫顽力。

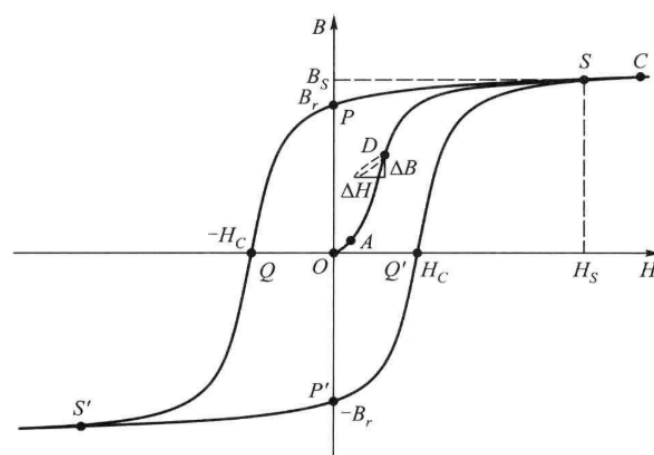


图 1: 铁磁材料磁滞回线示意图

2. 什么是起始磁化曲线？什么是动态磁化曲线？测量前如何对样品进行退磁？为何这种方法能有效的退磁？

- 起始磁化曲线：铁磁材料从中性状态 ($H = 0, B = 0$) 时，给它加上有小变大的磁场 H 进行磁化，磁感应强度 B 随 H 变化的曲线（即图中 OAS ）。

- 动态磁化曲线：如果磁场在 $[-H_m, H_m]$ 的区间内变化，则 B 也在 $[-B_m, B_m]$ 的区间内变化形成一个循环的闭合曲线，这些曲线称为磁滞回线。而把这些磁滞回线的顶点 (H_m, B_m) 连接起来，就是动态磁化曲线。

• 退磁：通交流电，采用交流退磁法。交流退磁的过程中，材料内部的磁矩反复扰动，磁矩分布随机化，消除整体的磁性。

3. 什么是振幅磁导率 μ_m ？什么是起始磁导率 μ_i ？ μ_i 反映了材料的什么特性？实验中如何测量？

• 振幅磁导率：动态磁化曲线上任意一点的 B_m 和相应的 H_m 的比值 $\frac{B_m}{\mu_0 H_m}$ 叫做振幅磁导率。

• 当交流磁化场的幅度很小的时候，铁磁材料的磁化是可逆的，磁滞回线退化为一条斜线，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，可以通过测量动态磁化曲线在原点附近的斜率来得到起始磁导率。

4. 画出用示波器测量动态磁滞回线的电路图。实验中如何测量磁场强度和磁感应强度？对 RC 积分电路的时间常量有什么要求？用感应线圈测量磁场有什么优势和局限？

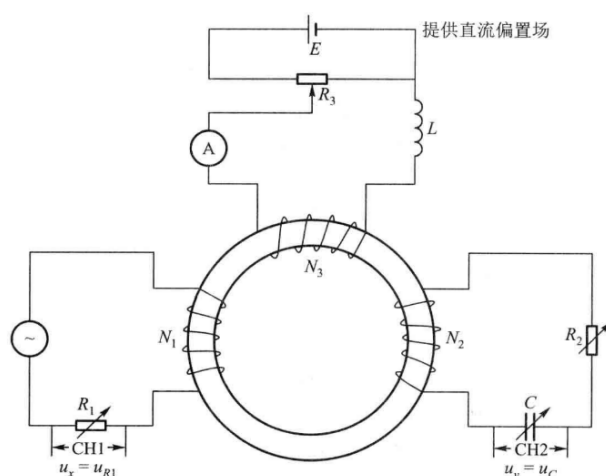


图 2: 示波器测量动态磁滞回线的电路图

• 根据安培环路定理，磁场强度 H 与励磁电流 i_1 成正比：

$$H = \frac{N_1}{l} i_1 = \frac{N_1}{l R_1} U_{R_1}$$

其中， N_1 是线圈的匝数， l 是磁路长度， R_1 是电阻， U_{R_1} 是电阻上的电压。

根据法拉第电磁感应定律，线圈 2 中的磁通变化在该线圈中产生感应电压：

$$u_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 S \frac{dB}{dt}$$

其中， N_2 是线圈 2 的匝数， S 是线圈的截面积， Φ 是磁通量， B 是磁感应强度。

在电路 2 中，如果 $RC \gg T$ （其中 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 。因此，电容 C 上的电压为：

$$u_c = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{1}{C R_2} \int u_{R_2} dt \approx \frac{1}{C R_2} \int u_2 dt$$

最后，磁感应强度 B 表示为：

$$B = \frac{R_2 C}{N_2 S} u_c$$

- 对时间常数的要求：时间常数 $\tau = R_2 C$ 远大于磁场变化的周期。
- 优势：可以快速响应磁场的变化；可以测量较弱的磁场；不需要接触即可测量。局限：只能测量大小，不能测量方向。

5. 实验内容 (1) 的③中要求固定励磁电流幅度 $I_m = 0.2A$ ，实验中通过控制哪些可观测量并如何控制该可观测量来保证这一点？实验内容 (3) 中要求在给定的交变磁场幅度 $H_m = 400A/m$ 下测量，实验中又如何保证这一点？

- 固定励磁电流幅度：控制 u_{R1} 的大小，使得 $u_{R1} = I_m R_1$ ；固定交变磁场的幅度大小：控制 u_{R1} 的大小，使得 $u_{R1} = \frac{l P_1}{N_1} H_m$ 。