

### 实验题目: 铁磁材料的磁滞回线及基本磁化曲线

#### 一. 实验目的

- 1) 看懂实验原理图及接线图;
- 2) 复习示波器的使用方法;

#### 二. 实验仪器

磁滞回线实验组合仪、双踪示波器。

#### 三. 实验原理

##### 1) 铁磁材料的磁化及磁导率

铁磁物质的磁化过程很复杂, 这主要是由于它具有磁滞的特性。一般都是通过测量磁化场的磁场强度  $H$  和磁感应强度  $B$  之间的关系来研究其磁性规律。

当铁磁物质中不存在磁化场时,  $H$  和  $B$  均为零。即图 20-1 中  $B-H$  曲线的坐标原点  $O$ 。随着磁化场  $H$  的增加,  $B$  也随之增加, 但两者之间不是线性关系。当  $H$  增加到一定值时,  $B$  不再增加 (或增加十分缓慢), 这说明该物质的磁化已达到饱和状态。  $H_m$  和  $B_m$  分别为饱和时的磁化强度和磁感应强度 (对应于图中  $a$  点)。如果再使  $H$  逐渐退到零, 则与此同时  $B$  也逐渐减少。然而  $H$  和  $B$  对应的曲线轨迹并不沿原曲线轨迹  $oa$  返回, 而是沿另一曲线  $ab$  下降到  $B_r$ , 这说明当  $H$  下降为零时, 铁磁物质中仍保留一定的磁性, 这种现象称为磁滞,  $B_r$  称为剩磁。将磁化场反向, 再逐渐增加其强度, 直到  $H = H_c$ , 磁感应强度消失, 这说明要消除剩磁, 必须施加反向磁化场  $H_c$ 。  $H_c$  称为矫顽力。它的大小反映铁磁材料保持剩磁状态的能力。图 20-1 表明, 当磁化场按  $H_m \rightarrow 0 \rightarrow -H_c \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_c \rightarrow H_m$  顺序变化时,  $B$  所经历的相应变化为  $B_m \rightarrow B_r \rightarrow 0 \rightarrow -B_m \rightarrow -B_r \rightarrow 0 \rightarrow B_m$ , 于是得到一条闭合的  $B-H$  曲线

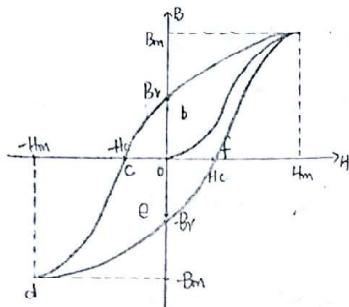


图 20-1 起始磁化曲线和磁滞回线

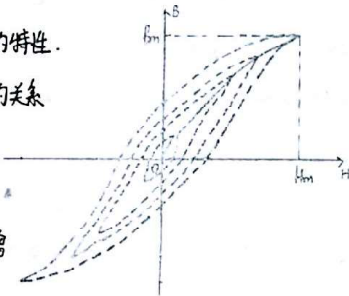


图 20-2 基本磁化曲线

称为磁滞回线。所以, 当铁磁材料处于交变磁场中时 (如变压器中的铁芯), 它将沿磁滞回线反复“磁化  $\rightarrow$  去磁  $\rightarrow$  反向磁化  $\rightarrow$  反向去磁”。在此过程中要消耗额外的能量, 并以热的形式从铁磁材料中释放。这种损耗称为磁滞损耗。可以证明, 磁滞损耗与磁滞回线所围面积成正比。

应该说明, 对于初始状态为  $H=0, B=0$  的铁磁材料, 在交变磁场强度由弱到强依次进行磁化的过程中, 可以得到面积由小到大向外扩张的一系列磁滞回线, 如图 20-2 所示。这些磁滞回线顶点的连线称为铁磁材料的基本磁化曲线。由此可近似确定其磁导率  $\mu = \frac{B}{H}$ 。因  $B$  与  $H$  非线性, 故铁磁材料的  $\mu$  不是常数, 而是随  $H$  而变化, 如图 20-3 所示。在实际应用中, 常使用相对磁导率  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ 。  $\mu_0$  为真空中的磁导率, 铁磁材料的相对磁导率可达数千乃至数万, 这一特点是它用途广泛的主要原因之一。

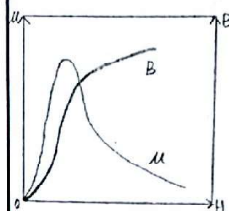


图 20-3 铁磁材料  $\mu$  与  $H$  关系曲线

##### 2) $B-H$ 曲线的测量方法

实验线路如图 20-4 所示。待测样品为 D 型矽钢片, 励磁线圈匝数  $N_1=50$ ; 用来测量磁感应强度  $B$  而设置的探测线圈匝数  $N_2=150$ ;  $R$  为励磁电流取样电阻,  $R$  为  $0.5 \sim 5.0 \Omega$ 。设通过励磁线圈的交流励磁电流为  $I$ , 根据安培环路定律, 样品的磁化场强  $H = \frac{NI}{L}$  (20-1) 式中:  $L$  为样品的平均磁路, 本实验  $L=60.0 \text{ mm}$ 。设  $R$  的端电压为  $U$ , 则可得  $I = \frac{U}{R}$ , 因此  $H = \frac{NU}{LR}$  (20-2) 式 (20-2) 中的  $N, L, R$  均为已知常数, 所以由  $U$  可确定  $H$ 。

样品的磁感应强度  $B$  的测量是通过探测线圈和  $R_G$  组成的电路来实现的。根据法拉第电磁感应定律, 在交变磁场下由于样品中的磁通量  $\Phi$  的变化, 在探测线圈中产生的感生电动势的大小  $\mathcal{E} = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$  (20-3) 由式 (20-3) 可推导出  $\Phi = \frac{1}{N_2} \int \mathcal{E} dt$   $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int \mathcal{E} dt$  (20-4) 式中,  $S$  为样品的截面积。

如果忽略自感电动势和电路损耗, 则回路方程为  $\mathcal{E} = I_1 R + U_1$  式中:  $I_1$  为感生电流;  $U_1$  为积分电容  $C_1$

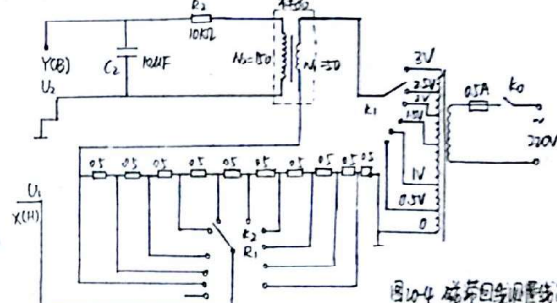


图 20-4 磁滞回线测量线路

# 天津大学物理实验报告

# 天津大学物理实验报告

附 页

信息学院 2023 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘雨 成绩

实验日期: 2015.5.6 学号 3013204272 同组实验者

实验题目: 铁磁材料的磁滞回线及基本磁化曲线

两端的电压。设在  $\Delta t$  时间内,  $I_2$  向电容  $C_2$  的充电电量为  $Q$ , 则  $U_2 = \frac{Q}{C_2}$  因此  $\mathcal{E} = I_2 R_2 + \frac{Q}{C_2}$   
如果选取足够大的  $R_2$  和  $C_2$ , 使  $I_2 R_2 \gg \frac{Q}{C_2}$ , 则  $\mathcal{E} = I_2 R_2$  所以  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} = C_2 \frac{dU_2}{dt}$   $\mathcal{E} = C_2 R_2 \frac{dU_2}{dt}$  (20-5)

由式 (20-4) 和式 (20-5) 可得  $B = \frac{C_2 R_2}{N_2 S} U_2$  (20-6)

式中:  $C_2$ ,  $R_2$ ,  $N_2$  和  $S$  均为已知常量 (本实验中  $C_2 = 20\mu F$ ,  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $S = 80mm^2$ ) 所以测量  $U_2$  可确定  $B$ 。

## 四. 实验步骤

10 电路连接: 选样品 1, 按实验仪上给出的电路图连接线路。将  $R_1 = 25\Omega$ ; "U 选择" 置于 0 位。  $U_1$  和  $U_2$  (即  $U_1$  和  $U_2$ ) 分别接示波器的 "x 输入" 和 "y 输入", 插孔 "1" 为公共端。

11 样品退磁: 开启实验仪电源, 对试样进行退磁, 即按顺时针方向转动 "U 选择" 按钮, 使  $U$  从 0V 增加至 3V, 然后逆时针方向转动按钮使  $U$  从最大值降为 0V, 其目的是消除剩磁, 即退磁过程, 确保样品处于磁中性状态, 即  $H=B=0$ , 如图 20-5 所示。

12 观察磁滞回线: 开启示波器电源, 令光点位于坐标网络中心, 令  $U = 2.2V$ 。

分别用调节示波器 x 和 y 轴的灵敏度, 使显示屏上出现圆形大小合适的磁滞回线 (若图的顶部出现编织状的小环, 可适当降低励磁电压  $U$  予以消除)。

13 观察  $U-H$ ,  $B-H$  曲线: 仔细阅读测试仪的使用说明, 连接实验仪与测试仪之间的连线。开电源, 对样品进行退磁后, 按测试仪使用说明依次测定  $U = 0.5, 1.0 \dots, 3.0V$  时的 10 组  $H_m$  和  $B_m$ , 记录在数据表 1 中, 作  $U-H$ ,  $B-H$  曲线。 (见图 1-2)

14 令  $U = 3.0V$ ,  $R_1 = 25\Omega$ , 测定样品的磁滞回线, 实验数据点从 1 开始隔 5 取点, 并读取  $H_m$ ,  $B_m$ ,  $B_r$ ,  $H_c$  等, 将其记录在数据表 2 中。

15 取实验步骤 14 中的  $H$  和其相应的  $B$  值, 用坐标纸绘磁滞回线。 (见图 3)。

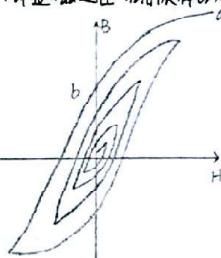


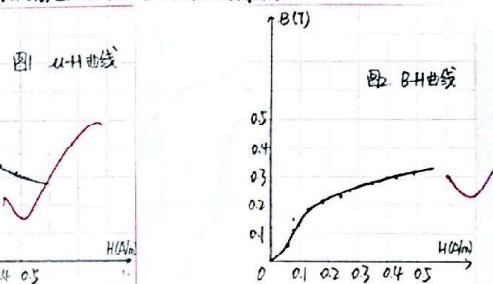
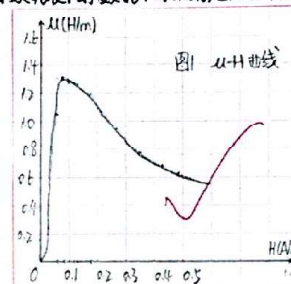
图 20-5 退磁过程

## 五. 实验数据

1) 当  $R_1 = 25\Omega$  时,  $U$  等于以下各值所对应的  $H_m$ ,  $B_m$  值。 (数据表 1)

$U/V$	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
$H_m/(A/m)$	0.059	0.084	0.102	0.135	0.180	0.221	0.270	0.334	0.436	0.489
$B_m/T$	0.062	0.113	0.137	0.180	0.215	0.236	0.285	0.279	0.298	0.309
$\mu = \frac{B_m}{H_m} (H/m)$	1.051	1.345	1.343	1.333	1.194	1.068	0.944	0.788	0.683	0.632

由数据表 1 的数据, 可以做出  $U-H$ ,  $B-H$  的曲线图如下:



2) 当  $R_1 = 25\Omega$ ,  $U = 3.0V$  时, 特殊点  $B_r$ ,  $H_c$  的值 (数据表 2)

$U/V$	$H_c/(A/m)$	$B_r/T$
3.0	0.090	0.172

3) 当  $R_1 = 25\Omega$ ,  $U = 3.0V$  时, 实验数据点 (隔 5 取一个) 所对应的  $H$ ,  $B$  的值 (数据表 3)

No.	1	6	11	16	21	26
$H/(A/m)$	0.002	0.026	0.046	0.062	0.073	0.084
$B/T$	-0.169	-0.144	-0.116	-0.084	-0.051	-0.044
No.	31	36	41	46	51	56
$H/(A/m)$	0.096	0.107	0.123	0.139	0.161	0.192
$B/T$	0.024	0.064	0.102	0.148	0.180	0.215



# 天津大学物理实验报告

# 天津大学物理实验报告

附 页

信息学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘南 成绩

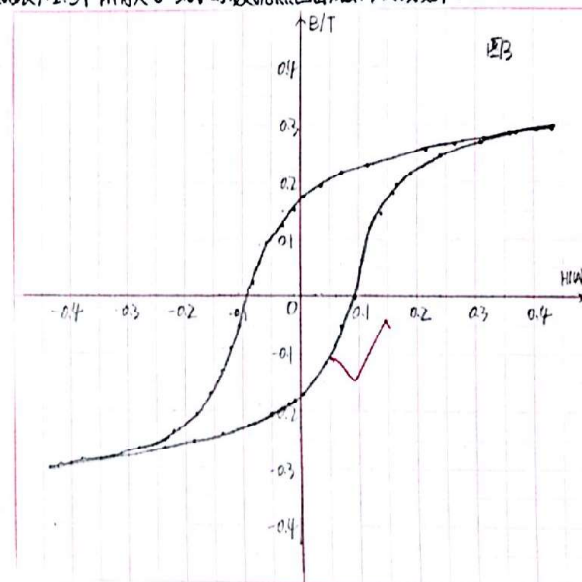
实验日期: 2015.5.6 学号 2013204372 同组实验者

实验题目: 铁磁材料的磁滞回线及基本磁化曲线

No.	61	66	71	76	81	86
H/(A/m)	0.241	0.309	0.369	0.443	0.494	0.493
B/T	0.245	0.270	0.286	0.285	0.298	0.297
No.	91	96	101	106	111	116
H/(A/m)	0.405	0.363	0.314	0.264	0.213	0.163
B/T	0.292	0.286	0.278	0.268	0.257	0.244
No.	121	126	131	136	141	146
H/(A/m)	0.116	0.072	0.036	0.005	-0.020	-0.042
B/T	0.230	0.214	0.195	0.175	0.151	0.126
No.	151	156	161	166	171	176
H/(A/m)	-0.058	-0.070	-0.081	-0.093	-0.105	-0.118
B/T	0.095	0.061	0.025	-0.012	-0.052	-0.091
No.	181	186	191	196	201	206
H/(A/m)	-0.134	-0.154	-0.179	-0.221	-0.282	-0.348
B/T	-0.129	-0.169	-0.204	-0.237	-0.265	-0.284
No.	211	216	221	226	231	236
H/(A/m)	-0.400	-0.432	-0.438	-0.421	-0.381	-0.335
B/T	-0.297	-0.301	-0.301	-0.298	-0.292	-0.285
No.	241	246	251	256	261	266
H/(A/m)	-0.285	-0.235	-0.184	-0.135	-0.091	-0.052

B/T	-0.276	-0.265	-0.253	-0.239	-0.224	-0.207
No.	271	272	273	274		
H/(A/m)	-0.020	-0.013	-0.007	-0.001		
B/T	-0.186	-0.182	-0.178	-0.174		

由数据表 1.2.3 中所有  $U=3.0V$  的数据点画出磁滞回线如下:





( ) 作业纸

系别 信息 班级 通四 姓名 刘杰 第3013204272 页

U/V	0.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
Hm/(A/m)	0.059	0.084	0.102	0.125	0.190	0.221	0.270	0.354	0.436	0.489
Bm/T	0.062	0.113	0.137	0.180	0.215	0.236	0.255	0.279	0.298	0.309

U/V	Hm/(A/m)				Bm/T		
3.0	0.090				0.172		
No.	1	6	11	16	21	26	31
Hm/(A/m)	0.002	0.026	0.046	0.062	0.073	0.084	0.096
Bm/T	-0.169	-0.144	-0.116	-0.084	-0.051	-0.014	0.024
No.	36	41	46	51	56	61	66
Hm/(A/m)	0.107	0.123	0.139	0.161	0.192	0.241	0.309
Bm/T	0.064	0.102	0.148	0.180	0.215	0.245	0.270
No.	71	76	81	86	91	96	101
Hm/(A/m)	0.369	0.413	0.434	0.433	0.405	0.363	0.314
Bm/T	0.286	0.295	0.298	0.297	0.292	0.286	0.28
No.	106	111	116	121	126	131	136
Hm/(A/m)	0.264	0.213	0.163	0.116	0.072	0.036	0.005
Bm/T	0.268	0.257	0.244	0.230	0.214	0.195	0.175
No.	141	146	151	156	161	166	171
Hm/(A/m)	-0.020	-0.042	-0.058	-0.070	-0.081	-0.093	-0.105
Bm/T	0.151	0.126	0.095	0.061	0.025	-0.012	-0.052
No.	176	181	186	191	196	201	206
Hm/(A/m)	-0.118	-0.134	-0.154	-0.179	-0.221	-0.282	-0.348
Bm/T	-0.091	-0.129	-0.169	-0.204	-0.237	-0.265	-0.284



( ) 作业纸

系别 信息 班级 通四 姓名 刘杰 第 3013104210 页

No.	211	216	221	226	231	236	241
Hm(A/m)	-0.400	-0.432	-0.438	-0.421	-0.381	-0.335	-0.285
Bm/T	-0.297	-0.301	-0.301	-0.298	-0.292	-0.285	-0.276
No.	246	251	256	261	266	271	272
Hm(A/m)	-0.235	-0.184	-0.135	-0.091	-0.052	-0.020	-0.013
Bm/T	-0.265	-0.253	-0.239	-0.224	-0.207	-0.186	-0.182
No.	273	274					
Hm(A/m)	-0.007	-0.001					
Bm/T	-0.178	-0.174					