

《基础物理实验》实验报告

实验名称 观测铁磁材料的磁滞回线 指导教师 朱中柱
姓 名 陈苏 学号 2022K8009906009 分班分组及座号 1-03-5 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2023 年 12 月 4 日 实验地点 教学楼 713 调课/补课 ☐ 是 成绩评定

实验目的

略. 详见附录预习报告.

实验仪器

略. 详见附录预习报告.

实验原理

略. 详见附录预习报告.

实验步骤与实验数据

第一部分

1. 观测样品 1 (铁氧体) 的饱和动态磁滞回线

(1) 观测样品 1 的饱和磁滞回线

取电路参数 $R_1 = 2.0\Omega$, $R_2 = 50k\Omega$, $C = 10.0\mu F$, 励磁电流频率 $f = 100Hz$. 线圈 1 和线圈 2 的匝数为 $N_1 = 150$, $N_2 = 150$, 材料截面积为 $S = 1.24 \times 10^{-4}m^2$, 磁路长度为 $l = 0.13m$. 按照电路图连接回路 1 (交流励磁电流) 和回路 2 (交流磁场测量). 将 R_1 两端接入示波器 CH1 输入端, 记其幅值为 u_1 ; 将 C 两端接入示波器 CH2 输入端, 记其幅值为 u_C . 则样品中的磁场强度 H 和磁感应强度 B 分别为

$$H = \frac{N_1}{lR_1} u_1,$$
$$B = \frac{R_2 C}{N_2 S} u_C.$$

将示波器的时基改为 X-Y 模式, 调节励磁电流的大小和示波器, 使得示波器上显示一个关于原点对称的典型磁滞回线图形. 用示波器的 Cursor 测量 u_1 和 u_C , 计算对应的 H 和 B . 测量点还要包括饱和磁感应强度 B_s 和对应的磁场强度 H_s , 矫顽力 H_c 和剩磁强度 B_r .

表 1 样品 1 的饱和磁滞回线测量表

序号	u_1/mV	u_C/mV	$H/(A \cdot m^{-1})$	B/T
1 (B_s, H_s)	-150.0	-14.2	-86.54	-0.382
2 (H_c)	-14.0	0.0	-8.08	0.000
3 (H_c)	-14.0	-7.40	-8.08	-0.199
4 (B_r)	0.0	3.40	0.00	0.091
5 (B_r)	0.0	-3.80	0.00	-0.102
6 (H_c)	14.0	7.80	8.08	0.210
7 (H_c)	14.0	0.0	8.08	0.000
8 (B_s, H_s)	140.0	14.8	80.77	0.398
B_r		3.60		0.097
H_c	14.0		8.08	

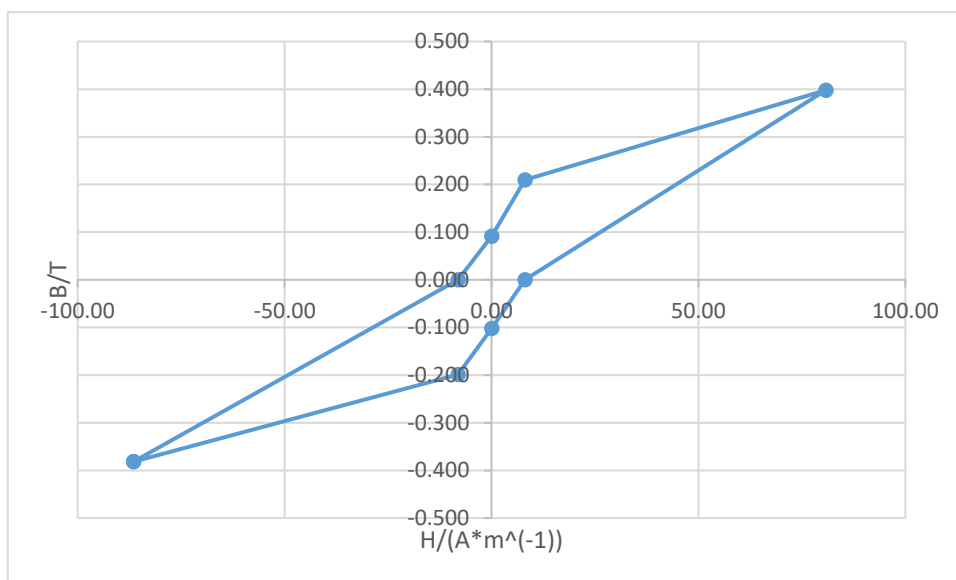


图 1 样品 1 的饱和磁滞回线示意图

测得 $B_r = 3.87 \times 10^{-6} \text{T}$, $H_c = 3.23 \times 10^{-4} \text{A/m}$.

(2) 观测样品 1 饱和磁滞回线形状随频率的变化规律

保持信号源的输出幅值不变, 改变频率 f , 重新测量 H_c 和 B_r .

表 2 不同频率下的饱和磁滞回线测量表

f/Hz	95	150
u_1/mV	12.8	13.2
$H_c/(\text{A} \cdot \text{m}^{-1})$	7.38	7.62
u_c/mV	4.20	4.20
B_r/T	0.113	0.113

由于在测量 u_c 时假设了积分常数满足 $R_2 C \gg 1/f$, 由表 2 中数据和测量结果可知, 当频率升高时, 磁滞回线会更细锐, 测量更准确.

(3) 观测样品 1 饱和磁滞回线李萨如图形随积分常数的变化规律

改取 $f = 50 \text{Hz}$, 保持幅值 $u_1 = 200 \text{mV}$, 改变积分常数 $R_2 C$, 并观察此时 $u_1 - u_c$ 李萨如图形的形状.

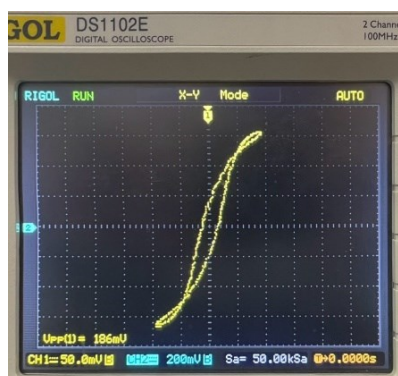


图 2-1 积分常数为 0.01s 时的李萨如图形

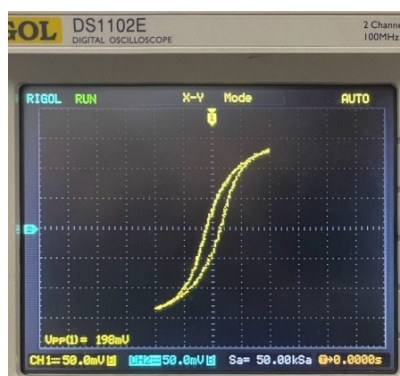


图 2-2 积分常数为 0.05s 时的李萨如图形



图 2-3 积分常数为 0.1s 时的李萨如图形

由于在测量 u_C 时假设了积分常数满足 $R_2C \gg 1/f$. 因此当积分常数减小, RC 的交流效应产生振荡, u_C 的测量值随之波动. 图 2-1 清晰地表现了 u_C 的值在未饱和磁化之前就出现了最大值.

2. 测量样品 1 (铁氧体) 的动态磁滞回线

取电路参数 $R_1 = 2.0\Omega$, $R_2 = 50k\Omega$, $C = 10.0\mu F$, 励磁电流频率 $f = 100Hz$. 先将励磁电流调节到最小, 然后逐渐增大直到样品达到饱和磁化. 测量 u_1 和 u_C , 即对应于磁滞回线顶端处的 H_m 和 B_m . 计算对应的振幅磁导率 $\mu_m = B_m/(\mu_0 H_m)$, 并绘制 B_m-H_m 和 μ_m-H_m 的关系图.

表 3 样品 1 的动态磁化曲线测量表

序号	u_1/mV	u_C/mV	$H_m/(A \cdot m^{-1})$	B_m/T	μ_m
1	7.0	2.40	4.04	0.0645	1.27E+04
2	13.7	2.68	7.90	0.0720	7.25E+03
3	17.8	3.76	10.3	0.101	7.83E+03
4	23.0	5.50	13.3	0.148	8.87E+03
5	30.6	6.70	17.7	0.180	8.12E+03
6	36.8	7.80	21.2	0.210	7.86E+03
7	44.4	9.60	25.6	0.258	8.02E+03
8	53	10.8	30.6	0.290	7.56E+03
9	57	10.9	32.9	0.293	7.09E+03
10	61	11.7	35.2	0.315	7.11E+03
11	67	11.9	38.7	0.320	6.59E+03
12	72	12.5	41.5	0.336	6.44E+03
13	76	12.7	43.8	0.341	6.20E+03
14	82	13.0	47.3	0.349	5.88E+03
15	88	13.4	50.8	0.360	5.65E+03
16	100	13.7	57.7	0.368	5.08E+03
17	108	14.4	62.3	0.387	4.94E+03
18	120	14.5	69.2	0.390	4.48E+03
19	128	14.5	73.8	0.390	4.20E+03
20	158	15.0	91.2	0.403	3.52E+03

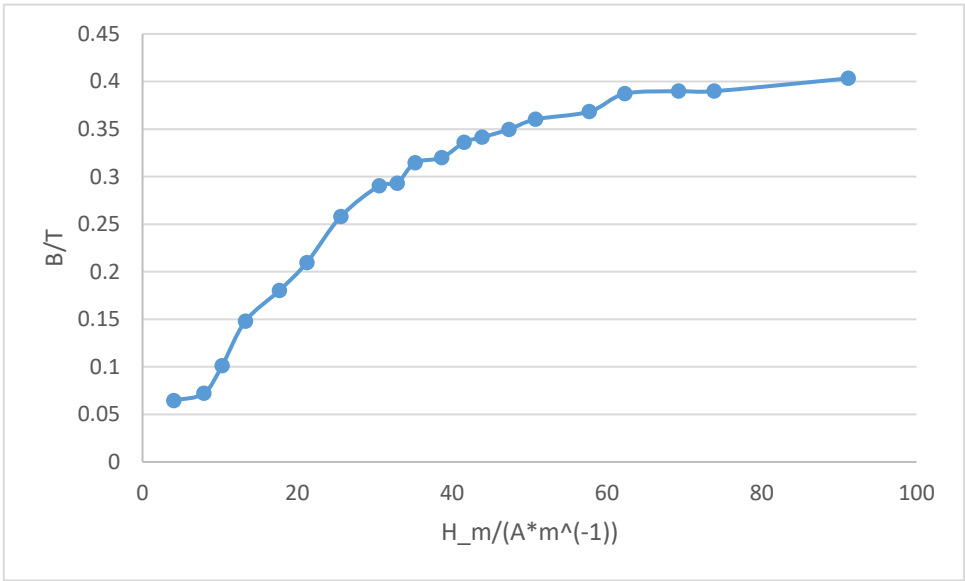


图 3-1 样品 1 的动态磁化曲线图

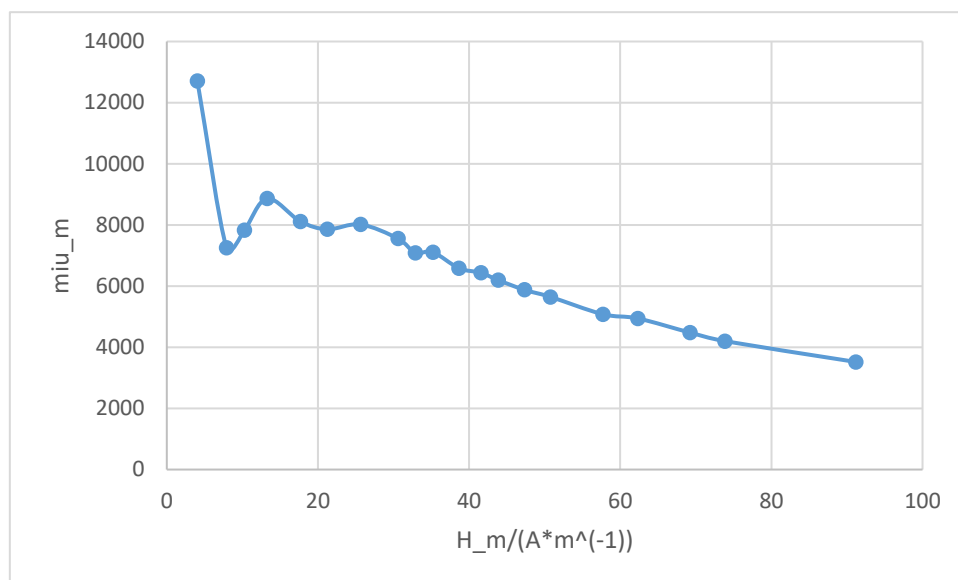


图 3-2 样品 1 的 μ_m - H 曲线图

由于在交流磁化时样品的磁化强度不稳定，磁场的测量误差较大，导致图 3-1 中动态磁化曲线在在 $H = 0$ 附近的趋势不明显。可以从图 3-2 中推测出样品的起始磁导率 μ_i 约在 8000-12000 范围内；随 H 增加， μ_i 先增大后减小。

3. 测量样品 2 (硅钢) 的动态磁滞回线

取电路参数 $R_1 = 2.0\Omega$, $R_2 = 50k\Omega$, $C = 10.0\mu F$, 将电路连接到样品 2 上。材料截面积为 $S = 1.20 \times 10^{-4}m^2$, 磁路长度为 $l = 0.075m$ 。固定 $H_m = 400A/m$, 改变励磁电流频率 f , 测量 B_m , B_r 和 H_c 。

表 4 样品 2 在不同频率下的磁滞回线测量表

f/Hz	20	40	60
u_C/mV	24.2	24.0	24.0
B_m/T	0.672	0.667	0.667
u_C/mV	16.4	17.0	17.4
B_r/T	0.456	0.472	0.483
u_1/mV	88	102	113
$H_c/(A \cdot m^{-1})$	88	102	113

由于硅钢片中的涡流影响，在 f 升高时，测量的误差可能增大。表 4 中显示了 H_c 与 f 是正相关的，这也表明涡流消耗的能量与 f 是正相关的。

4. 测量样品 1 (铁氧体) 在有直流偏置磁场下的可逆磁导率

连接回路 3 (直流偏置磁场)，取电路参数 $R_1 = 2.0\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $C = 10.0\mu F$, 将电路连接到样品 1 上，励磁电流频率 $f = 100Hz$ 。逐渐增加直流励磁电流 i , 直流偏置磁场强度即为

$$H = \frac{N_1}{l} i,$$

再输入一个小的交流励磁电流。此时示波器上出现一小段磁化曲线。测量其上某一点的 u_1 和 u_C , 就得到对应的 H_1 和 B_1 , 从而计算可逆磁导率 $\mu_i = B_1/(\mu_0 H_1)$, 并绘制 μ_i - H 的关系图。

表 5 样品 1 的可逆磁导率测量表

序号	i/A	u_1/mV	u_C/mV	$H/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$	$H_1/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$	B_1/T	μ_i
1	0.010	9.7	10.0	12	5.6	0.1075	1.5E+04
2	0.020	8.9	7.6	23	5.1	0.0817	1.3E+04
3	0.030	8.6	4.5	35	5.0	0.0484	7.8E+03
4	0.040	8.3	3.2	46	4.8	0.0344	5.7E+03
5	0.050	8.0	2.24	58	4.6	0.0241	4.2E+03
6	0.060	8.1	1.64	69	4.7	0.0176	3.0E+03
7	0.070	7.9	1.24	81	4.6	0.0133	2.3E+03
8	0.080	9.8	1.12	92	5.7	0.0120	1.7E+03
9	0.090	9.5	1.00	104	5.5	0.0108	1.6E+03
10	0.100	9.5	0.80	115	5.5	0.0086	1.2E+03

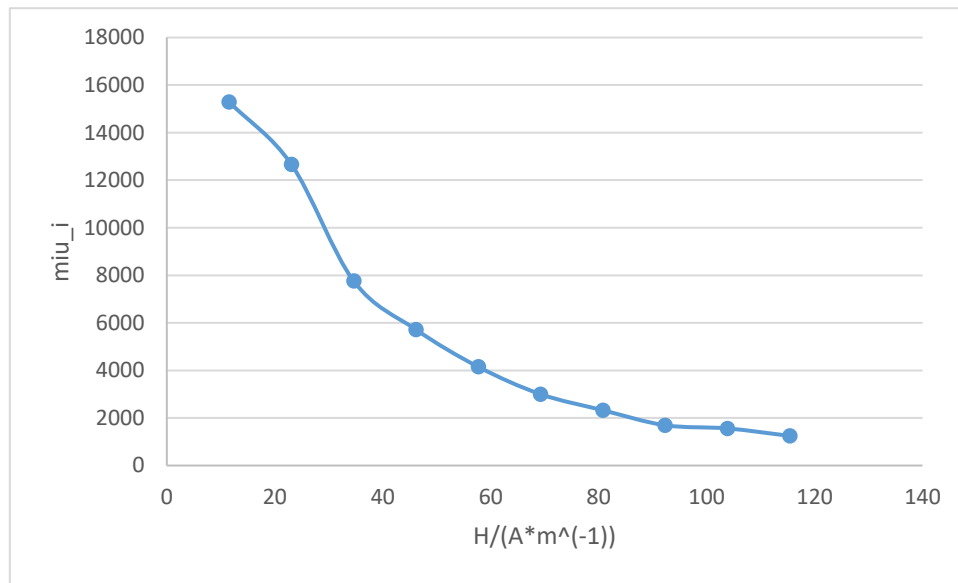


图 4 样品 1 的 μ_i - H 曲线图

由图 4 可以看出 μ_i 随 H 增加而逐渐减小，这与磁滞回线的图形大致相符。

第二部分

5. 测量样品的起始磁化曲线

- (1) 连接电路。将霍尔传感器放在铁芯空隙中，观察特斯拉计的示数，微调霍尔传感器使其位于磁场均匀区域的中央。
- (2) 样品退磁。将励磁电流增加至最大值，然后逐渐减小到零。此时将电流反向，重新将励磁电流增加至稍小一些的值，再逐渐减小到零。如此往复调节，直到当励磁电流为零时剩磁强度 B_r 小于 5mT 为止。
- (3) 重新从零开始逐渐增加励磁电流，记录对应的感应强度 B 。样品匝数 $N = 2000$ ，铁芯磁路长度为 $l = 0.24\text{m}$ ，气隙的宽度为 $l' = 0.0020\text{m}$ 。对应的磁场强度 H 即为

$$H = \frac{N}{l}I.$$

若考虑气隙对磁场的影响，得磁场强度的修正值为

$$H = \frac{NI - \frac{Bl'}{\mu_0}}{l}.$$

表 6 样品的起始磁化曲线测量表

序号	I/mA	B/mT	$H/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$	修正值 $H/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$
0 (剩磁强度 B_r)	0.0	5.9	0	-39
1	30.0	17.9	250	131
2	60.0	29.9	500	302
3	90.0	42.6	750	468
4	120.0	56.2	1000	627
5	150.0	72.1	1250	772
6	180.0	90.5	1500	900
7	210.0	110.9	1750	1015
8	240.0	130.8	2000	1133
9	270.0	153.0	2250	1235
10	300.0	172.9	2500	1353
11	330.0	193.3	2750	1468
12	360.0	214.6	3000	1577
13	390.0	234.1	3250	1698
14	420.0	255.4	3500	1806
15	450.0	274.7	3750	1928
16	480.0	292.9	4000	2058
17	510.0	312.0	4250	2181
18	540.0	328.8	4500	2320
19	570.0	345.0	4750	2462
20	600.0	359.3	5000	2617

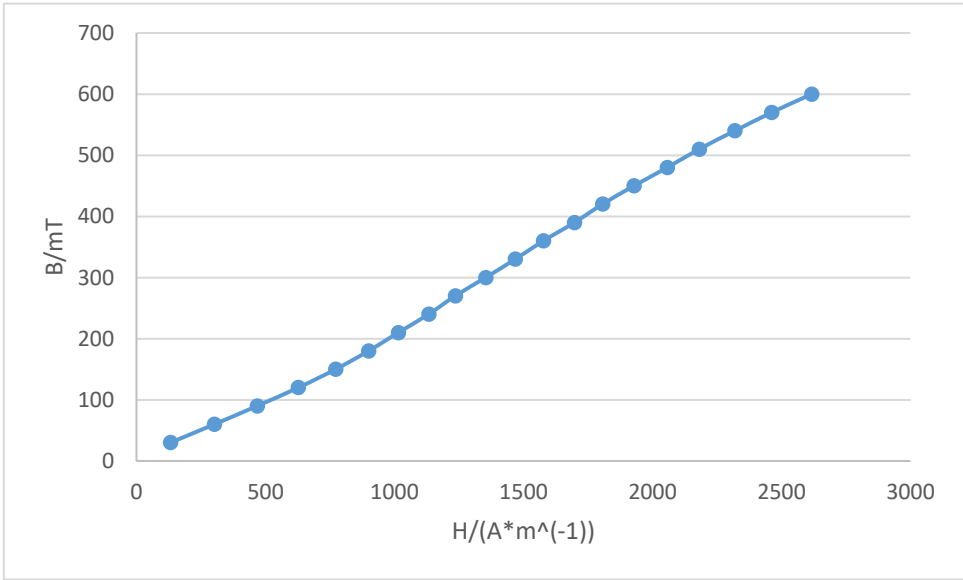


图 5 样品的起始磁化曲线图

由图 5 可以看出 B 和 H 是正相关的，这与磁化曲线的图像相符。

6. 测量样品的磁滞回线

- (1) 磁锻炼，使得样品的磁滞回线稳定下来。固定励磁电流为 600.0mA，改变电流方向若干次。拉动开关时速度可以慢一些，来让电流的变化更平缓。
- (2) 将励磁电流逐渐减小到零，然后改变电流方向再次增加到 600.0mA。再逐渐减小到零，重新增加到

600.0mA. 测量对应的磁感应强度, 并计算 H 的修正值.

表 7 样品的磁滞回线测量表

序号	I/mA	B/mT	$H/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$	修正值 $H/(\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$
1	600.0	372.1	5000	2532
2	550.0	364.9	4583	2164
3	500.0	356.7	4167	1801
4	450.0	347.0	3750	1449
5	400.0	334.8	3333	1113
6	350.0	320.2	2917	793
7	300.0	301.3	2500	502
8	250.0	277.5	2083	243
9	200.0	248.6	1667	18
10	150.0	216.5	1250	-186
11	100.0	180.8	833	-366
12	50.0	144.5	417	-542
13	0.0	106.3	0	-705
14	-50.0	67.0	-417	-861
15	-100.0	23.8	-833	-991
16	-150.0	-14.1	-1250	-1156
17	-200.0	-54.7	-1667	-1304
18	-250.0	-92.9	-2083	-1467
19	-300.0	-130.3	-2500	-1636
20	-350.0	-168.9	-2917	-1797
21	-400.0	-203.6	-3333	-1983
22	-450.0	-237.0	-3750	-2178
23	-500.0	-269.2	-4167	-2381
24	-550.0	-299.5	-4583	-2597
25	-600.0	-324.9	-5000	-2845
26	-550.0	-318.3	-4583	-2473
27	-500.0	-310.5	-4167	-2108
28	-450.0	-301.4	-3750	-1751
29	-400.0	-289.5	-3333	-1414
30	-350.0	-275.5	-2917	-1090
31	-300.0	-258.1	-2500	-788
32	-250.0	-236.0	-2083	-518
33	-200.0	-208.5	-1667	-284
34	-150.0	-176.7	-1250	-78
35	-100.0	-142.6	-833	112
36	-50.0	-105.3	-417	282
37	0.0	-68.1	0	452
38	50.0	-28.9	417	608
39	100.0	11.2	833	759
40	150.0	51.2	1250	910
41	200.0	93.9	1667	1044

42	250.0	134.0	2083	1195
43	300.0	167.5	2500	1389
44	350.0	205.0	2917	1557
45	400.0	240.5	3333	1738
46	450.0	275.0	3750	1926
47	500.0	306.0	4167	2137
48	550.0	344.7	4583	2297
49	600.0	361.3	5000	2604

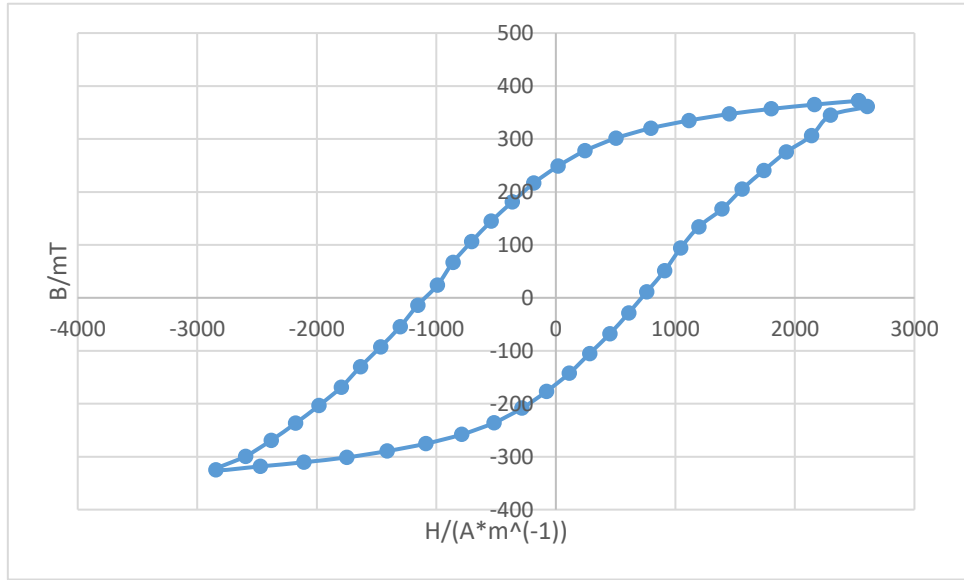


图 6 样品的磁滞回线曲线图

由图 6 可以得到典型的磁滞回线图像。

实验结论

在本次实验中，我了解了铁磁材料的磁化特性和相关物理量的概念，熟悉示波器的操作和线圈的接法。同时，锻炼了数据处理和计算机绘图的能力。

图 1 的磁滞回线由于时间紧凑，没有测量足够多的数据，图像不够饱满。

图 3-1 和图 3-2 在 H 较小时图形波动很大。此时交流信号的幅值和直流信号相当，加上仪器精度和交流信号的偏差，波形测量误差较大。

表 4 中的 H_c 的大小受频率的影响很大，可能是由于涡流损耗随之增加。在第二部分的实验中同样存在磁滞损耗，使得样品 H 测量值偏大。

表 7 和图 6 的测出样品的磁滞回线不是相对原点对称的，而是存在 $\Delta H = 100\text{A/m}$, $\Delta B = 10\text{mT}$ 的偏移。由于励磁电流是手工调节，竖直方向 B 的误差可能是测量时电流调节不稳定产生的随机误差；也可能是初始时材料磁滞回线未完全达到稳定产生的；水平方向的误差产生的原因可能与竖直方向相同，也可能是仪器零点的偏移误差。

第二部分的实验是我和同组同学张译允 (1-03-4) 一起完成的，实验数据共享。特别感谢他对我帮助。

思考题

1. 铁磁材料的动态磁滞回线与(准)静态磁滞回线在概念上有什么区别? 铁磁材料动态磁滞回线的形状和面积受那些因素影响?

动态磁滞回线对应的励磁电流是交流的, 而静态磁滞回线的是直流的. 虽然二者都是绘制出来的 $B-H$ 曲线, 但是动态磁滞回线可以通过调整示波器的扫描频率来显示整个周期, 因此能看到完整的磁滞回线. 由于交流信号没有直流稳定, 而且电路中的容性和感性元件容易影响测量, 通过不断改变直流励磁电流来测量磁场的方法绘制的静态磁滞回线会更精确.

2. 什么叫做基本磁化曲线? 它和起始磁化曲线间有何区别?

基本磁化曲线就是已经周期性磁化的材料, 其磁滞回线顶点(H_m, B_m)的关系曲线. 而起始磁化曲线是将初始未磁化的材料加外磁场强度 H 时, 对应磁感应强度 B 的变化曲线. 由于铁磁材料有剩磁, 他们的区别在于测量时材料的状态是否已经磁化, 因此在接近饱和磁化的区域差别很小.

3. 铁氧体和硅钢材料的动态磁化特性各有什么特点?

实验中的锰锌铁氧体是和硅钢都是软磁材料, 磁滞回线狭窄, 磁导率高, 剩磁强度低. 对比之下, 本实验中的硅钢样品的磁化率约为 1500, 矫顽力为100A/m, 而铁氧体样品的磁化率约为 3500, 矫顽力为80A/m; 二者的磁滞回线都是典型的两段对称曲线. 因而直接看出铁氧体的磁特性要好于硅钢. 可以发现, 硅钢的涡流损耗严重影响了在磁化强度较小时的测量. 实际上, 硅钢的磁导率较大, 矫顽力较小, 而铁氧体涡流损耗小.

4. 动态磁滞回线测量实验中, 电路参量应怎样设置才能保证 u_1-u_c 所形成的李萨如图形正确反映材料动态磁滞回线的形状?

李萨如图的形状依赖于交流信号的幅度和测量电路的时间常数 R_2C . 测量时应使得 R_2C 远大于交流信号的周期, 此时电容上积累的电荷才可以忽略, u_c 和 B 近似为线性关系. 否则, RC 的交流效应将产生振荡; 实验中, 图 2-1 就展示了 u_c 值这样的波动.

5. 准静态磁滞回线测量实验中, 为什么要对样品进行磁锻炼才能获得稳定的饱和磁滞回线?

磁锻炼是为了让材料处于一条稳定的磁滞回线上, 此时的测量数据才更稳定.

附录1 预习报告

基础物理实验 预习报告

实验名称: 观察铁磁材料的磁滞回线

姓名: 陈苏 学号: 2022K8009906009 分组及组号: 1-03-5.

实验时间: 2023年12月4日 实验地点: 教学楼713.

实验目的

1. 学习用示波器观察动态的磁滞回线;
2. 学习用霍尔片测量静态磁滞回线中的磁场;
3. 了解有关磁性的基本概念和不同材料的磁化特性.

实验仪器

1. DH4516 综合实验仪(含信号源及样品);
2. 示波器; 3. 直流电源, 数字万用表, 电感.

实验原理

1. 磁滞回线的形成.

对于非铁磁材料来讲, 其磁化规律为

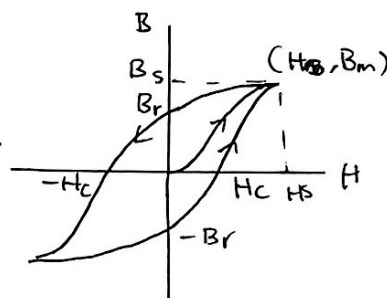
$$M = \chi H, \quad B = \mu_0(H + M) = \mu_r \mu_0 H,$$

χ 称为磁化率, μ_r 称为相对磁导率

对于铁磁材料, 其磁化强度与其历史有关. 在从 $M=H=0$ 处逐渐增大外磁场, 会发现:

- ① 当 B 较小时, 近似为线性关系 $B = \mu_r \mu_0 H$. 称为可逆磁化.
- ② 当 B 较大时, 如果减小 H , B 不会按照原曲线返回. 称为不可逆磁化.
- ③ B 有最大值, 此时达到饱和磁化 M 不再变化. B 在图形上的变化可以忽略.

由不可逆磁化的规律可以绘出材料的磁滞回线. 周期性改变 H , 发现当 $B=0$ 时, H 不为零, 此时的 H_c 称为矫顽力. 当 B 达到最大值, M 达到饱和, 此时的 H_s 称为正向(反向)饱和值. 磁滞损耗即磁滞回线围住的面积, 对应循环一周的能量损失.

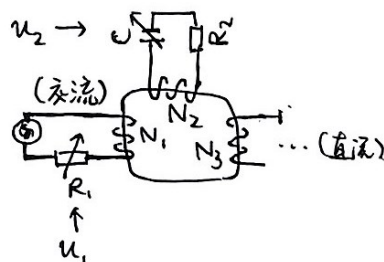


2. 动态磁滞回线

向材料中通入励磁电流 i , 则交流磁场强度为

$$H = N_1 i / l \quad (l \text{ 是磁路长度})$$

$$\text{即} \quad H = \frac{N_1}{l R_1} u_1$$



在线圈2中的电路上, $u_c = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int i_2 dt$. 由法拉第定律, $u_2 = -N_2 S \frac{dB}{dt}$.

若电路的时间常数远大于励磁的周期, $i_2 \sim \frac{u_2}{R_2} = -\frac{N_2 S}{R_2} \frac{dB}{dt}$.

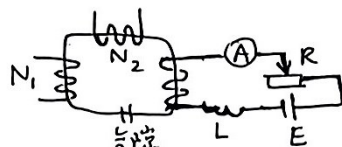
即有 $u_c = -\frac{N_2 S}{R_2 C} B$.

利用 u_1 和 u_c 可测出 $H \sim B$ 的关系, 计算和记录动态磁滞回线.

3. 静态磁滞回线.

向介质通入恒定的励磁电流, 则磁场强度 H 为

$$H = \frac{N_1}{l} \cdot i.$$



用霍尔传感器直接测量磁隙处磁感应强度 B' 即得 $H-B'$ 的关系, 也即 $H-B$ 的.

注: 由于是在气隙中的磁场, 它与真实磁场有细微差别. 设磁性材料中磁路长度为 l , 气隙的长度为 l' . 则由磁路定理有

$$Ni = Hl + H'l', \quad H' = \frac{B'}{\mu_0}, \quad H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r}, \quad B = B'$$

$$\text{即得 } H \text{ 的修正值 } H = \frac{Ni}{l + \frac{B'l'}{\mu_0}}.$$

0 实验内容.

1. 测量样品1的动态饱和磁滞回线

信号 $f = 100 \text{ Hz}$

① 取 $R_1 = 2.0 \Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 10.0 \mu\text{F}$. CH1 输入 u_1 , CH2 输入 u_c 示波器 (李萨如图形) 逐渐增大励磁电流, 观察饱和的磁滞回线, 测量 B_s, B_r, H_c 并绘图.

② 改变励磁电流的频率 $f = 75 \text{ Hz}, 150 \text{ Hz}$, 测量此时的 B_r, H_c 并观察李萨如图形的变化.

2. 测量样品1的动态磁滞回线.

① 取 $R_1 = 2.0 \Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 10.0 \mu\text{F}$, $f = 100 \text{ Hz}$. 测量 H 从 0 开始逐渐增加时的 H_m, B_m 并绘图, 计算此时的 $\mu_m = B_m / (\mu_0 H_m)$, 并绘制 $\mu_m - H_m$ 曲线.

3. 测量样品2的动态磁滞回线.

① 取 $R_1 = 2.0 \Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 10.0 \mu\text{F}$. 固定 $H_m = 400 \text{ A/m}$, 测量 $f = 20 \text{ Hz}, 40 \text{ Hz}, 60 \text{ Hz}$ 时的 B_m, B_r, H_c .

4. 测量样品1的可逆磁导率.

① 取 $f = 100 \text{ Hz}$, $R_1 = 2.0 \Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 10.0 \mu\text{F}$. 从 0 开始逐渐增加直流电流 I , 测量端点处的 B , 并计算可逆磁化率 $\mu_i = H / (\mu_0 B)$. 绘制曲线.

5 & 6. 测量样品1(2)的磁滞回线(静态)

① 用霍尔传感器测量气隙处磁场, 并绘制 $B-H$ 曲线.

② 由于气隙的磁阻, 采用 H 的修正值后再绘制 $B-H$ 曲线.

附录 2 实验数据

基础物理实验原始数据记录

实验名称 观测铁磁材料的磁滞回线 地点 教学楼 713
学生姓名 陈苏 学号 2022K8009906009 分班分组座号 1- 03- 5 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2023 年 12 月 4 日 成绩评定 教师签字

第一部分：用示波器观测动态磁滞回线

1. 观测样品 1 (铁氧体) 的饱和动态磁滞回线 (存储数据, 在实验报告上精确计算)
(1) 测量频率 $f=100\text{ Hz}$ 时的饱和磁滞回线。取 $R_1=2.0\text{ }\Omega$, $R_2=50\text{ k}\Omega$, $C=10.0\text{ }\mu\text{F}$ 。

表 1. 饱和磁滞回线 (竖直方向成对测量)

$\begin{matrix} B \\ H \end{matrix}$	点 1	点 2
$-(50.0\text{ mV (注: -Hs)})$	-14.2 mV	(注: -Bs)
-14.0 mV	0.0 mV	-7.40 mV
0.0 mV	3.40 mV	-3.80 mV
$+14.0\text{ mV}$	0.0 mV	$+7.80\text{ mV}$
$+140.0\text{ mV (注: Hs)}$	14.8 mV	(注: Bs)
Br	$+4.0\text{ mV}$	3.60 mV
Hc	3.60 mV	14.0 mV

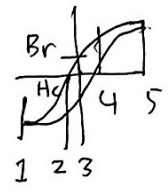


表 2. 饱和磁滞回线 (水平方向成对测量) $B = \frac{R_2 L}{N_1 S} u_c$ $H = \frac{N_1}{L R_1} u_i$

$\begin{matrix} H \\ B \end{matrix}$	点 1	点 2
(注: -Bs)		(注: -Hs)

(注:Bs)	(注:Hs)
Br	
Hc	

(2) 固定信号源幅度，观测并记录饱和磁滞回线随频率的变化规律。

变化规律：

为什么？(课后报告里回答)

保持 R_1 ， R_2C 不变，测量并比较 $f=95\text{ Hz}$ 和 150 Hz 时的 B_r 和 H_c 。

	95Hz	150Hz
Br	2.8mV 4.20mV	4.20mV.
Hc	4.20mV 12.8mV	13.2mV

(3) 在频率 $f=50\text{ Hz}$ 下，比较不同积分常量取值对李萨如图的影响。固定励磁电流幅度 $I_m=0.1\text{ A}$ ， $R_1=2.0\Omega$ ，改变积分常量 R_2C 。调节分别为 0.01 s 、 0.05 s 、 0.5 s ，课上观察并粗略画出不同积分常量下李萨如图形的示意图。思考为什么积分常量会影响李萨如图形的形状？积分常量是否会影响真实的磁滞回线的形状？(课后报告里回答)

2. 测量样品 1（铁氧体）的动态磁滞回线

(1) 在 $f=100\text{ Hz}$ 时，取 $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50\text{ k}\Omega$ ， $C=10.0\mu\text{F}$ 。测量 20 个顶点。课后绘制动态磁化曲线。计算振幅磁导率 μ_m ，并绘制其随 H_m 的变化曲线，进而确定起始磁导率。(注：要绘制两条曲线：动态磁化曲线和 μ_m-H_m 曲线，有同学会忘记绘制磁化曲线)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
H_m	7.0mV	18.7mV	17.8mV	23.0mV	30.6mV	36.8mV	44.4mV	53mV	61mV	72mV										
B_m	16.6mV	13.7mV	3.76mV	5.50mV	6.7mV	7.80mV	9.6mV	10.8mV	11.7mV	12.5mV										
H_m	82mV	88mV	100mV	108mV	120mV	128mV	158mV	57mV	67mV	76mV										
B_m	13.0mV	13.4mV	13.7mV	14.4mV	14.5mV	14.5mV	15.0mV	10.9mV	11.9mV	12.7mV										

注：关于 20 个点的分配，前面点可以适当分配多一些，密集些测量，后面可以少一些。

3. 观察不同频率下样品 2（硅钢）的动态磁滞回线

参数调至 $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50\text{ k}\Omega$ ， $C=10.0\mu\text{F}$ 。在给定交变磁场幅度 $H_m=400\text{ A/m}$ 下，测量三种频率下的 B_m ， B_r ， H_c

$$H = \frac{N}{lR_1} u_1 = 400 \Rightarrow u_1 = 0.4V.$$

	20Hz	40Hz	60Hz
B_m	24.2mV	24.0mV	24.0mV

B_r	16.4 mV	17.0 mV	17.4 mV
H_c	88 mV	102 mV	113 mV

4. 测量样品 1 (铁氧体) 在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率

取 $f=100\text{ Hz}$ 。电路参数设置为: $R_1=2.0\ \Omega$, $R_2=20\text{ k}\Omega$, $C=2.0\ \mu\text{F}$ 。直流偏置磁场从 0 到 H_s 单调增加 (一定缓慢增加)。测量 10 组回线小线段的斜率。课后把电流换算成磁场强度, 并绘制可逆磁导率随外场强度的变化曲线 μ_i-H 。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流	0.01 A	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
端点坐标 H1	9.7 15.0	8.9 mV 13.0	8.6 10.7	8.3 7.2	8.0	8.1	7.9	7.8 7.5	9.5	9.5
端点坐标 B1	2.04	1.78 7.6 mV	0.68 4.50	0.64 3.20	2.24	1.64	1.24	1.00 1.12	1.00	0.80
三象限端点 H3(备用)	10.0									
三象限端点 B3(备用)										

第二部分: 用霍尔传感器测量铁磁材料 (准) 静态磁滞回线

1、测量样品的起始磁化曲线。 $H_0: 415.9\text{ mT}$

将霍尔传感器置于磁场均匀区的中央。取 20 个采样点, 测量样品的起始磁化曲线。实验中记录 I 和 B , 课后通过计算, 在实验报告中补充 H 和修正 H 的数值, 并利用 B 和修正后的 H 绘图。其中利用讲义公式 (3) 来计算 H , 利用公式 (7) 来对 H 进行修正。

I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)	I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)
30.0	17.9			330.0	193.3		
60.0	29.9			360.0	214.6		
90.0	42.6			390.0	234.1		
120.0	56.2			420.0	255.4		
150.0	72.1			450.0	274.7		
180.0	90.5			480.0	292.9		
210.0	110.9			510.0	312.0		
240.0	130.8			540.0	328.8		
270.0	153.0			570.0	345.0		
300.0	172.9			600.0	359.3		

2、测量模具钢的磁滞回线

8张泽元 赵介敏

对样品进行磁训练后，磁化线圈的电流从饱和电流 I_m 开始逐步减小到 0，然后将电流反向，电流又从 0 增加到 $-I_m$ ，重复上述过程，再回到 I_m 。每隔 50mA 测一组 (I, B) 值。实验中记录 I 和 B ，课后通过计算，在实验报告中补充 H 和修正 H 的数值，并利用 B 和修正后的 H 绘图。 H 和修正 H 的计算方法同上。

I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)	I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)
600.0	372.1			-550.0	-318.3		
550.0	364.9			-500.0	-310.5		
500.0	356.7			-450.0	-301.4		
450.0	347.0			-400.0	-289.5		
400.0	334.8			-350.0	-275.5		
350.0	320.2			-300.0	-258.1		
300.0	301.3			-250.0	-236.0		
250.0	277.5			-200.0	-208.5		
200.0	248.6			-150.0	-176.7		
150.0	216.5			-100.0	-142.6		
100.0	180.8			-50.0	-105.3		
50.0	144.5			0.0	-68.1		
0.0	106.3			50.0	-28.9		
-50.0	67.0			100.0	11.2		
-100.0	23.8			150.0	51.2		
-150.0	-14.1			200.0	93.9		
-200.0	-54.7			250.0	134.0		
-250.0	-92.9			300.0	167.5		
-300.0	-130.3			350.0	205.0		
-350.0	-168.9			400.0	240.5		
-400.0	-203.6			450.0	275.0		
-450.0	-237.0			500.0	306.0		
-500.0	-269.2			550.0	344.7		
-550.0	-299.5			600.0	361.3		
-600.0	-324.9						