

《基础物理实验》实验报告

实验名称 观测磁滞回线 指导教师 高林青
姓 名 李佳熠 学号 2020K8009926028 分班分组及座号 1-10-5 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2021 年 11 月 8 日 实验地点 教学楼 713 调课/补课 ☐ 是 ☒ 否 成绩评定

1>利用示波器观测动态磁滞回线

1-1 实验目的

认识铁磁材料的磁化特性, 并利用示波器测量铁磁材料的动态磁滞回线

1-2 实验用具

磁特性综合测量实验仪 (包括所需电路组成构建与铁氧体、硅钢两种待测样品)、电线若干、示波器、直流电源等

1-3 实验原理

物体处在磁场中时会被磁化。若外磁场强度为 H , 磁感应强度为 B , 内部磁化强度为 M , 则磁化率 χ_m

与相对磁导率 μ_r 满足以下关系: $\chi_m = \frac{M}{H}$, $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$ 。 $\mu_r = 1 + \chi_m$ 。

对于铁磁材料, 其磁化特性有异于普通材料的特性。其磁化分 3 步:

①可逆磁化, 对应图 1 中 OA 曲线, 此范围内增大 H , B 也增大, 减小 H , B 也减小。

②不可逆磁化, 对应图中 AS 曲线, 此范围内增大 H , B 也增大, 但减小 H 时, B 不会沿原路返回, 而是回到原来的位置。

③饱和磁化, 对应 H 已经大于过了图 1 中 H_s 的情况, 增大 H , B 不增大, 会保持 B_s 不变。如若增大减小 H , B 与 H 将沿图 1 最外圈的曲线变化。此为饱和磁滞回线。

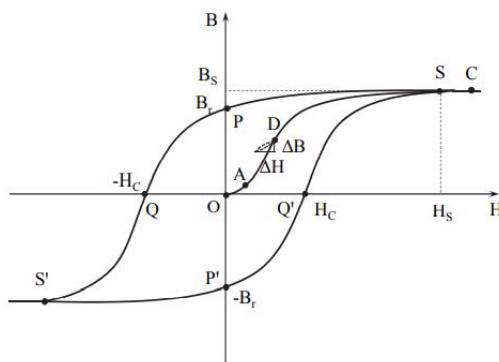


图 1 铁磁材料的起始磁化曲线和饱和磁滞回线示意图

磁滞回线的面积等于沿曲线转一圈所消耗的能量。动态磁滞回线形状与磁化场频率和幅度都有关, 将不同的动态磁滞回线的顶点与原点相连, 将得到铁磁材料的动态磁化曲线。对于动态磁化曲线上的点,

$\mu_m = \frac{B}{\mu_0 H}$ 为振幅磁导率。

当 H 比较小时, 图像退化为原点附近的一条小的斜线, 对应着可逆磁化阶段。起始磁导率

$\mu_i = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{\mu_0 H}$, 而可逆磁导率 $\mu_R = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\mu_0 \Delta H}$ 。

本实验电路图如图 2 所示，H、B 与电学物理量有如下关系： $H = \frac{N_1}{lR_1}u_{R_1}$ ， $B = \frac{R_2C}{N_2S}u_C$ 。N₁ 与 N₂ 分

别为图中对应线圈匝数，l 代表磁环的等效磁路长度，S 为磁芯的横截面积。

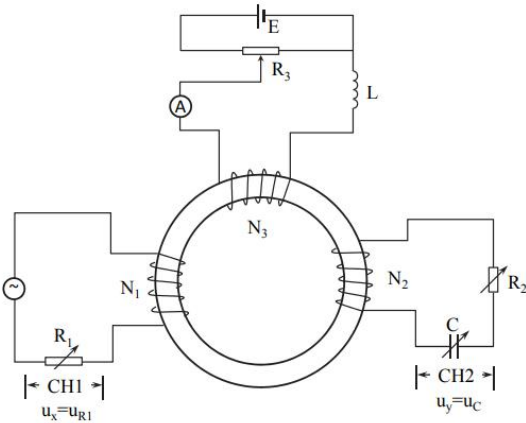


图 2 利用示波器测量动态磁滞回线的电路图

1-4 实验步骤

- 1-4-1 按照要求调节参数大小，连接电路并连通电源。
- 1-4-2 示波器调为 Y-T 模式，调节让两个输入信号都为稳定正弦波。
- 1-4-3 示波器调为 X-Y 模式，调节图像位置与大小，使呈现出饱和磁滞回线形状的图像
- 1-4-4 分别以水平方向成对、竖直方向按照要求成对测量并记录数据。
- 1-4-5 更改频率的值，记录 B_r 与 H_c 的值。
- 1-4-6 固定频率，按要求更改积分常量 R₂C 的值，并观察图形的形状。
- 1-4-7 改变 H，取不同情况下的 20 个图像顶点并记录，更换样品，再次测量。
- 1-4-8 连接直流电源，更改电流，将 H 从 0 开始缓慢增大至 H_s，并记录回线小线段端点坐标。

1-5 数据处理与分析

1-5-1 观测铁氧体的饱和动态磁滞回线

1-5-1-1 原始数据

表 1 观测铁氧体的动态饱和磁滞回线数据记录表（单位皆为 mV）

注：以下表格中，前两个均在 f=100Hz，R₁=2.0Ω，R₂=50kΩ，C=10.0μF 的条件下，第三个表格条件仅频率改变。

饱和磁滞回线（竖直方向成对测量）		
$\begin{matrix} B \\ H \end{matrix}$	点 1	点 2
-81.6 (注:-H _s)	-19.2 (注:-B _s)	
13.9	3.00	6.40
-40.0	-14.0	-12.0
-20.0	-10.2	-4.80
20.0	5.00	10.8
40.0	11.8	14.2
81.8 (注:H _s)	18.4 (注:B _s)	
Br	4.40	
Hc	8.80	

饱和磁滞回线（水平方向成对测量）

$\begin{matrix} H \\ B \end{matrix}$	点 1	点 2
-19.0 (注:-Bs)	-80.2 (注:-Hs)	
-5.00	2.63	21.8
5.00	-1.50	-21.4
-10.0	-14.7	-32.7
10.0	16.2	32.7
2.60	-4.51	16.2
19.2 (注:Bs)	88.0 (注:Hs)	
Br	4.40	
Hc	8.82	

不同频率下的 Br 与 Hc 记录

	95Hz	150Hz
Br	5.60	2.64
Hc	15.0	6.50

1-5-1-2 数据转换

利用关系式 $H = \frac{N_1}{lR_1}u_{R_1}$, $B = \frac{R_2C}{N_2S}u_C$ 进行转换，如下所示：

表 2 观测铁氧体的动态饱和磁滞回线转换后数据

H (A/m)	B (T)	H (A/m)	B (T)
8.01	0.0808	-46.2	-0.511
-23.0	-0.377	1.52	-0.134
-11.5	-0.274	-0.864	0.134
11.5	0.134	-8.47	-0.269
23.0	0.318	9.34	0.269
-47.0	-0.517	-2.60	0.0700
8.01	0.172	12.6	-0.134
-23.0	-0.323	-12.3	0.134
-11.5	-0.129	-18.8	-0.269
11.52	0.291	18.8	0.269
23.0	0.382	9.34	0.0700
47.1	0.495	50.7	0.517
0	0.118	0	0.118
5.07	0	5.08	0

不同频率下的 Br 与 Hc 记录

	95Hz	150Hz
Br (T)	0.151	0.0711
Hc (A/m)	8.67	3.76

1-5-1-3 作图处理

图 3 铁氧体在 f=100Hz，R1=2.0Ω，R2=50kΩ，C=10.0μF 条件下饱和磁滞回线的 B-H 图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

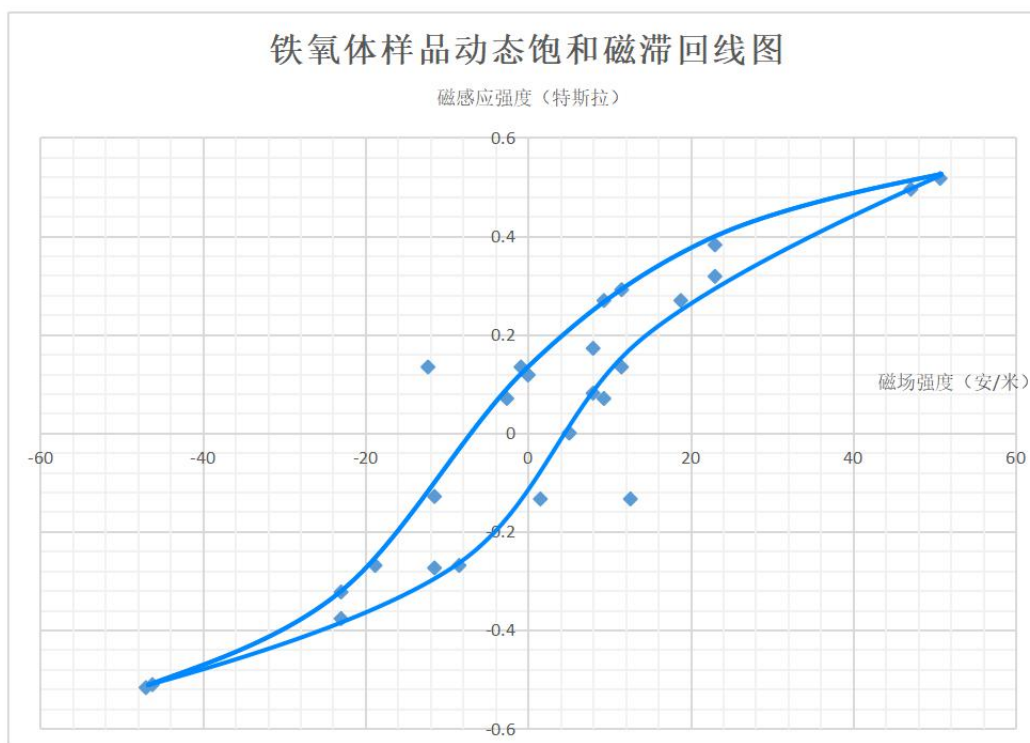
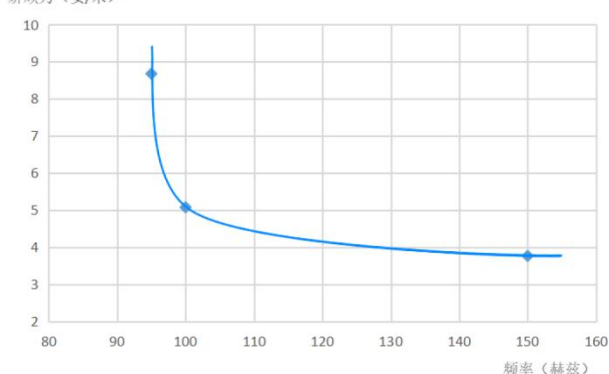
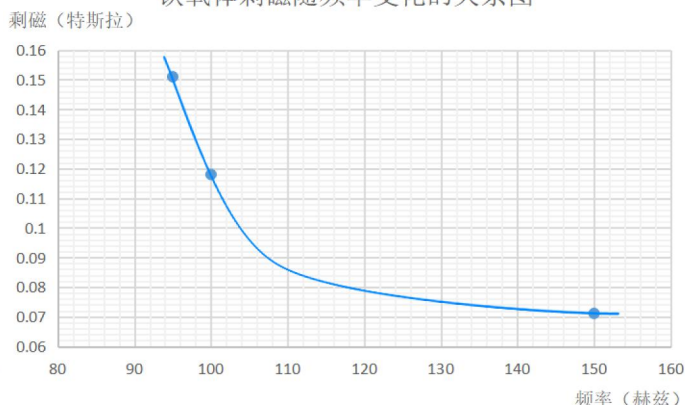


图 4~5 铁氧体饱和磁滞回线的矫顽力与剩磁随频率变化大致情况图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

铁氧体矫顽力随频率变化的关系图



铁氧体剩磁随频率变化的关系图



1-5-1-4 实验结论

铁氧体的饱和磁滞回线符合预期形状。根据实验数据绘制的图像可以看出，铁氧体 B_r 与 H_c 的均随信号源频率的增大而减小，其变化率的绝对值亦随信号源频率的增大而减小。

在 $f=50\text{Hz}$ ，励磁电流为 0.1A ， $R_1=2.0\Omega$ 的情况下，观察了积分常量 R_2C 分别为 0.01s 、 0.05s 、 0.5s 时的李萨如图形，观察结果见图 6~8。

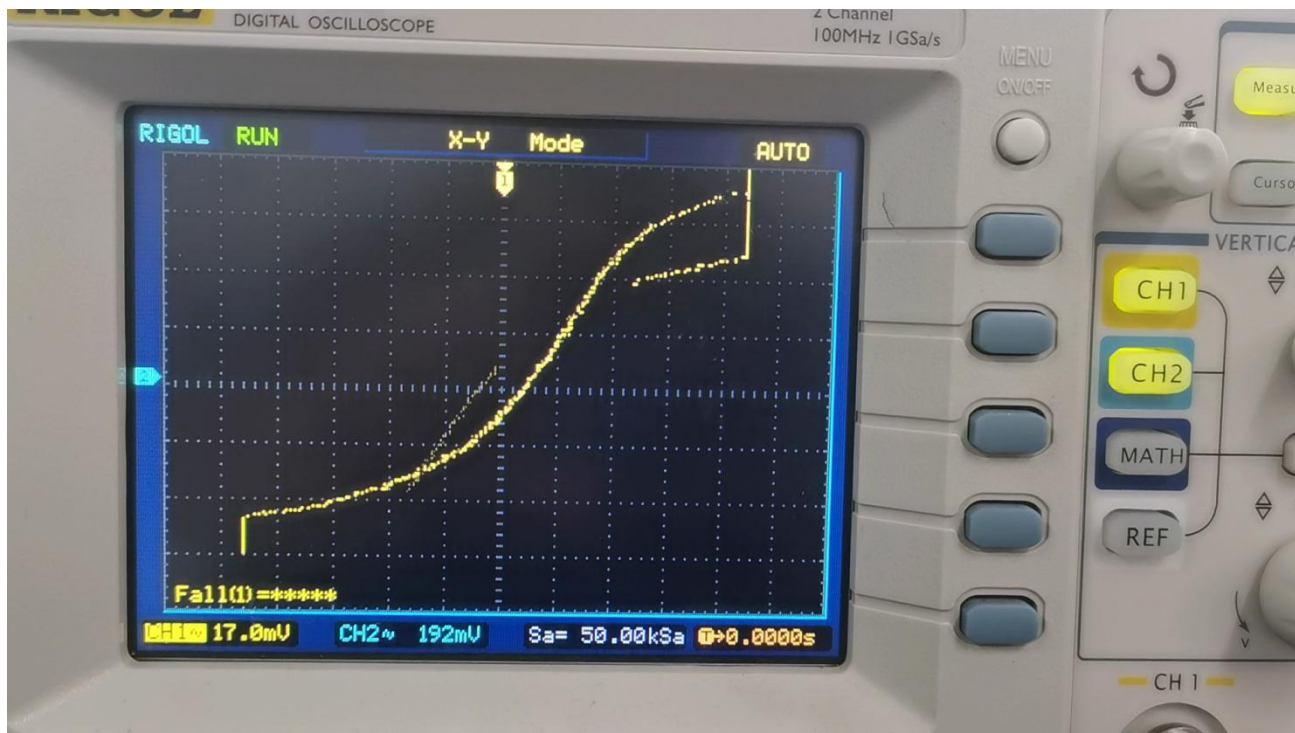
数据记录表中提问：为什么积分常量会影响李萨如图形的形状？积分常量是否会影响真实的磁滞回线

形状？前者是因为，本实验的原理是利用电压的值来反映 H 和 B 的值， $B = \frac{R_2 C}{N_2 S} u_c$ ，改变积分常量则会

使得 u_c 的值改变，两组信号中的一组改变，当然就导致其叠加情况改变，反映为李萨如图形的形状改变。后者则当然不会，因为真实的磁滞回线并不是示波器上显示的图形，而是 H - B 关系图， H 和 B 并不由积分常量决定，积分常量只是影响用来代表反应 B 大小的电压的一个物理量。

图 6~8 铁氧体在 $f=50\text{Hz}$ ，励磁电流为 0.1A ， $R_1=2.0\Omega$ 情况下，积分常量分别为 0.01s 、 0.05s 、 0.5s 时的李萨如图形（依次）





1-5-2 测量铁氧体的动态磁滞回线

1-5-2-1 原始数据

表 3 观测铁氧体的动态磁滞回线数据记录表（单位皆为 mV）

注：以下表格中的数据均在 $f=100\text{Hz}$ ， $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50\text{k}\Omega$ ， $C=10.0\mu\text{F}$ 的条件下测得。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_m	62.0	76.0	90.0	154	118	84.0	70.0	54.4	45.6	41.6
B_m	16.0	17.6	18.4	20.4	19.6	18.0	16.8	15.6	14.0	12.8
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
H_m	38.4	35.2	33.6	28.0	24.0	20.0	15.6	12.4	7.80	4.80
B_m	12.4	11.2	11.0	9.40	7.60	6.20	4.60	4.00	2.40	1.44

1-5-2-2 数据转换与处理

表 4 观测铁氧体的动态磁滞回线数据处理与磁导率计算结果表

H_m (A/m)	35.8	43.9	52	89	68.2	48.5	40.4	31.4	26.3	24
B_m (T)	0.431	0.474	0.495	0.549	0.528	0.484	0.452	0.42	0.377	0.344
μ_m (kH/m)	9.57	8.59	7.58	4.91	6.16	7.94	8.9	10.6	11.4	11.4
H_m (A/m)	22.2	20.3	19.4	16.2	13.9	11.6	9.01	7.16	4.51	2.77
B_m (T)	0.334	0.301	0.296	0.253	0.204	0.167	0.124	0.108	0.0646	0.0388
μ_m (kH/m)	12.0	11.8	12.1	12.4	11.7	11.5	10.9	12.0	11.4	11.1

1-5-2-3 作图处理

图 9 铁氧体在 $f=100\text{Hz}$ ， $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50\text{k}\Omega$ ， $C=10.0\mu\text{F}$ 的条件下的动态磁化曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

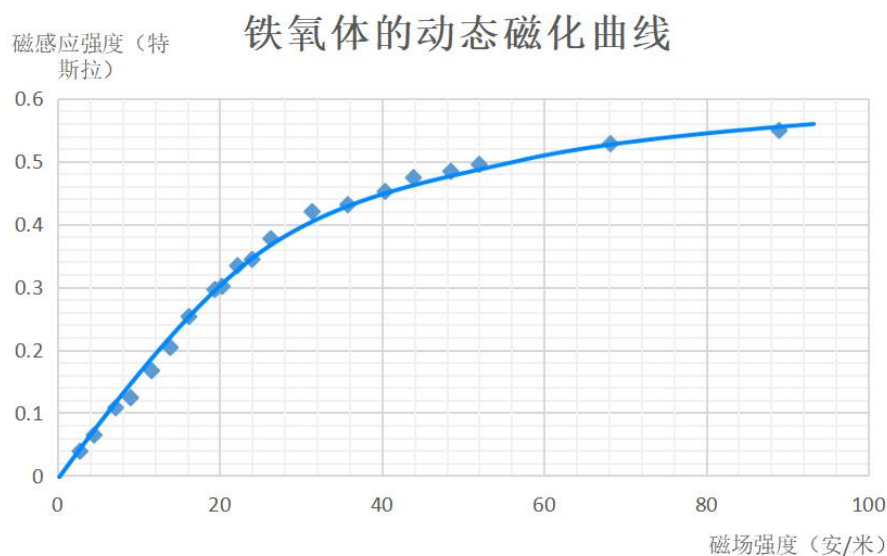
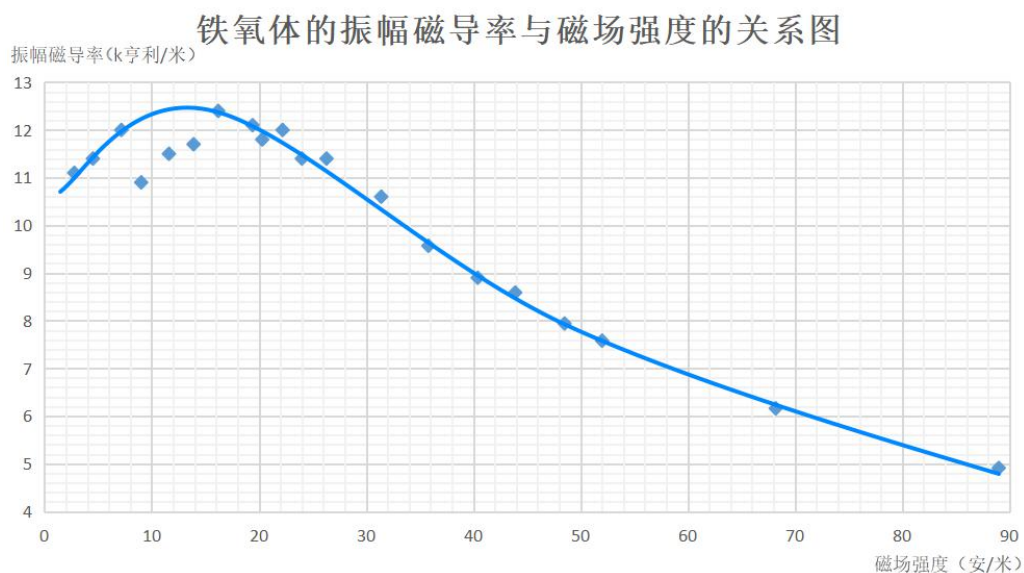


图 10 铁氧体在 $f=100\text{Hz}$, $R_1=2.0\Omega$, $R_2=50\text{k}\Omega$, $C=10.0\mu\text{F}$ 的条件下的 μ_m - H_m 曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）



1-5-2-4 实验结论

通过观察图像可知，在磁场强度大于一定值时，铁氧体的振幅磁导率随磁场强度的增大而减小，根据公式 $\mu_m = \frac{B}{\mu_0 H}$ ，结合动态磁化曲线观察可知，振幅磁导率随磁场强度的增大而减小。故本实验结果在磁场强度大于等于 16A/m 时与理论较为符合。根据图像，起始磁导率计算值约为 1.33kH/m。

1-5-3 观察不同频率下硅钢的动态磁滞回线

1-5-3-1 初始数据

表 5 观测硅钢的动态磁滞回线数据记录表（单位皆为 mV）

注：以下表格中的数据均在 $H_m=400\text{A/m}$, $R_1=2.0\Omega$, $R_2=50\text{k}\Omega$, $C=10.0\mu\text{F}$ 的条件下测得。

	20Hz	40Hz	60Hz
B_m	35.2	34.4	35.2
B_r	22.4	23.2	24.0
H_c	112	120	152

1-5-3-2 数据处理

表 6 观测硅钢的动态磁滞回线数据处理表

	20Hz	40Hz	60Hz
B_m (T)	0.948	0.926	0.948
B_r (T)	0.603	0.624	0.646
H_c (A/m)	64.7	69.3	87.8

1-5-3-3 作图处理

图 11 硅钢在 $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50k\Omega$ ， $C=10.0\mu F$ 的条件下的 H_c -f 大致曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

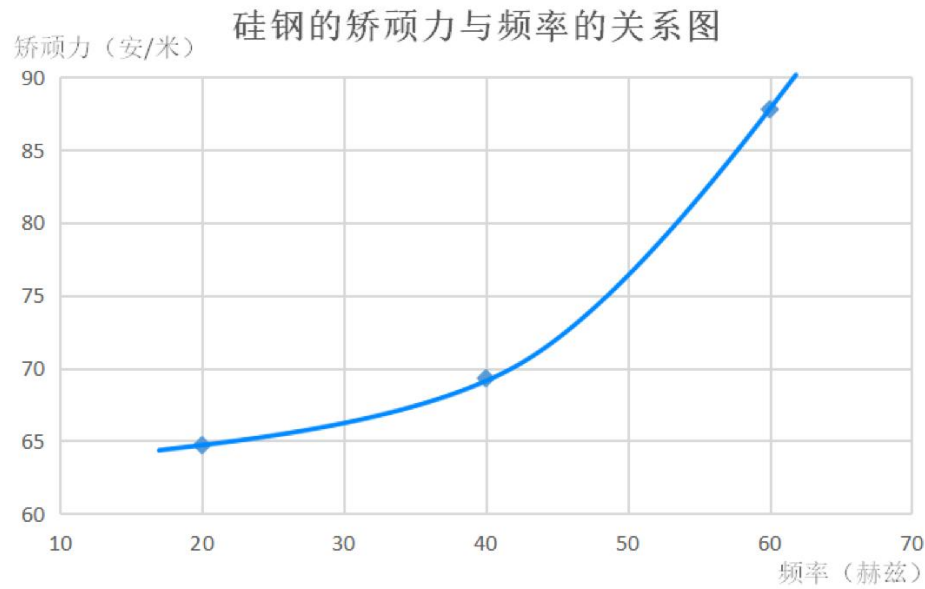


图 12 硅钢在 $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50k\Omega$ ， $C=10.0\mu F$ 的条件下的 B_m -f 大致曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

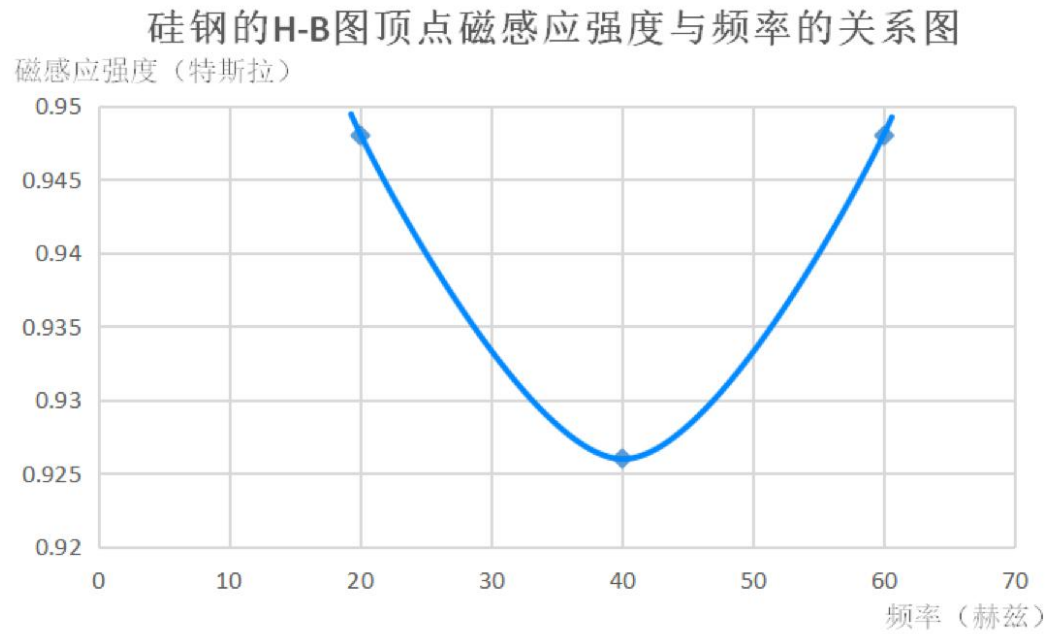
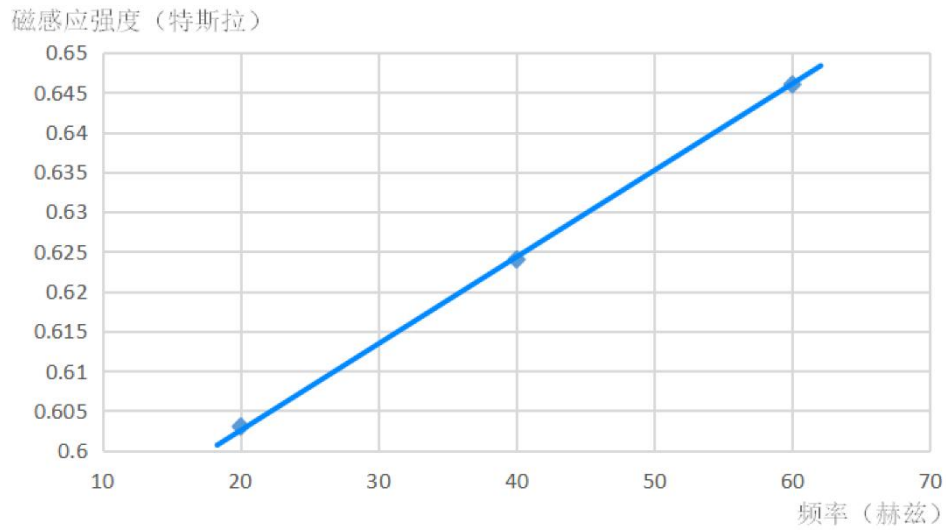


图 13 硅钢在 $R_1=2.0\Omega$ ， $R_2=50k\Omega$ ， $C=10.0\mu F$ 的条件下的 B_r -f 大致 f 曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

硅钢的剩磁与频率的关系图



1-5-3-4 实验结论

硅钢的磁滞回线随频率会发生变化。随着频率增大，H-B 图的横截距绝对值极其增长率都增大，纵截距绝对值线性减小，顶点纵坐标绝对值先减小后增大。

1-5-4 测量铁氧体在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率

实验条件：R₁=2.0Ω，R₂=50kΩ，C=10.0μF，下略。

1-5-4-1 原始数据

表 7 测量铁氧体在不同直流偏置磁场下的可逆磁导率数据记录表（H、B 对应数据单位皆为 mV）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流 (A)	0.60	0.90	1.20	1.80	2.20	2.80	3.40	4.00	4.50	5.00
端点坐标 H1	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	36.0	36.0	36.0	36.0
端点坐标 B1	80.0	78.0	84.0	88.0	92.0	98.0	108	112	116	116
三象限端点 H3(备用)	-30.0	-26.0	-28.0	-28.0	-28.0	-28.0	-34.0	-34.0	-34.0	-34.0
三象限端点 B3(备用)	-80.0	-76.0	-84.0	-88.0	-92.0	-96.0	-108	-112	-116	-116

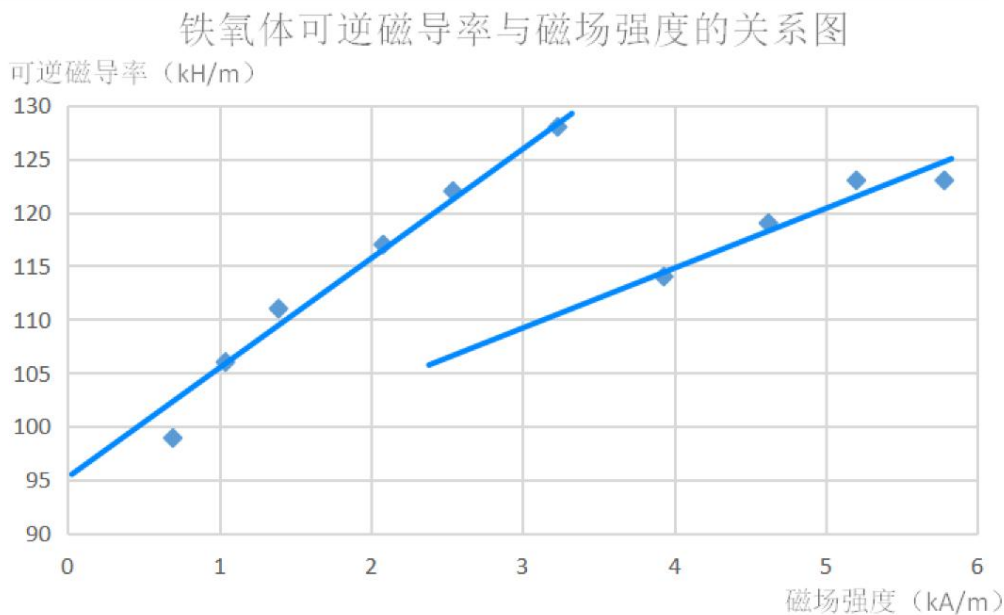
1-5-4-2 数据处理

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流 (A)	0.60	0.90	1.20	1.80	2.20	2.80	3.40	4.00	4.50	5.00
H (kA/m)	0.693	1.04	1.39	2.08	2.54	3.23	3.93	4.62	5.20	5.78
电压曲线第一象限斜率	2.67	2.78	3.00	3.14	3.28	3.50	3.00	3.11	3.22	3.22
电压曲线第三象限斜率	2.67	2.92	3.00	3.14	3.28	3.43	3.18	3.29	3.41	3.41
斜率平均值	2.67	2.85	3.00	3.14	3.28	3.46	3.09	3.20	3.32	3.32

真实 H-B 图斜率 (Tm/A)	0.124	0.133	0.140	0.146	0.153	0.162	0.144	0.149	0.155	0.155
可逆磁导率 (kH/m)	98.9	106	111	117	122	128	114	119	123	123

1-5-4-3 作图处理

图 14 铁氧体在 $R_1=2.0\Omega$, $R_2=50k\Omega$, $C=10.0\mu F$ 的条件下的 μ_i -H 关系图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）



1-5-4-4 实验结论

此实验数据显然出现问题。按照实验原理， μ_i 与 H 应当为负相关关系，而实验结果中，二者呈分段正相关关系，且有一定程度的线性关系。具体原因在 1-5-5 中分析。

1-5-5 误差分析

经过查询资料，铁氧体的磁导率与硅钢的磁导率在前三个实验中数量级均符合理论情况。

第一个实验中，磁滞回线边界上的点未能得到足够测量，由图像可知，在绘制图像的最边界处，并没有达到斜率非常接近 0。

第二个实验中，从图 10 可以看出， $H < 16A/m$ 时，实验值与理论值偏差较大。其原因可能是在磁场强度数值较小时，示波器图形较小，而图像的点偏离正确图线的程度（即图形线条粗细）不变，导致在观察顶点时会产生很大的误差。

第四个实验中，实验结果与理论完全不符，初步考虑原因是没有退磁而导致铁氧体还保持原来的磁化特性，重新进行的磁化过程对其产生的影响相对于其原有的磁性而言影响较小，也就是说，铁氧体几乎保

持着原来的磁化率。而新增的磁化率 $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$ ，故 H 与 B 呈现出线性正相关关系；而分段的原因应当是

在第六次测量后由于操作原因导致铁氧体部分退磁。

1-6 总结与思考

本实验操作复杂而困难，测量的数据非常繁多。不仅如此，示波器的精度并不高，不管如何调整，示波器显示的图像的线条总是不够细而清晰，导致很大的读数误差，也导致边界情况显示极其不清晰。但本实验的优点是将与磁滞回线形状相似的图形直接呈现在示波器上，不仅直观，也便于数据获得；仪器完成度高，搭建仪器也很方便。

2>利用霍尔传感器测量铁磁材料的（准）静态磁滞回线

2-1 实验目的

利用直流激励的方式改变磁场强度与磁感应强度，测量模具钢的（准）静态磁滞回线

2-2 实验用具

磁性材料磁滞回线、磁化曲线测定仪（包括数字式特斯拉计、恒流源、模具钢样品、磁化线圈、双刀双掷开关、霍尔探头移动架、双叉头连接线、箱式实验平台等）等必要用具

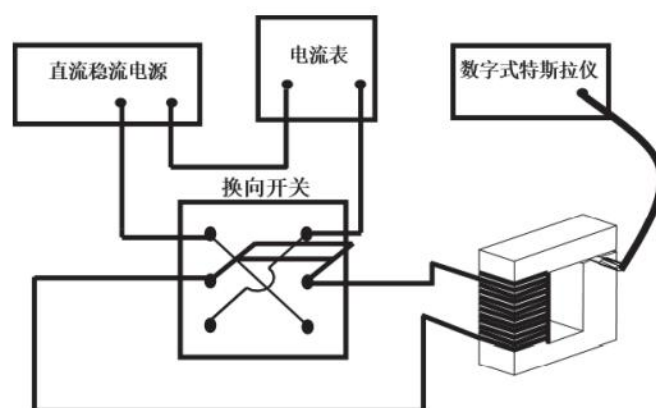
2-3 实验原理

在直流激励时，铁磁体内产生稳定磁场，电流强度不同，H 与 B 的大小也会不同。这样就能测得铁磁体的磁滞回线。将多个磁滞回线的顶点相连，就能得到其基本磁化曲线。测量初始磁化曲线需要 H=0、B=0 为初始条件，所以需要样品退磁。在磁滞回线顶点处，需要反复来回拨动开关来进行磁锻炼，以使数据

达到稳定。电路图见图 15。根据电路图有以下关系： $H = \frac{N}{l}I$ ，利用公式 $H\bar{L} + \frac{Bd}{\mu_0} = NI$ 进行修正。 \bar{l} 为

磁路长度， \bar{L} 为样品平均长度，d 为缝隙宽度。

图 15 利用霍尔传感器测量铁磁材料的（准）静态磁滞回线的电路图



2-4 实验步骤

2-4-1 连接电路，调节适当的电流值，从-10mm 到 10mm，间隔 1mm 测量位置与磁场强度的关系，然后使传感器位于磁场均匀的区域。

2-4-2 转动开关并减小电流为 0 后转动开关，增加为比原来更小的值后减小为 0，转动开关，循环往复，保证两个方向减少值相对对称，直到退磁相对完全，记录数据。

2-4-3 增大电流数值，达到最大时，反复转动开关进行磁锻炼，然后将电流反向。然后如此调整电流直到完成一个循环。记录数据。

2-5 数据处理与分析

2-5-1 原始数据与数据处理修正

表 8 利用霍尔传感器测量铁磁材料的（准）静态磁滞回线数据记录表（前者为标准磁化曲线，后者为磁滞回线）

I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)	I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)
29.6	5.00	247	214	195.9	86.9	1632	1056
57.0	12.8	475	390	207.2	94.9	1727	1097
68.5	16.3	571	463	238.7	116.8	1989	1215
87.5	22.5	729	580	252.8	126.4	2107	1268

109.9	30.2	916	716	275.3	141.9	2294	1353
127.3	38.3	1061	807	292.4	153.5	2437	1419
136.5	44.3	1138	844	331.2	181.2	2760	1558
146.5	51.4	1221	880	356.0	199.6	2967	1643
161.8	62.4	1348	934	395.2	228.1	3293	1781
180.6	76.1	1505	1000	424.6	248.4	3538	1891

I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)	I (mA)	B (mT)	H (A/m)	修正 H (A/m)
658.1	378.7	5484	2973	-604.4	-366.5	-5037	-2606
602.5	372.3	5021	2552	-559.6	-360.6	-4663	-2272
539.6	363.6	4497	2085	-505.4	-352.3	-4212	-1875
473.2	352.4	3943	1606	-453.5	-342.8	-3779	-1506
411.7	338.7	3431	1185	-381.2	-325.4	-3177	-1019
352.8	321.2	2940	810	-323.6	-306.3	-2697	-665
295.8	298.1	2465	488	-245.9	-269.9	-2049	-259
242.7	270.1	2022	231	-191.6	-237.0	-1597	-25.0
192.3	238.4	1602	21.6	-151.6	-209.7	-1263	127
133.2	196.2	1110	-191	-92.4	-166.0	-770	331
80.4	156.2	670	-366	-49.8	-133.0	-415	467
38.0	122.8	317	-498	0.0	-93.3	0	619
0.0	92.3	0	-612	53.4	-49.8	445	775
-41.8	58.0	-348	-733	99.8	-11.3	832	907
-82.9	24.2	-691	-851	147.8	28.5	1232	1043
-133.4	-17.8	-1112	-994	207.6	78.1	1730	1212
-181.3	-57.7	-1511	-1128	251.3	113.4	2094	1342
-242.7	-107.8	-2022	-1308	293.0	146.4	2442	1471
-293.1	-147.7	-2442	-1463	353.6	193.1	2947	1666
-352.4	-193.1	-2937	-1656	408.4	233.7	3403	1854
-410.0	-235.2	-3417	-1857	455.6	266.5	3797	2029
-478.1	-281.3	-3984	-2119	511.9	302.3	4266	2261
-550.1	-324.0	-4584	-2436	556.0	327.0	4633	2465
-604.6	-350.8	-5038	-2712	603.7	350.1	5031	2709
-658.7	-372.9	-5489	-3016	658.7	372.2	5489	3021

2-5-2 作图处理

图 16 模具钢样品的基本磁化曲线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

模具钢样品的基本磁化曲线图

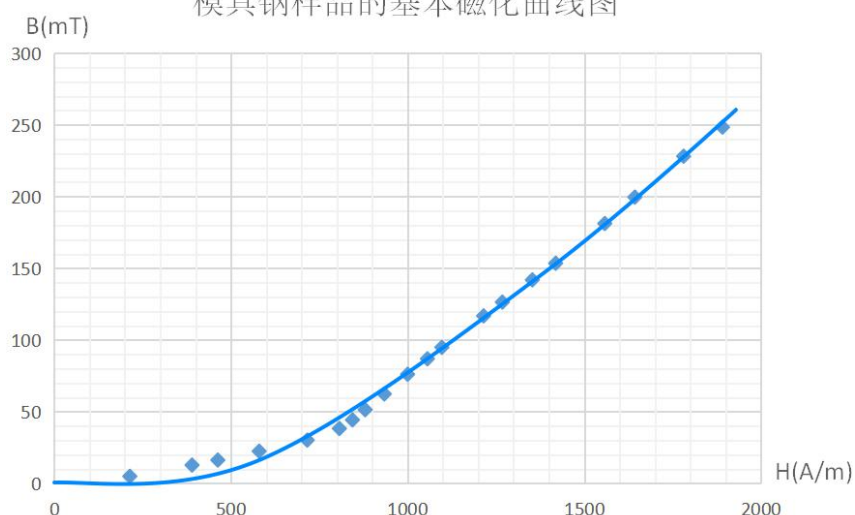
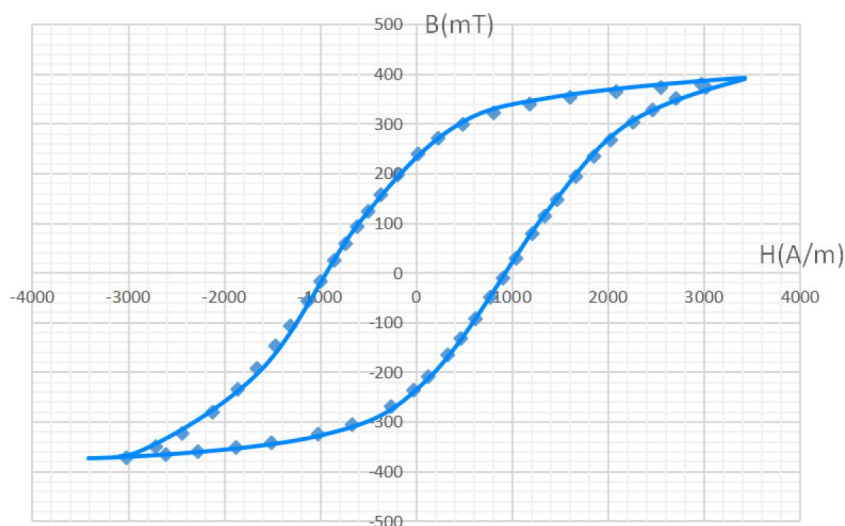


图 17 模具钢样品的磁滞回线图（曲线为绘图工具绘制，非拟合曲线）

模具钢样品的磁滞回线图



2-5-3 实验结论

模具钢的磁化特性符合预期。标准磁化曲线中， B 与 H 正相关，磁滞回线形状也正确。除了标准磁化曲线值较小时的误差以及磁滞回线顶点的误差外，非常准确，故不另外进行误差分析。

2-6 总结与思考

本实验相较上一个实验而言，虽然数字化与直观程度更低，但是其精确度更高，操作也更容易上手，甚至不怎么需要搭建仪器；唯一的操作难点在于退磁操作中，要保持两侧减小幅度尽量对称，否则退磁困难。实验结果也较示波器方法更加理想。

3>总体总结

3-1 思考题

3-1-1 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？

区别在于动态磁滞回线是在交流电流产生的磁场下的 B - H 图，静态磁滞回线则是直流电条件下的。受到磁化场的大小与频率的影响。

3-1-2 什么叫做基本磁化曲线？它和起始磁化曲线间有何区别？

不同的静态磁滞回线的顶点、坐标原点相连形成的曲线。后者是动态磁滞回线的顶点、坐标原点相连形成的曲线。

3-1-3 铁氧体和硅钢材料的动态磁化特性各有什么特点？

铁氧体的振幅磁导率随磁场强度的增大而减小；随着频率增大，硅钢 B-H 图的横截距绝对值极其增长率都增大，纵截距绝对值线性减小，顶点纵坐标绝对值先减小后增大。

3-1-4 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_{R1} 、 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？

R_2C 远大于交变电流周期。

3-1-5 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？

这样才能保证最大磁化电流保持恒定，使得磁场强度边界值恒定而准确。

3-2 其他

本实验操作叫单一，但由于需要记录的数据很繁杂，而且需要将全部电压数值转换为磁场强度和磁感应强度，所以工作量极大，耗时极多。改良本实验，可以采取以下措施：

- ①改良示波器，提高显示精度，且使得横纵光标同时显示，这样读数更准确。
- ②可以利用示波器记录图像并导出，直接通过导出图像修改就能得到磁滞回线。
- ③准静态磁滞回线测量中，提高仪器最高电流的上限，使得边界值测量更准确。
- ④在可逆磁导率测量实验中，可以增加一个方便简单的退磁装置。

4>原始实验数据记录表照片

图 18~21 测量磁滞回线实验原始数据记录表扫描照片（第 1 页~第 4 页）

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 教二楼 713
 学生姓名 李佳煜 学号 2020K8009926028 专业 物理学
 实验日期 2021 年 11 月 8 日 成绩评定 _____ 教师签字 高林青

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 $R_1=2.0\ \Omega$, $R_2=50\text{ k}\Omega$, $C=10.0\ \mu\text{F}$ 。

饱和磁滞回线(竖直方向成对测量)

$\begin{matrix} B \\ H \end{matrix}$	点 1	点 2
-81.6 mV (注: $-H_s$)	-19.2 mV	(注: $-B_s$)
13.9 mV	3.00 mV	6.40 mV
-40.0 mV	-14.0 mV	-12.0 mV
-20.0 mV	-10.2 mV	-4.80 mV
20.0 mV	5.00 mV	10.8 mV
40.0 mV	11.8 mV	14.2 mV
81.8 mV (注: H_s)	18.4 mV	(注: B_s)
B_r	4.40 mV	
H_c	-8.80 mV	

饱和磁滞回线(水平方向成对测量)

$\begin{matrix} H \\ B \end{matrix}$	点 1	点 2
-80.2 mV (注: $-B_s$)	-19.0 mV	(注: $-H_s$)
-5.00 mV	2.63 mV	21.8 mV
5.00 mV	-1.50 mV	-21.4 mV
-10.0 mV	-14.7 mV	-32.7 mV
10.0 mV	16.2 mV	32.7 mV

2.60mV	4.15mV	16.2mV
88.0mV (注:Bs)	19.2mV	(注:Hs)
Br	4.40mV	
Hc	8.82mV	

(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_2 C 不变，测量并比较 $f=95\text{ Hz}$ 和 150 Hz 时的 B_r 和 H_c 。

	95Hz	150Hz
Br	5.60mV	2.64mV
Hc	15.0mV	6.50mV

(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
H_m	62.0	76.0	90.0	154	118	84.0	70.0	54.4	45.6	41.6
B_m	16.0	17.6	18.4	20.4	19.6	18.0	16.8	15.6	14.0	12.8
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
H_m	38.4	35.2	33.6	28.0	24.0	20.0	15.6	12.4	7.80	4.80
B_m	12.4	11.2	11.0	9.40	7.60	6.20	4.60	4.00	2.40	1.44

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

	20Hz	40Hz	60Hz
--	------	------	------

B_m	35.2	34.4	35.2
B_r	22.4	23.2	24.0
H_c	112	120	152

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	0.60	0.90	1.20	1.80	2.26	2.80	3.4	4.0	4.5	5.0
端点坐标 H_1	30.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	36.0	36.0	36.0	36.0
端点坐标 B_1	60.0	78.0	84.0	88.0	92.0	98.0	108	112	116	116
三象限端点 H_3 (备用)	-30.0	-26.0	-28.0	-28.0	-28.0	-28.0	-34.0	-34.0	-34.0	-34.0
三象限端点 B_3 (备用)	-80.0	-76.0	-84.0	-88.0	-92.0	-96.0	-108	-112	-116	-116

第二部分: 用霍尔传感器测量铁磁材料 (准) 静态磁滞回线

1) 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)
29.6	5.0			195.9	86.9		
57.0	12.8			207.2	94.9		
68.5	16.3			238.7	116.8		
87.5	22.5			252.8	126.4		
109.9	30.2			275.3	141.9		
127.3	38.3			292.4	153.5		
136.5	44.3			331.2	181.2		
146.5	51.4			356.0	199.6		
161.8	62.4			395.2	228.1		
180.6	76.1			424.6	248.4		

-10 69.7mT	-7 81.8	-4 81.3	-1 81.2	2 81.1	5 81.3
-9 81.5	-6 81.7	-3 81.2	0 81.1	3 81.2	6 81.3
-8 82.0	-5 81.5	-2 81.2	1 81.1	4 81.2	7 81.3

1. 测量模具钢的磁滞回线

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_i) 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)
658.1	378.7			-604.4	-366.5		
602.5	372.3			-559.6	-360.6		
537.6	363.6			-505.4	-352.3		
473.2	352.4			-453.5	-342.8		
411.7	338.7			-381.2	-325.4		
352.8	321.2			-323.6	-306.3		
295.8	298.1			-245.9	-259.9		
242.7	270.1			-191.6	-237.0		
192.3	238.4			-151.6	-209.7		
133.2	196.2			-92.4	-166.0		
80.4	156.2			-79.8	-133.0		
38.0	122.8			0.0	-93.3		
0.0	92.3			53.4	-49.8		
-41.8	58.0			99.8	-11.3		
-82.9	24.2			147.8	28.8		
-133.4	-17.8			207.6	78.1		
-181.3	-57.7			251.3	113.4		
-242.7	-107.8			293.0	146.4		
-293.1	-147.7			353.6	193.1		
-352.4	-193.1			408.4	233.7		
-410.0	-235.2			455.6	266.5		
-478.1	-281.3			511.9	302.3		
-550.1	-324.0			556.0	327.0		
-604.6	-350.8			603.7	350.1		
-658.7	-372.9			658.7	372.2		