

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

## 第一部分 数据记录与数据处理

### 1 观测样品 1 的动态磁滞回线

#### 1.1 观测饱和磁滞回线

取

$$\begin{aligned} R_1 &= 2\Omega & (1) \\ R_2 &= 50k\Omega & (2) \\ C &= 10.0\mu F & (3) \\ f &= 100Hz & (4) \end{aligned}$$

调节励磁电流至出现相对于原点对称的饱和磁滞回线,测量结果如下:

表 1: 磁滞回线数据测量表				
n	U1(V)	H(A/m)	Uc(mV)	B(mT)
1	0.596	343.85	15.05	404.6
2	0.4	230.77	14.75	396.5
3	0.2	115.38	13.8	371.0
4	0.118	68.08	12.8	344.1
5	0	0.00	2.45	65.9
6	-0.012	-6.92	0	0.0
7	-0.0051	-29.42	-3.8	-102.2
8	-0.076	-43.85	-10.05	-270.2
9	-0.122	-70.38	-12.65	-340.1
10	-0.3	-173.08	-15.2	-408.6
11	-0.158	-91.15	-14.2	-381.7
12	-0.072	-41.54	-12.75	-342.7
13	0	0.00	-5.75	-154.6
14	0.034	19.62	0	0.0
15	0.062	35.77	5.2	139.8
16	0.162	93.46	10.3	276.9
17	0.2	115.38	13.25	356.2
18	0.4	230.77	14.55	391.1
19	0.596	343.85	15.05	404.6

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

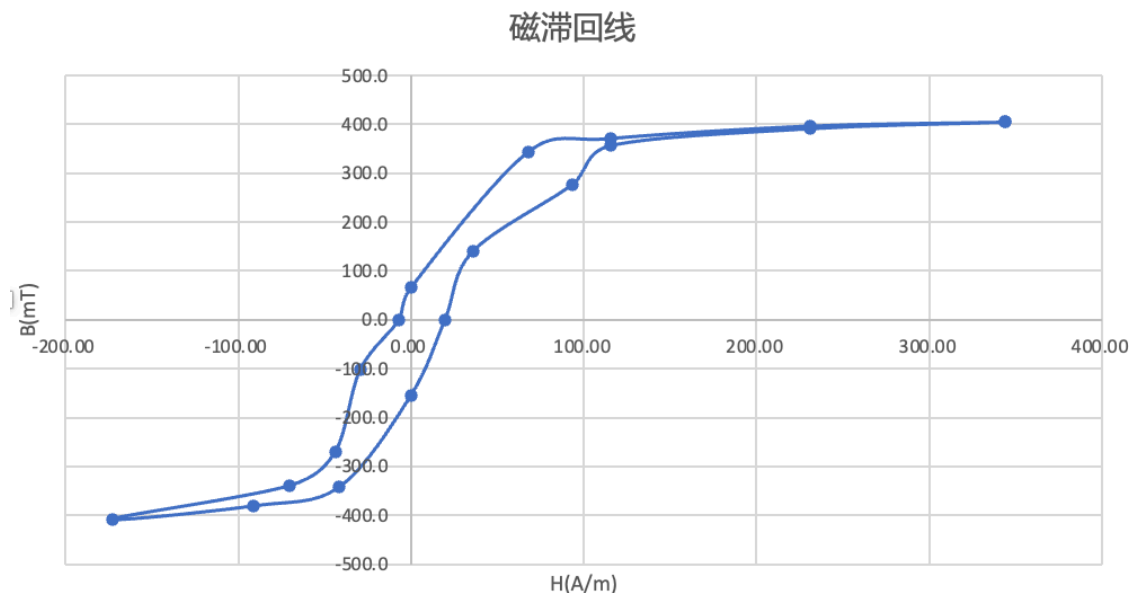


图 1: 磁滞回线

由以上测量结果我们可以得到:

$$H_c = 13.27 \text{ A/m} \quad (5)$$

$$B_m = 406.6 \text{ mT} \quad (6)$$

$$B_r = 110.25 \text{ mT} \quad (7)$$

## 1.2 观测不同频率饱和磁滞回线

表 2: 饱和磁化曲线特征量测量数据表

f/Hz	Um1/mV	Um2/mV	Ur1/mV	Ur2/mV	Uc1/mV	Uc2/mV	Br/mT	Hc/(A/m)
50	14.45	-14.5	4.24	-3.18	20.4	-20.6	99.73	11.83
100	15.05	-15.2	2.45	-5.75	34	-12	110.25	13.27
150	14.7	-14.5	4.15	-3.9	21.6	-21.8	108.20	12.52

由于示波器线宽和读数不确定度, 经过计算得到测量数据大致有  $\pm 5\%$  的不确定度, 因此  $B_r, H_m$  都有  $\pm 5\%$  的不确定度。即:

$$\sigma_{H_c} \approx 0.6 \text{ A/m} \quad (8)$$

$$\sigma_{B_r} \approx 5 \text{ mT} \quad (9)$$

对照不同频率的实验结果, 知  $B_r, H_m$  在不同频率下近似不变。这是由于铁氧体具有低电阻率, 涡流损耗较小, 因此磁滞回线在高频率下形状变化不大

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

## 1.3 50Hz 时不同积分常量下的李萨如图

在本次实验中,我们固定  $f = 50\text{Hz}$ ,  $R_1 = 2.0\Omega$ ,  $I_m = 0.2\text{A}$ , 调节  $R_2$  使时间常数分别等于  $0.01\text{s}$ ,  $0.1\text{s}$ ,  $0.5\text{s}$ , 观察其李萨如图形。图形如下:

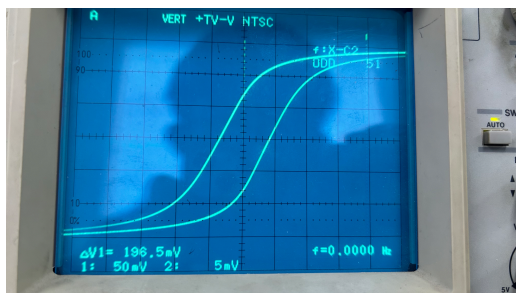


图 2:  $t=0.5\text{s}$

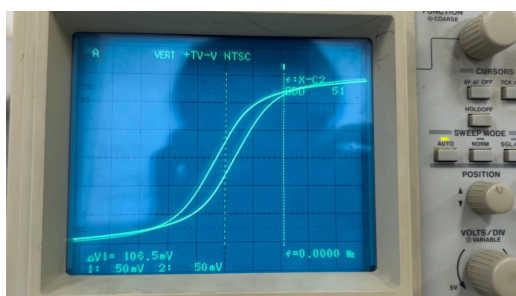


图 3:  $t=0.05\text{s}$

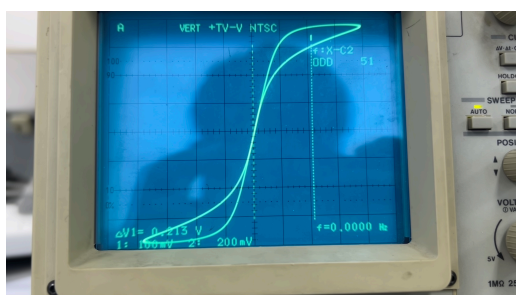


图 4:  $t=0.01\text{s}$

通过以上图片我们可以发现,积分时间常量会影响李萨如图形的形状,当积分常量为  $0.01\text{s}$  时示波器上的李萨如图形出现明显畸变。这是因为当积分常量较大时,电容上的电压远小于总电压,可以认为示波器上呈现的图像和真实的磁滞回线图像形状一样。而当积分常量和外磁场周期接近时,不能直接用总电压代替电阻上的电压,磁场和电压之间会存在一个相位差,从而导致李萨如图形和磁滞回线的形状不同。由此我们可以知道,改变积分常量,实际上是改变了电压的相位和幅值,从而改变了李萨如图形的形状。由于改变积分常量并不会对  $B$  和  $H$  造成影响,因此改变积分常量不会影响真实的磁滞回线的形状。

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

## 2 测量样品 1 的动态磁化曲线

### 2.1 测量动态磁化曲线

在本次实验中, 我们固定  $f = 100\text{Hz}$ ,  $R_1 = 2.0\Omega$ ,  $I_m = 0.2AR_2 = 50\text{k}\Omega$ , 调节输入电流强度, 观察其动态磁化曲线。测量结果如下:

次数 $n$	$2\Delta U_{R_1}$ (mV)	$H_m$ (A/m)	$2\Delta U_c$ (mV)	$B_m$ (mT)	$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}$
1	7.38	2.13	0.58	7.80	2914.07
2	11.50	3.32	0.88	11.83	2837.36
3	20.00	5.77	1.72	23.12	3188.80
4	29.50	8.51	2.62	35.22	3293.13
5	39.60	11.42	3.76	50.54	3520.64
6	59.80	17.25	6.16	82.80	3819.52
7	67.40	19.44	7.18	96.51	3949.97
8	79.20	22.85	8.54	114.78	3998.17
9	91.60	26.42	10.28	138.17	4161.28
10	99.40	28.67	11.20	150.54	4177.92
11	107.00	30.87	12.20	163.98	4227.71
12	117.80	33.98	13.50	181.45	4249.30
13	122.40	35.31	13.96	187.63	4228.95
14	133.80	38.60	15.48	208.06	4289.87
15	145.60	42.00	17.00	228.49	4329.29
16	155.50	44.86	18.00	241.94	4292.11
17	176.00	50.77	19.45	261.42	4097.66
18	187.00	53.94	20.50	275.54	4064.82
19	195.00	56.25	21.00	282.26	3993.13
20	226.00	65.19	22.60	303.76	3707.91
21	236.50	68.22	23.20	311.83	3637.36
22	269.00	77.60	24.60	330.64	3390.88
23	295.00	85.10	25.40	341.40	3192.57
24	348.50	100.53	26.45	355.51	2814.18
25	403.50	116.39	27.35	367.61	2513.29
26	456.50	131.68	27.80	373.66	2258.05
27	487.50	140.62	28.15	378.36	2141.08
28	489.00	141.06	28.15	378.36	2134.51
29	560.00	161.54	28.45	382.39	1883.75
30	775.00	223.56	29.60	397.85	1416.18
31	941.00	271.44	30.15	405.24	1188.03
32	1162.00	335.19	30.40	408.60	970.06

表 3: 动态磁化曲线测量数据 a

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

动态磁化曲线图

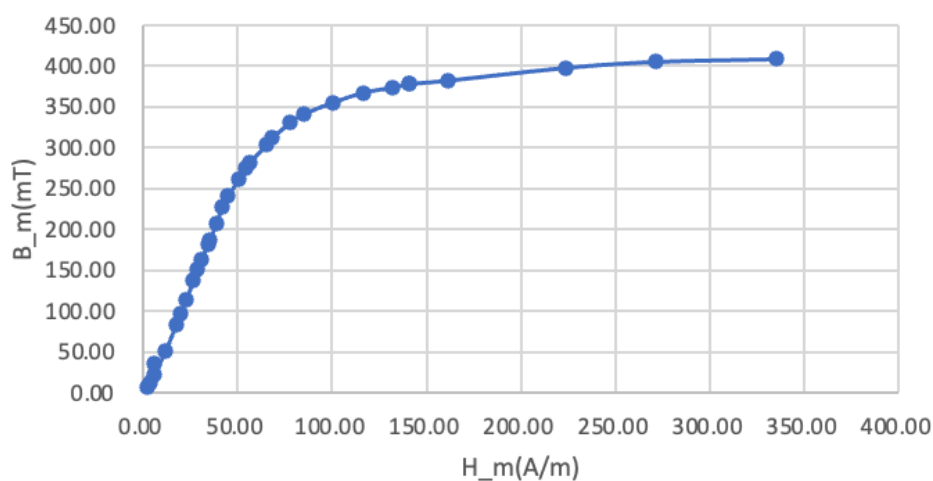


图 5: 磁化曲线

## 2.2 磁导率曲线图

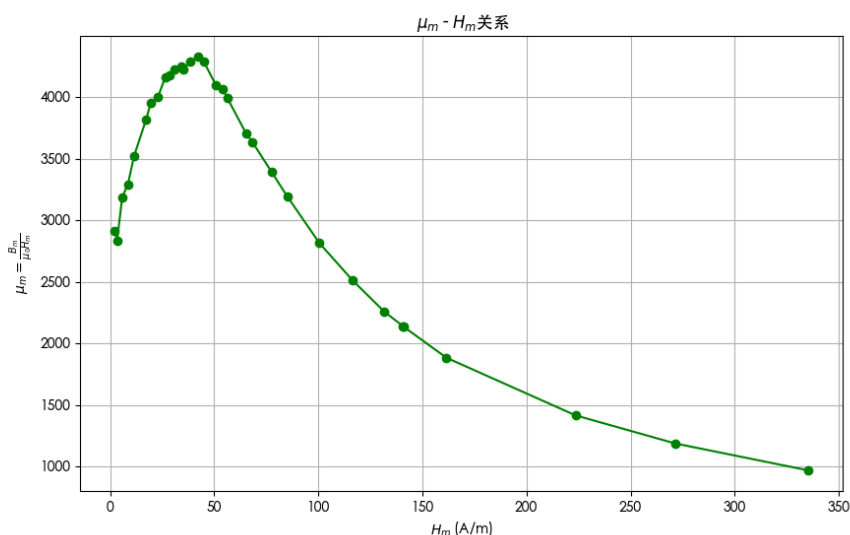


图 6: 磁导率曲线

振幅磁导率随着磁场强度上升先上升后下降, 初始值在 3000 附近, 最大值在磁场强度 40A/m 附近取得, 大概在 5000 附近。

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

## 2.3 起始磁导率

取  $2\Delta U_{R_1} < 10mV$  时的测量结果为本次试验得到的起始磁导率,其值为:

$$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} = 2914.07 \quad (10)$$

## 3 观测不同频率下样品 2 磁滞回线变化规律

控制  $f = 50Hz$ ,  $R_1 = 2.0\Omega$ ,  $U_m = 0.4V$ ,  $R_2 = 50k\Omega$ , 从而保证  $H_m = 400A/m$  观察结果, 对照误差范围, 随

表 4: 不同频率下样品 2 磁滞回线特性参数

$f/Hz$	$\Delta U_m/mV$	$\Delta U_c/mV$	$\Delta U_r/mV$	$B_m/mT$	$B_r/mT$	$H_c/(A/m)$
20	33.9	102	20.4	941.67	566.67	102.00
40	32.7	119.25	21.6	908.33	600.00	119.25
60	32.55	136.5	22.25	904.17	618.06	136.50

着频率变化,  $B_m$  基本不变,  $B_r$  和  $H_c$  随  $f$  增大明显增大。其原因是硅钢在高频下涡流损耗增大, 因此磁滞回线图像中  $B_r$  和  $H_c$  随  $f$  增大明显增大

## 第二部分 思考题

### 1 铁磁材料的动态磁滞回线与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哪些因素的影响?

#### 1.1 概念差异

- 静态磁滞回线描述的是在准静态磁场变化下, 材料内磁感应强度与外加磁场之间的关系, 只依赖于材料本身的性质。
- 动态磁滞回线描述的是当磁场快速变化时, 材料内磁感应强度随外加磁场变化的行为, 与动态过程的具体变化方式有关。

#### 1.2 影响因素

铁磁材料动态磁滞回线的形状和面积的影响因素包括:

- 频率: 磁场变化的频率是影响动态磁滞回线最重要的因素之一, 会影响变化过程中的涡流损耗等相关效应
- 磁场强度的幅度: 最大磁场强度的提高, 会导致磁滞回线宽度高度和面积的提高
- 材料特性: 材料自身的磁化特性会影响磁滞回线的形状面积。
- 温度: 温度等外部环境参数会影响动态磁滞回线的磁化过程

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 用示波器观察动态磁滞回线 实验日期 2024 年 5 月 17 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 248

---

## 2 铁氧体和硅钢材料的动态磁化特性各有什么特点？

1. 铁氧体通常表现出较窄的磁滞回线, 硅钢的磁滞回线通常较宽. 说明铁氧体在高频过程中的磁滞损耗更低。
2. 同等情况下, 铁氧体的矫顽力和剩磁通常低于硅钢, 说明铁氧体更容易被磁化和去磁化。
3. 铁氧体的饱和磁化水平较硅钢低, 硅钢更适合需要更大磁通的场景。

## 3 本实验中, 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？

- 选择合适的信号源, 使频率, 波形和振幅在合适的范围内
- 设置适当的电路增益和相位, 通过选取合理的电阻电容参数, 保证积分常数大概在信号周期的几倍, 并保证各测量参数和待测量在合理的范围内, 保证实验的精度和可行性。

## 4 实验中如何判断磁滞回线绕行方向？

先把交变磁场的频率调得较低(例如在 20Hz 以下), 通过肉眼或者摄像机就可以观察到示波器上磁滞回线的绕行方向。