

# 用示波器观测动态磁滞回线实验报告

2\*000\*\*\*\*\* 姓 名 某组 n 号

2024 年 4 月 26 日

## 1 数据处理

### 1.1 100 Hz 下铁氧体饱和磁滞回线

表 1: 100 Hz 下铁氧体饱和磁滞回线的测量结果

测量次数	$U_{R_1}(\text{mV})$	$H(\text{A/m})$	$U_C(\text{mV})$	$B(\text{mT})$
1	212.0	122.3	14.40	387.1
2	91.0	52.5	12.50	336.0
3	31.0	17.9	8.70	233.9
4	0.00	0.00	3.65	98.1
5	-6.00	-3.46	2.10	56.4
6	-11.0	-6.35	1.05	28.2
7	-16.5	-9.52	0.00	0.00
8	-36.0	-20.8	-4.00	-107.5
9	-80.0	-46.2	-10.10	-271.5
1	-217.0	-125.2	-14.40	-387.1
2	-58.0	-33.5	-11.35	-305.1
3	-18.0	-10.4	-7.75	-208.3
4	0.00	0.00	-4.15	-111.6
5	12.5	7.21	-2.00	-53.8
6	17.5	10.1	-1.00	-26.9
7	22.0	12.7	0.00	0.00
8	51.0	29.4	5.60	150.5
9	101.5	58.6	11.10	298.4

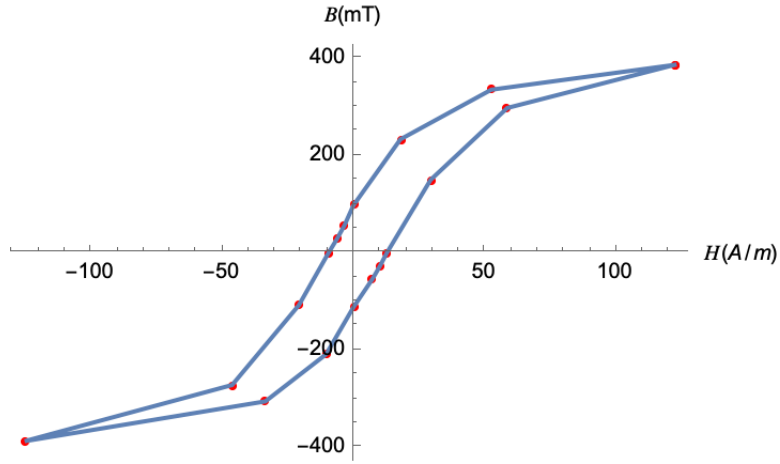


图 1: 100 Hz 下铁氧体饱和磁滞回线的测量结果

$$\text{饱和点: } 2U_C = 28.8 \text{ mV} \quad B_S = 387.10 \text{ mT}$$

$$\text{剩磁: } 2U_C = 7.80 \text{ mV} \quad B_r = 104.84 \text{ mT}$$

$$\text{矫顽力: } 2U_{R_1} = 38.0 \text{ mV} \quad H_C = 10.96 \text{ A/m}$$

## 1.2 不同频率下铁氧体饱和磁滞回线

不确定度估计: 示波器的不确定度为测出值的 2% 加满刻度值的 0.3%。测量  $U_C$  时满刻度值为 50 mV, 测量  $U_{R_1}$  的满刻度值为 500 mV, 所以

$$\begin{aligned} \sigma_{2U_C} &= 2\% \times 2U_C + 0.15 \text{ mV} & \sigma_{B_r} &= \sigma_{2U_C} \times \frac{R_2 C}{2N_2 S} \\ \sigma_{2U_{R_1}} &= 2\% \times 2U_{R_1} + 1.5 \text{ mV} & \sigma_{H_C} &= \sigma_{2U_C} \times \frac{N_1}{2lR_1} \end{aligned}$$

1.  $f = 50 \text{ Hz}$ :

$$\text{剩磁: } 2U_C = 7.60 \text{ mV} \quad \sigma_{B_r} = 4 \text{ mT} \quad B_r = (102 \pm 4) \text{ mT}$$

$$\text{矫顽力: } 2U_{R_1} = 36.5 \text{ mV} \quad \sigma_{H_C} = 0.6 \text{ A/m} \quad H_C = (10.5 \pm 0.6) \text{ A/m}$$

2.  $f = 100 \text{ Hz}$ :

$$\text{剩磁: } 2U_C = 7.80 \text{ mV} \quad \sigma_{B_r} = 4 \text{ mT} \quad B_r = (104 \pm 4) \text{ mT}$$

$$\text{矫顽力: } 2U_{R_1} = 38.0 \text{ mV} \quad \sigma_{H_C} = 0.6 \text{ A/m} \quad H_C = (10.9 \pm 0.6) \text{ A/m}$$

3.  $f = 150 \text{ Hz}$ :

$$\text{剩磁: } 2U_C = 7.60 \text{ mV} \quad \sigma_{B_r} = 4 \text{ mT} \quad B_r = (102 \pm 4) \text{ mT}$$

$$\text{矫顽力: } 2U_{R_1} = 37.5 \text{ mV} \quad \sigma_{H_C} = 0.6 \text{ A/m} \quad H_C = (10.8 \pm 0.6) \text{ A/m}$$

不同频率的测量结果基本一致, 因为磁滞回线已饱和, 不发生显著变化。

### 1.3 50 Hz 下不同积分常量下的李萨如图

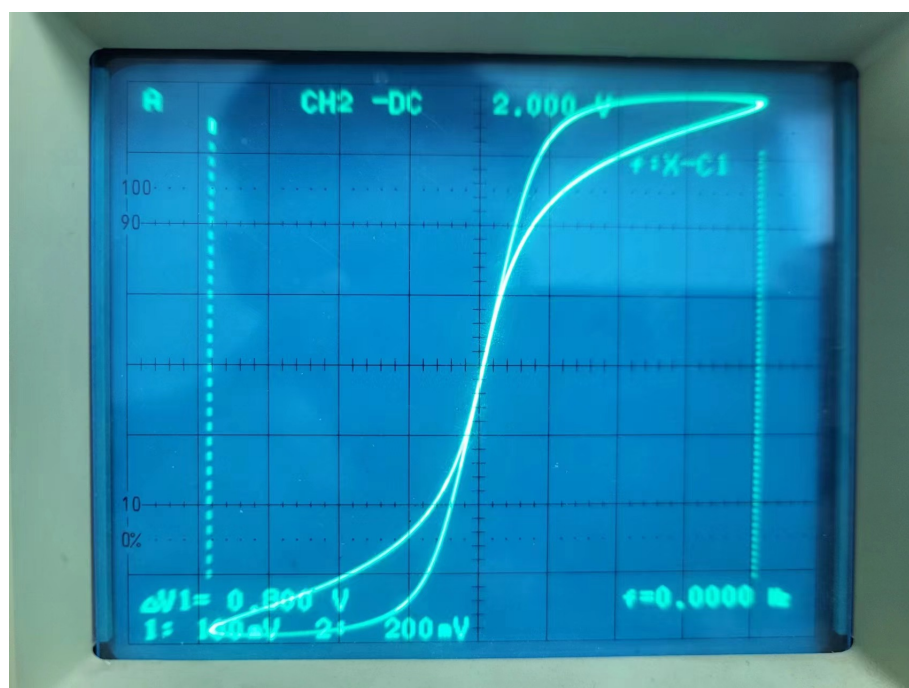


图 2:  $RC = 0.01\text{ s}$  的李萨如图

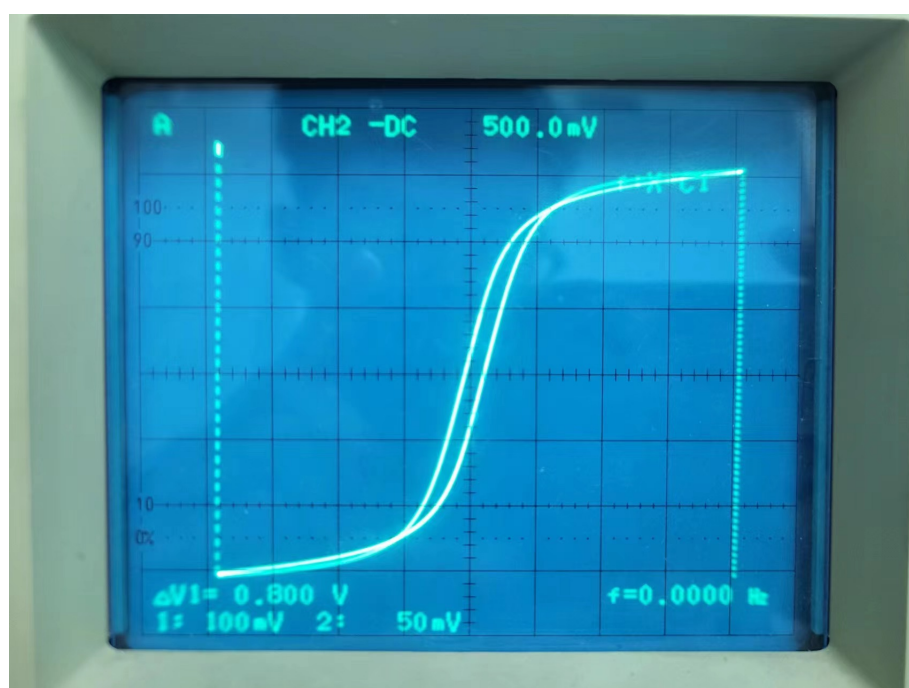


图 3:  $RC = 0.05\text{ s}$  的李萨如图

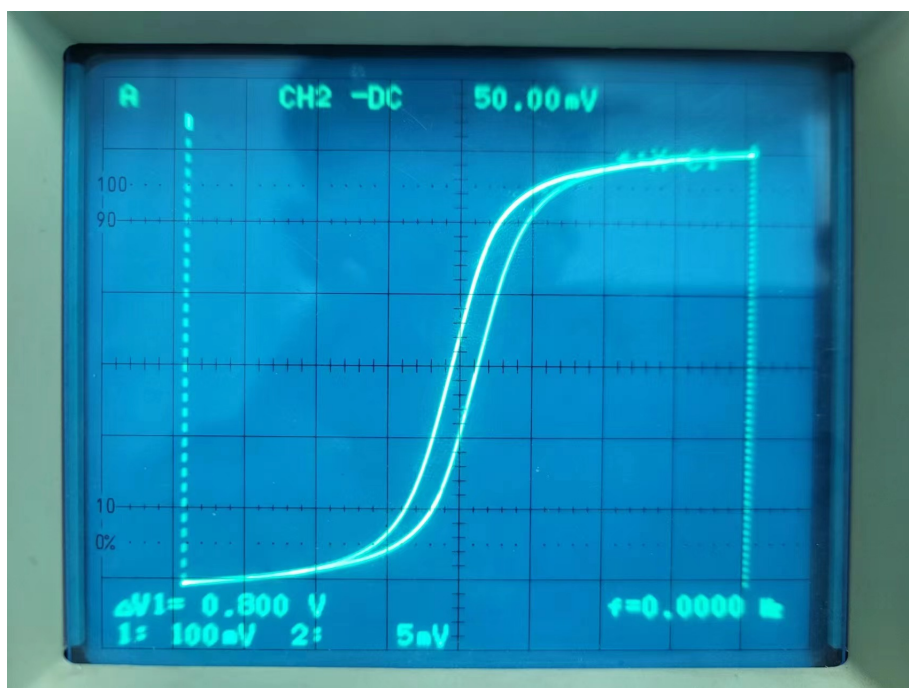


图 4:  $RC = 0.5\text{ s}$  的李萨如图

#### 1.4 100 Hz 下动态磁化曲线

表 2: 100 Hz 下动态磁化曲线的测量结果

测量次数	$U_{R1}(\text{mV})$	$H_m(\text{A/m})$	$U_C(\text{mV})$	$B_m(\text{mT})$	$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}$
1	4.08	2.35	0.360	9.68	3277.9
2	14.75	8.51	1.40	37.6	3516.0
3	24.7	14.2	2.65	71.2	3990.1
4	34.7	20.0	4.00	107.5	4277.3
5	44.7	25.8	5.40	145.2	4478.5
6	54.8	31.6	6.75	181.4	4568.1
7	64.8	37.4	7.85	211.0	4489.5
8	74.8	43.2	8.85	237.9	4382.3
9	84.8	48.9	9.80	263.4	4286.4
10	94.8	54.7	10.55	283.6	4125.8
11	110.0	63.5	11.60	311.8	3907.4
12	125.0	72.1	12.20	328.0	3620.2
13	140.0	80.8	12.70	341.4	3362.3
14	155.0	89.4	13.05	350.8	3122.6
15	170.0	98.1	13.40	360.2	2921.9
16	185.0	106.7	13.70	368.3	2746.8
17	200.0	115.4	13.95	375.0	2585.9
18	230.0	132.7	14.20	381.7	2289.0
19	260.0	150.0	14.45	388.4	2060.5
20	290.0	167.3	14.65	393.8	1873.1

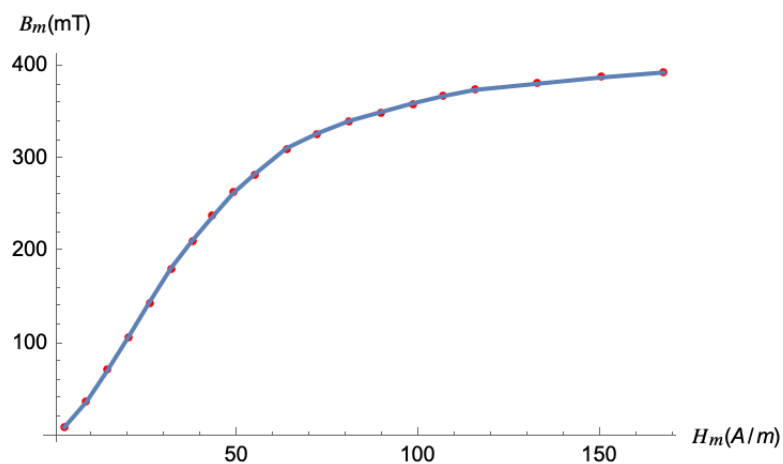


图 5: 100 Hz 下动态磁化曲线的测量结果

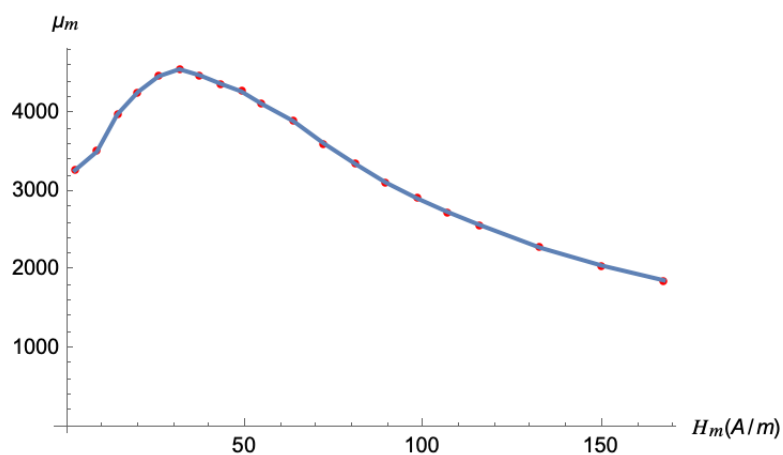


图 6:  $\mu_m - H_m$  曲线图

曲线变化规律: 磁导率随磁场强度先递增后递减, 且减到比起始磁导率还低, 在 40 A/m 附近达到最大值。

起始磁导率:  $\mu_i = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{\mu_0 H} = 3277.9$

### 1.5 不同频率下硅钢样品的动态磁滞回线

表 3: 不同频率下硅钢样品的动态磁滞回线

	最大点		剩磁		矫顽力	
	$2U_C(\text{mV})$	$B_m(\text{mT})$	$2U_C(\text{mV})$	$B_r(\text{mT})$	$2U_{R_1}(\text{mV})$	$H_C(\text{A/m})$
$f = 20 \text{ Hz}$	65.7	912.5	40.4	561.1	20.9	104.5
$f = 40 \text{ Hz}$	65.5	909.7	42.3	587.5	242	121
$f = 60 \text{ Hz}$	65.3	906.9	43.8	608.3	278	139

比较:  $B_m$  随频率增大基本保持不变,  $B_r$  和  $H_C$  随频率增大而增加。

解释: 频率大, 能量高, 磁滞回线面积增大, 非线性增大。

## 2 思考题

1. 区别：静态磁滞回线是某一特定频率下一个周期内  $B$  随  $H$  的变化关系，反映的是材料的磁化关系和磁化历史。动态磁滞回线则是逐渐增大  $H$  范围时形成的逐步磁化的磁化曲线，二者在数值的大小和面积上都不同。影响因素：材料材质、匝数、磁导率，面积和有效长度等。
2. 铁氧体的动态磁化特性几乎不随频率的变化而变化，其相对能耗不随频率升高而升高，且电阻率高，在高频磁化时其涡流损耗小；硅钢材料的动态磁化特性随频率的上升而改变，其能耗随频率升高而升高，且电阻率低，在高频磁化时其涡流损耗大。
3.  $R_2C \gg T$
4. 改变示波器显示模式，将其改到  $ch1$  和  $ch2$  信号模式并获得稳定波形，通过比较两通道信号的相位来判断磁滞回线绕行方向。