

Марина Б04-005, Лабораторная работа №.3.4.4: Петля гистерезиса (статический метод)

Цель работы:

1. Исследование основной кривой намагничивания и предельной петли гистерезиса для образца тороидальной формы, изготовленного из стали

Оборудование:

1. источник питания
2. тороид
3. соленоид
4. баллистический гальванометр с осветителем и шкалой
5. амперметр
6. лабораторный автотрансформатор
7. разделительный трансформатор

Теоретическая справка: Магнитная индукция \mathbf{B} и напряженность поля \mathbf{H} в ферромагнетике связаны неоднозначно, поскольку магнитная восприимчивость χ не является константой и зависит от \mathbf{H} , при этом, индукция еще зависит и от предыстории образца.

Данное явление несет название "гистерезис". Связь между \mathbf{B} и \mathbf{H} в типичном ферромагнетике иллюстрирует рисунок 1.

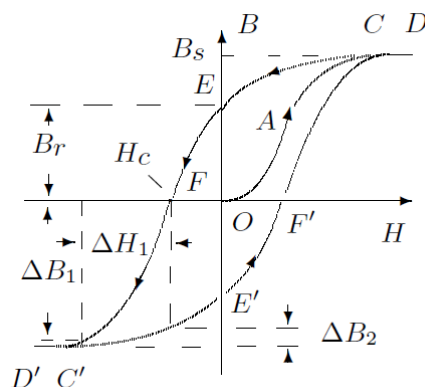


Рис. 1: Петля гистерезиса ферромагнетика (теоретическая)

Формулы, необходимые для подсчетов:

Связь напряженности магнитного поля в тороиде от тока

$$H \approx \frac{N}{\pi \cdot D} I \quad (1)$$

Формула, необходимая для нахождения изменения магнитной индукции, после выражения баллистической постоянной

$$\Delta B = \mu_0 \cdot N_c \cdot \frac{N'_c}{N'} \frac{R}{R_c} \frac{d_c^2}{d^2} \frac{\Delta I_c}{l_c} \frac{\Delta x}{\Delta x_c} \quad (2)$$

где:

1. $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ - магнитная постоянная
2. $N = 1750, N_c = 940, N'_c = 500, N' = 300$, - число витков у намагничивающейся обмотки, пустотелого соленоида, измерительной катушки, тороида
3. $R = R_c$ - полное сопротивление измерительной цепи тороида, полное сопротивление измерительной цепи соленоида
4. $D = 10\text{см}, d_c = 7\text{см}, d = 1\text{см}$ - диаметры тора, соленоида и сердечника
5. $\Delta I_c = 1706\text{мА}$ - ток, проходящий через соленоид
6. $l_c = 80\text{см}$ - длина соленоида
7. $\Delta x, \Delta x_c = 16$ - отклонения солнечного зайчика на тороиде и соленоиде

Описание установки:

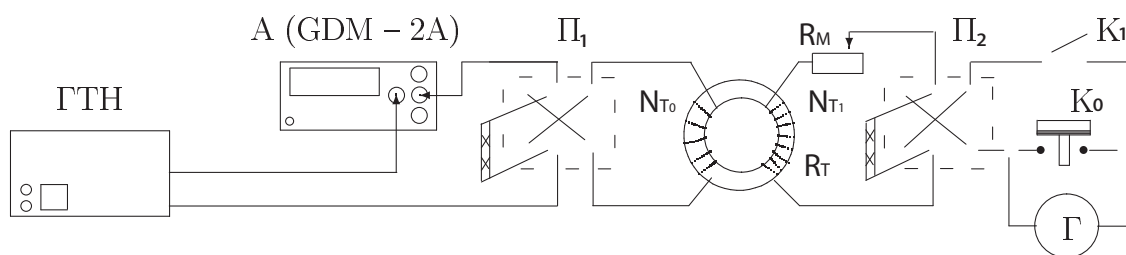


Рис. 2: Схема установки для исследования петли гистерезиса

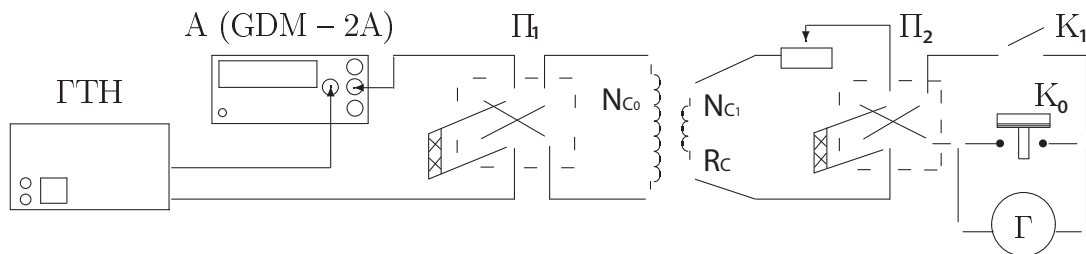


Рис. 3: Схема установки для калибровки гальванометра

Все константы, связанные с установками, приведены выше

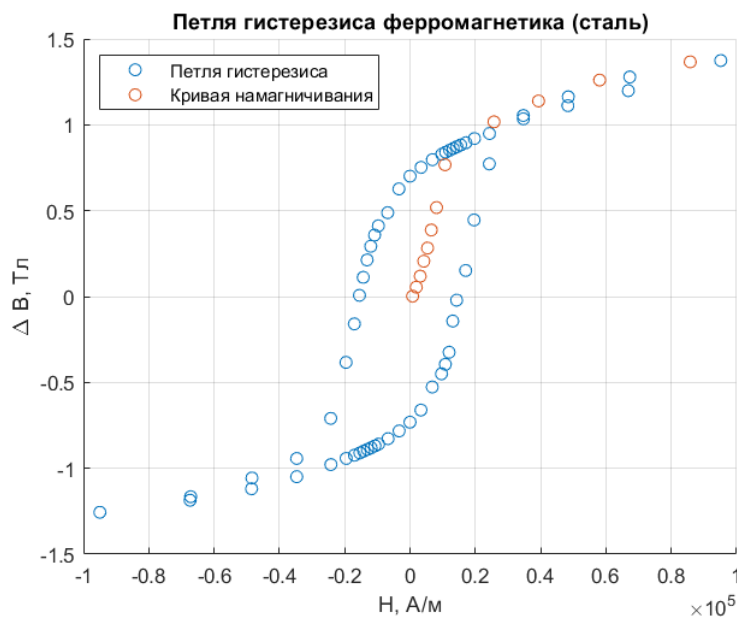
Ход работы:

1. Посчитаем константы:

$$\alpha = 55.7 \text{ 1/м} \Rightarrow H = \alpha I$$

$$\beta = \mu_0 \cdot N_c \cdot \frac{N'_c}{N'} \frac{d_c^2}{d^2 l_c} \frac{1}{\Delta x_c} \frac{\Delta I_c}{\Delta x_c} \approx 0.0128 \text{ Н/(А*см)} \Rightarrow \Delta B = \beta \cdot \Delta x$$

2. Перенесем в таблицу данные, полученные при выполнении лабораторной работы:
3. По полученным данным построим график



4. из графика найдем коэрцитивную силу H_c и индукцию насыщения B_s :
5. рассчитаем максимальную дифференциальную магнитную проницаемость для начальной кривой намагничивания: $\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \approx 422$
6. Построим сводную таблицу:

Выводы:

1. Мы нашли коэрцитивную силу $H_c = 1.500 \pm 0.01 \text{ А/м}$ и индукцию насыщения $B_s = 1.450 \pm 0.01 \text{ Тл}$. (но по нашему графику не совсем корректно определять B_s , поскольку на нашем графике не прослеживается прямая, параллельная оси ОХ. Но мы можем определить остаточную индукцию, равную $B_r \approx 0.7 \text{ Тл}$, что может помочь нам в определении типа стали)
2. Нашли дифференциальную магнитную проницаемость, равную $\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} = 420 \pm 20$
3. Из эксперимента сложно определить, какой тип стали нам представлен. Наиболее вероятным из вариантов является сталь кобальтовая, относящаяся к магнитомягким ферромагнетикам.

I, мА	Δx , см	H, А/м	ΔB , Тл				
61.8	3.8	344.226	48.64		-436	-32	-2428.52
124.3	9.1	692.351	116.48		-623	-50.2	-3470.11
175.68	15.8	978.5376	202.24		-869	-59.1	-4840.33
196.1	19.9	1092.277	254.72		-1206	-67.6	-6717.42
217.48	24.9	1211.3636	318.72		-1705	-74.7	-9496.85
237.21	31.7	1321.2597	405.76		-1209	-69.2	-6734.13
257.67	37.7	1435.2219	482.56		-871	-64	-4851.47
278.6	45.9	1551.802	587.52		-623	-58.5	-3470.11
307.2	56.1	1711.104	718.08		-435	-53	-2422.95
353.83	75.6	1970.8331	967.68		-351	-50.2	-1955.07
623	95.1	3470.11	1217.28		-305	-48.7	-1698.85
868	104.6	4834.76	1338.88		-276	-47.7	-1537.32
1204	114.1	6706.28	1460.48		-255	-46.9	-1420.35
1702	122.4	9480.14	1566.72		-234	-46.1	-1303.38
1200	117.1	6684	1498.88		-214	-45.3	-1191.98
868	110.3	4834.76	1411.84		-193	-44.5	-1075.01
623	104.3	3470.11	1335.04		-173	-43.7	-963.61
436.6	97.6	2431.862	1249.28		-121	-41.2	-673.97
353.8	95.3	1970.666	1219.84		-60	-37.7	-334.2
307	93.4	1709.99	1195.52		0	-33.7	0
278.6	92.4	1551.802	1182.72		60	-28.2	334.2
257.7	91.6	1435.389	1172.48		122	-17.7	679.54
237.21	90.8	1321.2597	1162.24		173	-11.7	963.61
217.48	90	1211.3636	1152		194	-7.4	1080.58
196.1	89.1	1092.277	1140.48		215	-1.9	1197.55
175	88.2	974.75	1128.96		2355	4.1	13117.35
123	85.7	685.11	1096.96		256	12.3	1425.92
60.9	82.2	339.213	1052.16		277	21.8	1542.89
0	78.2	0	1000.96		306	35.3	1704.42
-61.14	72.4	-340.5498	926.72		352	58.3	1960.64
-123	61.6	-685.11	788.48		436	83.8	2428.52
-174	55.6	-969.18	711.68		623	105.8	3470.11
-195	51.4	-1086.15	657.92		870	114.3	4845.9
-216	46.3	-1203.12	592.64		1208	123.3	6728.56
-236	40.1	-1314.52	513.28		1708	130.8	9513.56
-257	32.2	-1431.49	412.16				
-278	24	-1548.46	307.2				
-306	11	-1704.42	140.8				
-352	-6.5	-1960.64	-83.2				

Таблица 1: Данные, полученные при обработки лабораторной работы

	H_s , А/м	B_s , Тл	μ
экспериментальные значения	$(1.50 \pm 0.01) \cdot 10^4$	1.450 ± 0.01 , Тл	420 ± 20

Таблица 2: Сводная таблица экспериментальных значений