

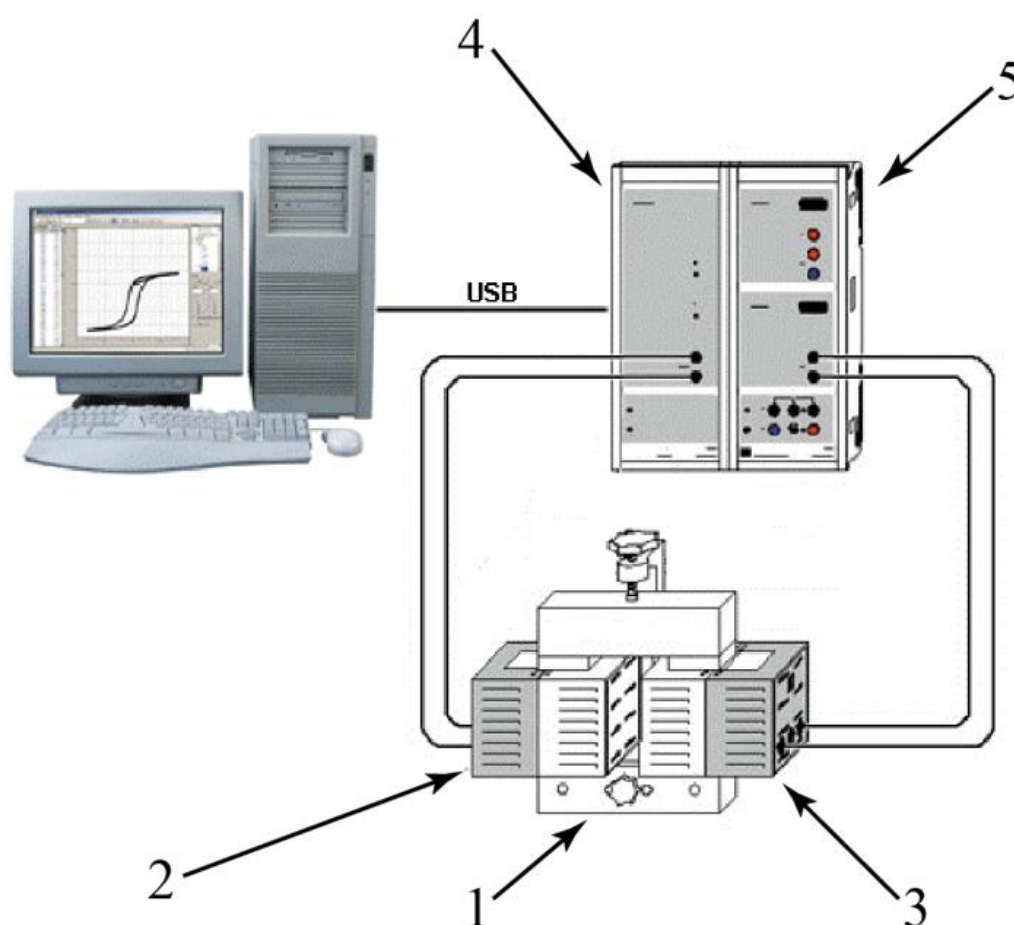
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №48

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: провести процессы намагничивания и перемagnetизации в ферромагнетике, выполненном из электротехнической стали, получить петлю гистерезиса и определить параметры ферромагнетика.

Схема установки



- 1 — исследуемый образец;
- 2 — намагничивающая катушка;
- 3 — регистрирующая катушка;
- 4 — интерфейсный модуль Power-CASSY;
- 5 — интерфейсный модуль Sensor-CASSY.

Расчётные формулы

- Зависимость магнитной индукции ферромагнетика от напряжённости внешнего магнитного поля в области Рэлея (при $H \ll H_c$):

$$B = \mu_0 (\mu_a H + Ra H^2)$$

H — напряжённость внешнего магнитного поля;

B — магнитная индукция;

μ_0 — магнитная постоянная;

μ_a — начальная магнитная проницаемость;

Ra — постоянная Рэлея.

- Потери энергии на перемагничивание:

$$w = \int H dB$$

H — напряжённость внешнего магнитного поля;

B — магнитная индукция.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Среднеквадратичное отклонение среднего:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

n — количество измерений;

t — коэффициент Стьюдента.

Порядок измерений

- Запускаем CASSY Lab. Вводим формулу, описывающую форму сигнала источника тока, для того, чтобы размагнитить образец. Запускаем процесс размагничивания и ждём, пока он завершится.
- Устанавливаем синусоидальную форму сигнала и период сигнала 50 с. Запускаем измерения и получаем зависимость $B(H)$ в течение одного цикла. После сохранения результатов снова размагничиваем образец. Повторяем измерения для синусоидального сигнала ещё 2 раза.
- Устанавливаем пилообразную форму сигнала и период сигнала 50 с. Запускаем измерения и получаем зависимость $B(H)$ в течение одного цикла. После сохранения результатов снова размагничиваем образец. Повторяем измерения для пилообразного сигнала ещё 2 раза.

Результаты

Из-за большого количества данных (2501 точка на каждый цикл) приводим только графики исследованных зависимостей $B(H)$. Перед изображением и обработкой полученных данных сменили знак у магнитной индукции, чтобы рост H соответствовал росту B .

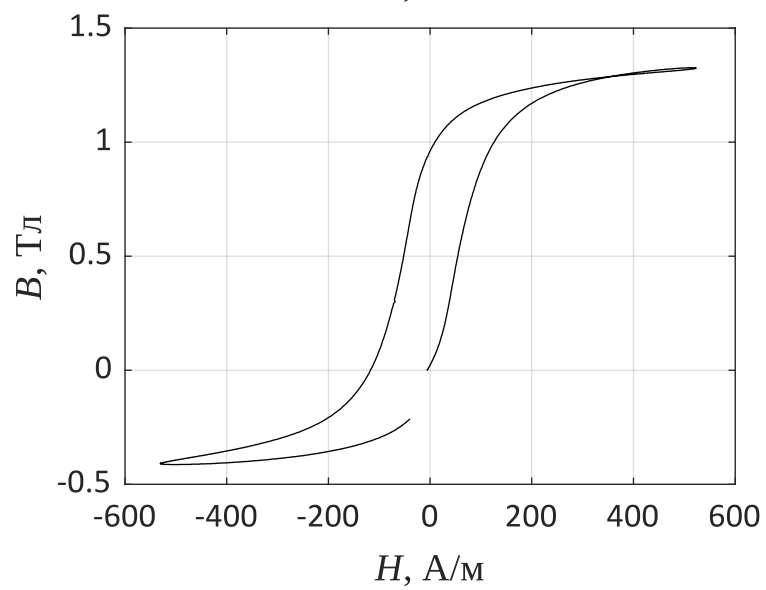
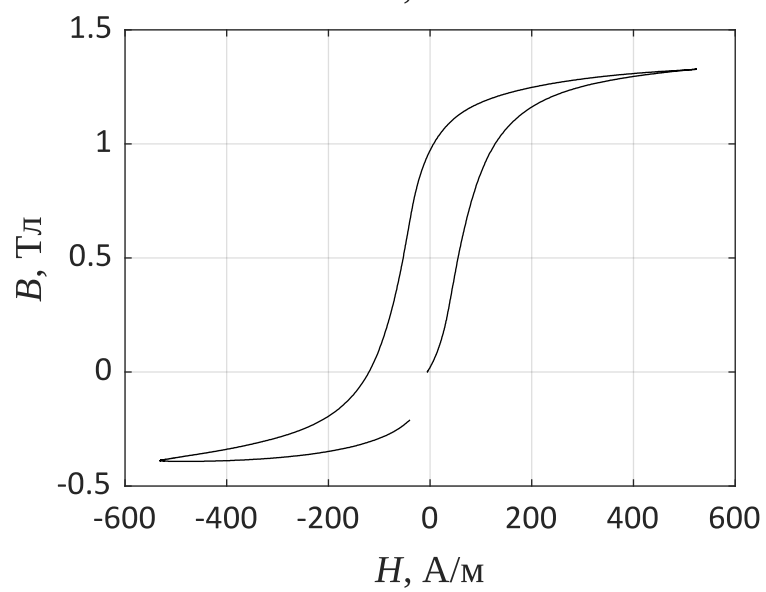
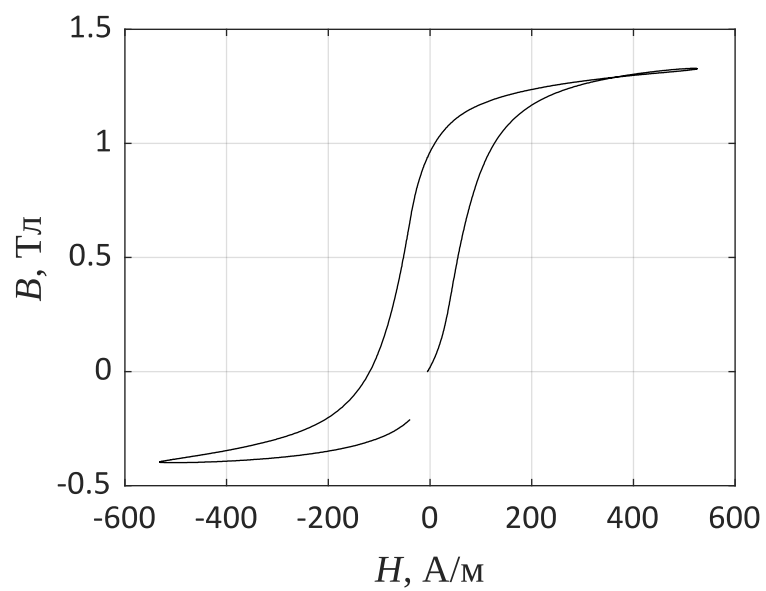


График 1.

Петля гистерезиса при синусоидальном напряжении с амплитудой 2 В на намагничивающей катушке, полученная за один цикл длительностью 50 с

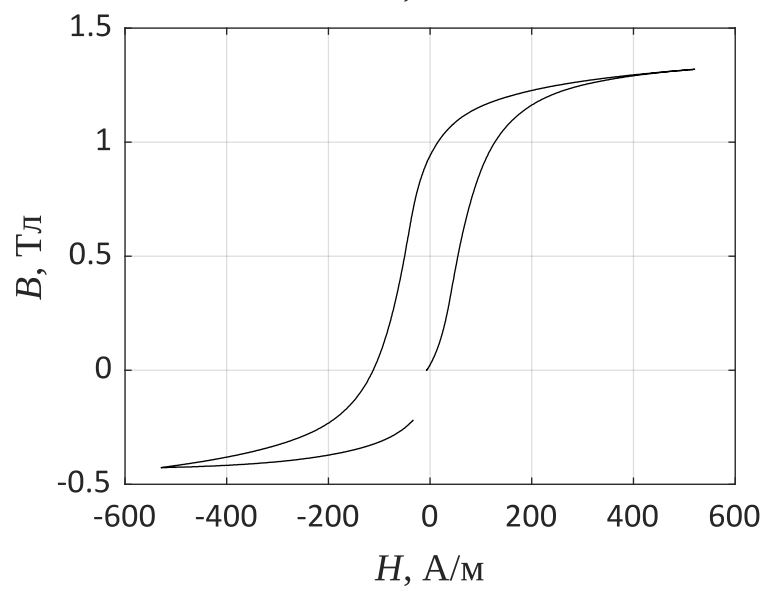
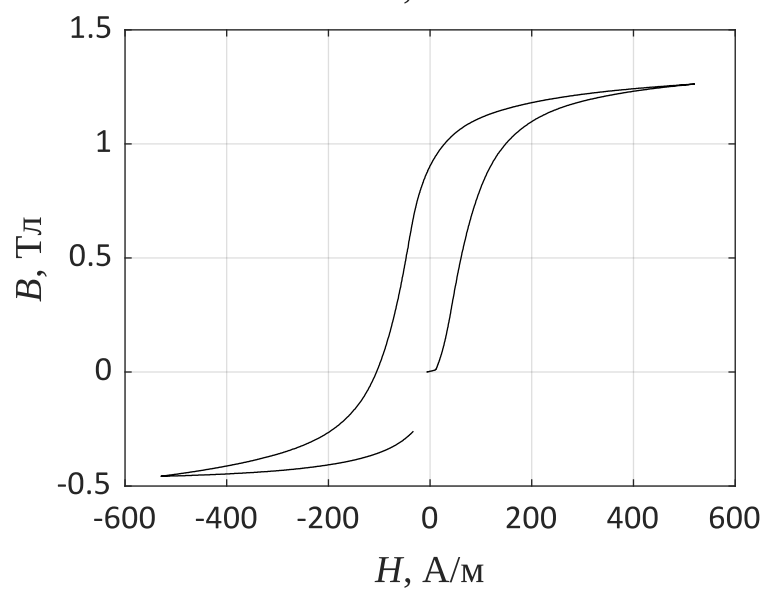
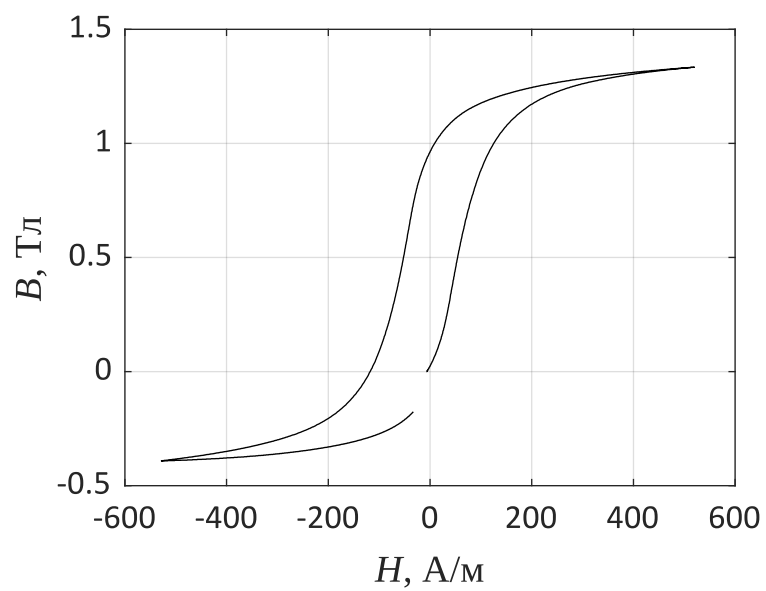


График 2.

Петля гистерезиса при пилообразном напряжении с амплитудой 2 В на намагничивающей катушке, полученная за один цикл длительностью 50 с

Все графики выглядят примерно одинаково, независимо от выбранной формы переменного напряжения. По завершении цикла намагничивания образца магнитная индукция не возвращается в ноль, что связано с остаточной намагниченностью ферромагнетика. Из каждого графика находим соответствующие параметры:

- индукцию насыщения B_s находим как модуль индукции, соответствующей максимальному положительному значению напряжённости H ;
- остаточную намагниченность B_r находим как модуль индукции, соответствующей нулевому значению напряжённости H при движении в сторону уменьшения H ;
- коэрцитивную силу H_c находим как модуль напряжённости, соответствующей нулевому значению индукции B при движении в сторону уменьшения B ;
- потери на перемагничивание находим, проинтегрировав H по B по методу трапеций;
- начальную магнитную проницаемость μ_a и коэффициент Рэлея R_a получаем аппроксимацией участка Рэлея. Участок Рэлея выбираем такой, чтобы выполнялось $H \ll H_c$. Таким образом, проводим аппроксимацию по первым 50 точкам — значение H на этом промежутке не превышает 11 А/м. Аппроксимируем уравнением $B = \mu_0(\mu_a H + R_a H^2)$, откуда μ_a и R_a находим как коэффициенты аппроксимации.

При расчёте среднего значения пришлось откинуть результаты 5-го измерения (2-го измерения при пилообразной форме сигнала). Почти все параметры при данном измерении сильно отклоняются от параметров при остальных измерениях. Кроме того, наблюдается странное поведение графика в начальном промежутке времени.

Указанные ниже погрешности соответствуют доверительной вероятности $P = 95\%$.

Таблица. Параметры исследованного ферромагнетика

Параметр	1	2	3	4	5	6	Среднее	Δ
Начальная магнитная проницаемость μ_a	2070	2158	2315	4213	311.3	4053	3000	1300
Коэффициент Рэлея R_a , м/А	393.0	414.6	435.8	806.7	55.80	758.2	600	300
Индукция насыщения B_s , Тл	1.327	1.327	1.324	1.334	1.262	1.319	1.326	0.007
Остаточная намагниченность B_r , Тл	0.962	0.971	0.961	0.962	0.904	0.940	0.959	0.014
Коэрцитивная сила H_c , А/м	118.7	120.2	117.3	117.6	105.3	111.8	117	4
Потери на перемагничивание w , Дж/м ³	205.2	216.0	205.6	197.6	208.1	199.4	205	9

Выводы

Ферромагнетики обладают свойством магнитного гистерезиса — их намагниченность зависит не только от приложенного внешнего поля, но и от предыдущих состояний вещества. Ферромагнетики сохраняют намагниченность и при отключении внешнего магнитного поля, а также обладают предельной намагниченностью. В работе экспериментально подтверждено существование явления магнитного гистерезиса в ферромагнетиках.