

Работа 3.4.5

Петля гистерезиса.

Подлесный Артём
группа 827

16 декабря 2019 г.

Цель работы:

изучение петель гистерезиса ферромагнитных материалов с помощью осциллографа

В работе используются:

автотрансформатор, понижающий трансформатор, интегрирующая цепочка, амперметр, вольтметр, электронный осциллограф, делитель напряжения, тороидальные образцы с двумя обмотками.

Общая теория

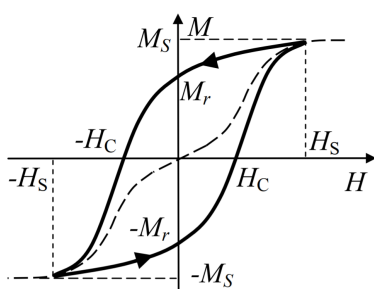


Рис. 1: Петля гистерезиса

Рассмотрим большой фрагмент ферромагнетика. Из-за хаотического расположения доменов, его суммарная намагниченность равна нулю. При включении внешнего магнитного поля H будет расти объем областей с магнитным моментом I , сонаправленным с вектором внешнего поля. Этот рост происходит путем смещения границ доменов. Из-за дефектов кристаллической структуры могут происходить необратимые изменения доменных границ. При дальнейшем возрастании H момент начинает поворачиваться к полю до совпадения, т.е. при некотором значении внешнего поля ферромагнетик ведет себя как один домен с моментом I_s , направленным по H . Это состояние называется состоянием технического насыщения. Петля гистерезиса — график, описывающий процесс

перемангничивания ферромагнетика. Охватывающая точки, соответствующие техническому насыщению, петля называется предельной.

На графике отмечена коэрцитивная сила H_c , то есть поле, при котором намагниченность зануляется. Намагниченность M_r , которая остается, если, предварительно намагнитив ферромагнетик до насыщения, выключить поле, называется остаточной.

Для аналогичного графика зависимости $B(H)$ можно определить соответствующие величины и ввести характеризующую его величину

$$\mu_{max} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{dB}{dH} \quad (1)$$

Измерение магнитной индукции и напряженности магнитного поля в образце

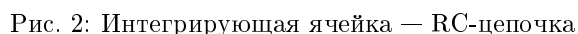
Магнитную индукцию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении потока Φ в катушке, намотанной на образец:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (2)$$

$$\Phi = BSN; \quad (3)$$

Здесь N - число витков в измерительной катушке, S - площадь витка.

$$|B| = \frac{1}{SN} \int \mathcal{E} dt; \quad (4)$$



Для интегрирования сигнала применяют разного рода интегрирующие схемы. Простейшая из них состоит из соединенных последовательно резистора R и конденсатора C и выполняет свое назначение, если сопротивление резистора R сильно превышает сопротивление конденсатора (если выходной сигнал много меньше входного $U_{\text{вых}} \ll U_{\text{вх}}$).

Этот вывод тем ближе к истине, чем больше постоянная времени $\tau = RC$ превосходит характерное время процесса. Для синусоидальных напряжений

где Ω - частота сигнала. Отсюда итоговая формула

Для исследования зависимости $B(H)$ ферромагнитных материалов обычно используют образцы тороидальной формы. Подробное рассмотрение теории позволяет получить уравнение:

Экспериментальная установка



2

- 1. $R_0 = 0.3 \text{ Ом}$; $R = 20 \text{ кОм}$; $C = 20 \text{ мкФ}$
- 2. (Fe-Ni): $N_0 = 40$; $N_U = 200$; $S = 3.8 \text{ см}$; $2\pi R = 24 \text{ см}$
- 3. (Fe-Si): $N_0 = 35$; $N_U = 350$; $S = 1.2 \text{ см}$; $2\pi R = 10 \text{ см}$
- 4. Феррит: $N_0 = 35$; $N_U = 400$; $S = 3.0 \text{ см}$; $2\pi R = 25 \text{ см}$

Графики соответствующих петель приведены на рисунках 3-5. Найденные исследуемые в эксперименте величины приведены в таблице 1.

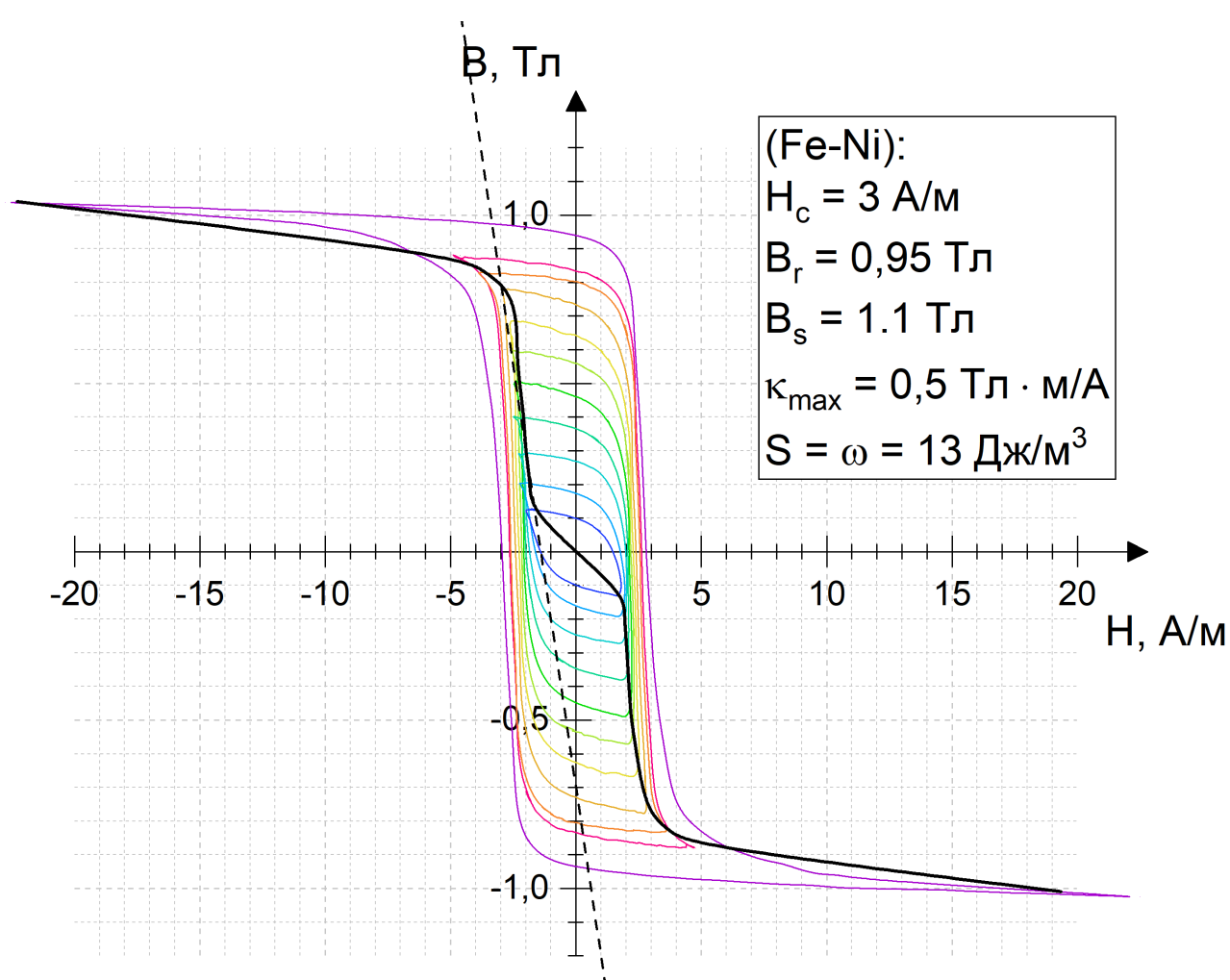


Рис. 3: График зависимости $B(H)$ для $FeNi$

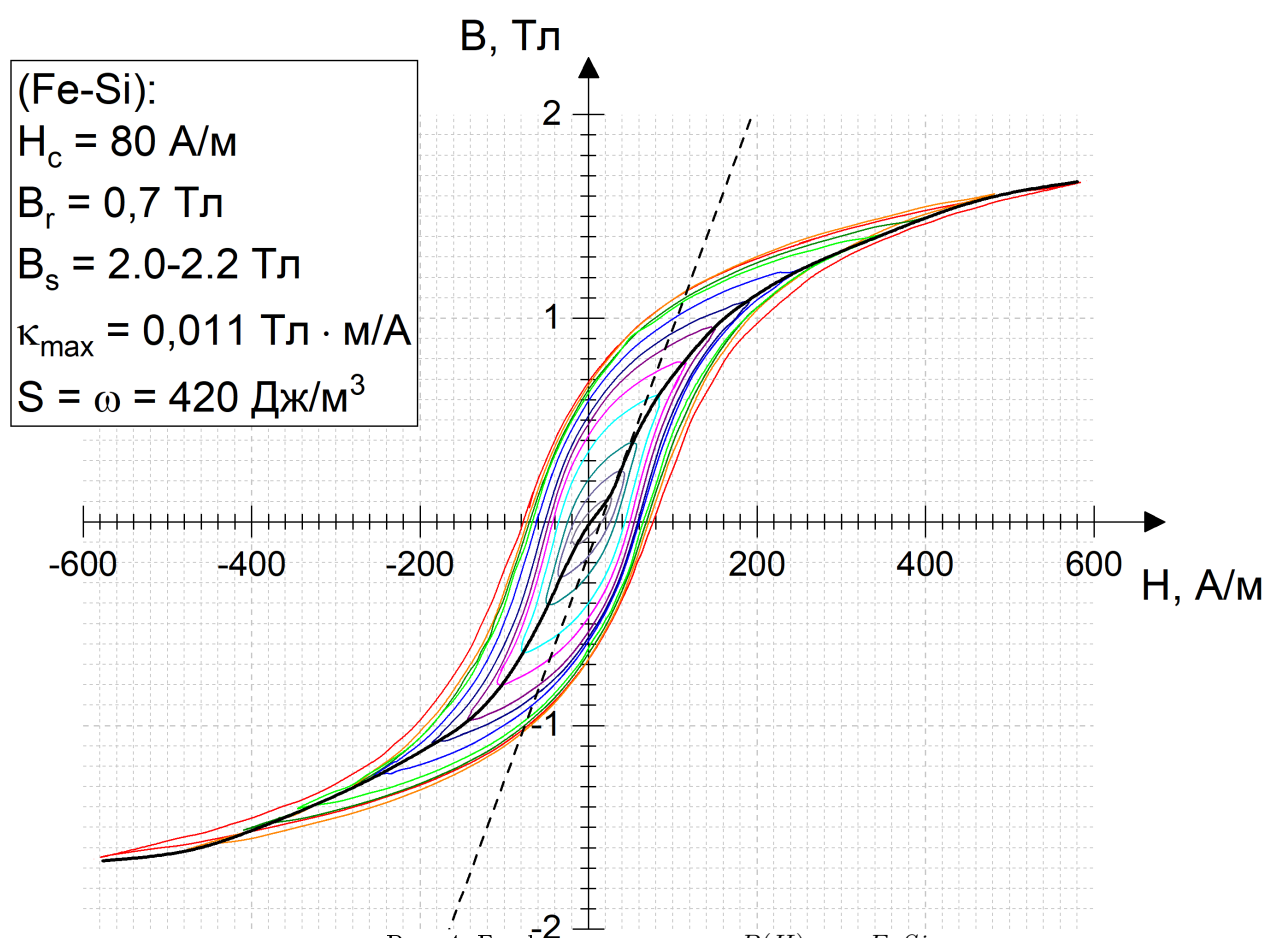


Рис. 4: График зависимости $B(H)$ для $FeSi$

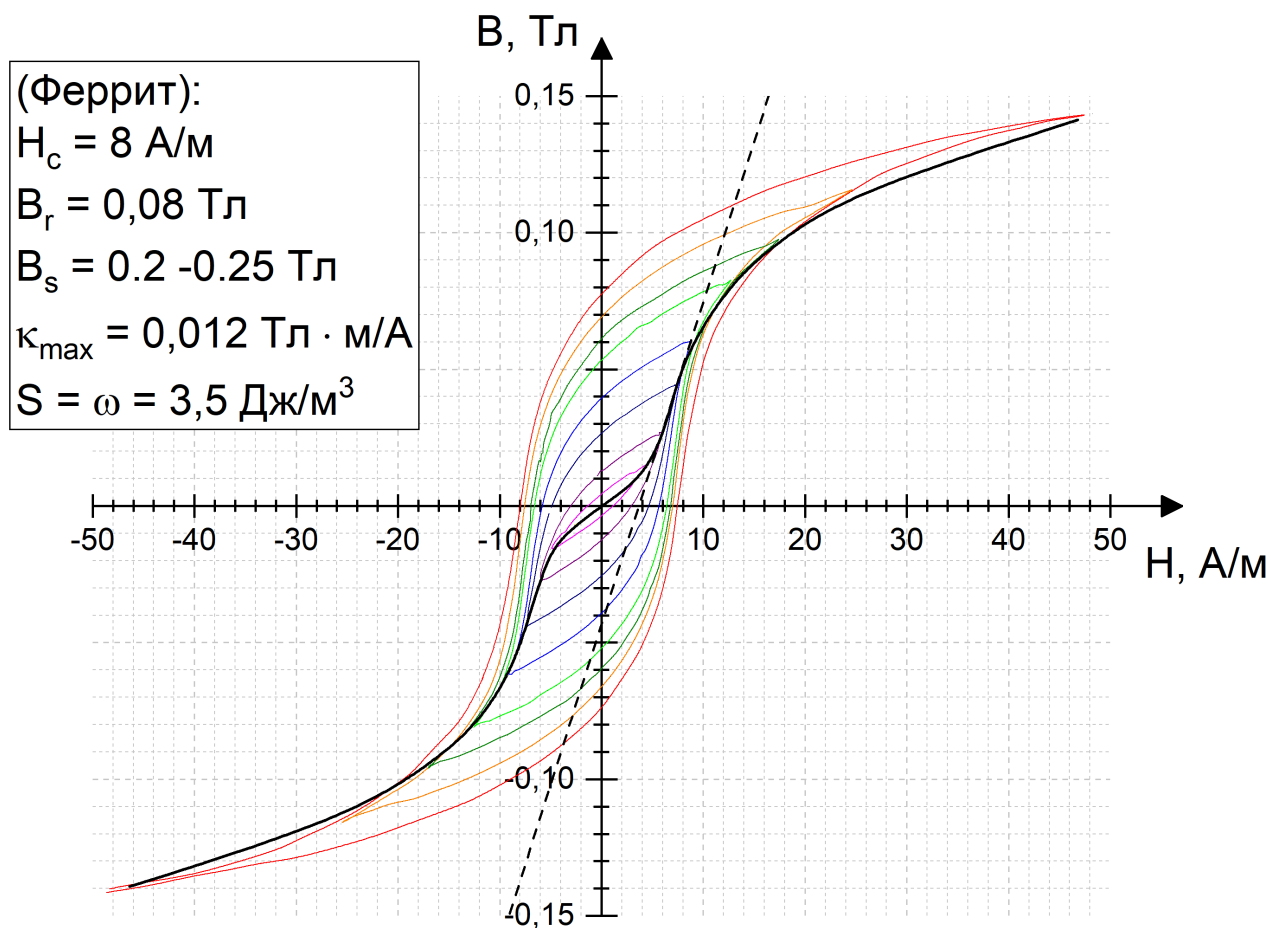


Рис. 5: График зависимости $B(H)$ для Феррита

Таблица 1: Значения исследуемых в работе величин

	Экспериментальные значения						Табличные значения		
	$H_c, \frac{\text{А}}{\text{м}}$	$B_r, \text{Тл}$	$B_s, \text{Тл}$	$\kappa_{\max}, \text{Тл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{А}}$	$\mu_{\max}, \text{ед. Си}$	$w, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$	$H_c, \frac{\text{А}}{\text{м}}$	$\mu_{\max}, \text{ед. Си}$	$B_s, \text{Тл}$
Fe-Ni	3	0.95	1.1	0.5	$4 \cdot 10^6$	13	4	$1 \cdot 10^6$	1.08
Fe-Si	80	0.7	2.0-2.2	0.011	$8.5 \cdot 10^3$	420	8	$40 \cdot 10^3$	2.0
Fe(техн)							80	$5 \cdot 10^3$	2.15
Феррит	9	0.08	0.2-0.25	0.012	$9.6 \cdot 10^3$	3.5	8-600	$(3-10) \cdot 10^3$	0.2-0.4

Вывод.

На основании имеющихся данных можно сделать несколько выводов. Во-первых, сравнивая значения максимальной проницаемости и коэрцивной силы для кремнистого и технического железа, можно прийти к заключению, что в исследуемом образце в состав сплава входит ощутимое количество примеси, либо же содержание кремния в вещества больше чем предполагается в таблице(3%). Во-вторых, довольно сильно отличаются значения максимальной проницаемости для пермаллового образца. Причина этого, увы, остается загадкой. В третьих, полученные значения для образца из феррита с хорошей степенью точности сходятся с табличными.