
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 17

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРОМАГНЕТИКА ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Построение графика зависимости магнитной проницаемости ферромагнетика от напряженности магнитного поля $\mu_r(H)$ и основной кривой намагничивания $B(H)$.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики -М.: Высшая школа, 1989. -§§ 24.3, 24.5, 25.2.
2. Калашников С.Г. Электричество. -М.: Наука, 1977.-§§ 93, 109-110, 119.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Среды, изменяющие внешнее магнитное поле, называются **магнетиками**.

По магнитным свойствам все вещества в природе делятся на 5 видов: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферри-магнетики (фериты).

Магнитную активность проявляют все вещества без исключения, следовательно, магнитные свойства их определяются элементарными частицами, входящими в состав каждого атома: электроны, протоны, нейтроны.

Ферромагнетики — это вещества, обладающие спонтанной намагниченностью, т.е. они намагничены даже при отсутствии внешнего магнитного поля. К ферромагнетикам кроме основного их представителя — железа (от него и идет название «ферромагнетизм») — относятся, например, кобальт, никель, гадолиний, их сплавы и соединения.

Ферромагнетики помимо способности сильно намагничиваться обладают еще и другими свойствами, существенно отличающими их от диа- и парамагнетиков. Если для слабомагнитных веществ зависимость J (намагниченности) от H (напряженности магнитного поля) линейна, то для ферромагнетиков эта зависимость, впервые изученная в 1878 г. методом баллистического гальванометра для железа русским физиком А.Г.Столетовым (1839—1896), является довольно сложной (см. рис. 1). По мере возрастания H намагниченность J сначала растет быстро, затем медленнее и, наконец, достигается так называемое **магнитное насыщение** $J_{\text{нас}}$, уже не зависящее от напряженности поля.

Подобный характер зависимости J от H можно объяснить тем, что по мере увеличения намагничивающего поля возрастает степень ориентации молекулярных магнитных моментов по полю. Однако этот процесс начнет замедляться, когда остается все меньше и меньше неориентированных моментов, и,

наконец, когда все моменты будут ориентированы по полю, дальнейшее увеличение J прекращается и наступает магнитное насыщение.

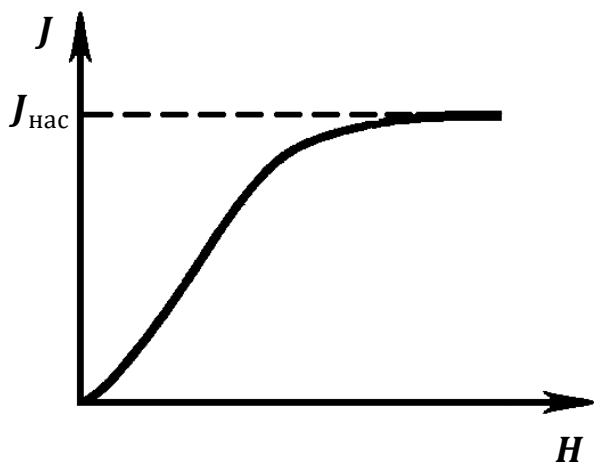


Рис. 1

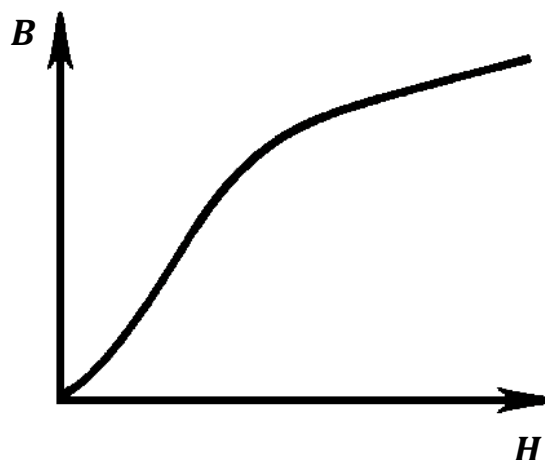


Рис. 2

Магнитная индукция $B = \mu_0(H + J)$ в слабых полях растет быстро с увеличением J вследствие возрастания J , а в сильных полях, поскольку второе слагаемое постоянно ($J = J_{\text{нас}}$), B возрастает с увеличением H по линейному закону (рис. 2).

Существенная особенность ферромагнетиков — не только большие значения μ (например, для железа — 5000, для сплава супермаллоя — 800 000!), но и зависимость μ от H (рис. 3). Вначале μ растет с увеличением H , затем, достигая максимума, начинает уменьшаться, стремясь в случае сильных полей к 1 ($\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = 1 + \frac{J}{H}$, поэтому при $J = J_{\text{нас}} = \text{const}$ с ростом H , отношение $\frac{J}{H} \rightarrow 0$, а $\mu \rightarrow 1$).

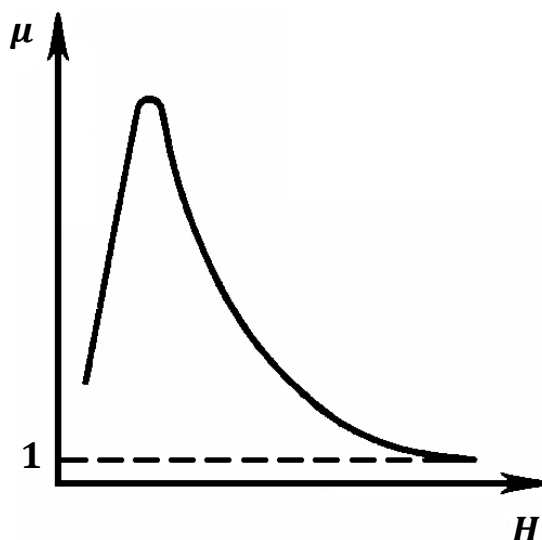


Рис. 3

Ферромагнетики — это сильные магнетики, обладающие особыми магнитными свойствами. Магнитная проницаемость ферромагнетиков μ_r зависит от напряженности H магнитного поля. По этой причине от величины H зависят и те характеристики контура, которые связаны с магнитной проницаемостью среды, например, индуктивность соленоида L :

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (1)$$

и его индуктивное сопротивление переменному току X_L :

$$X_L = \omega L, \quad (2)$$

где μ_0 — магнитная постоянная; N — число витков соленоида, S — площадь поперечного сечения сердечника соленоида; l — длина средней осевой линии сердечника; ω — циклическая частота переменного тока ($\omega = 2\pi\nu$).

В данной работе измерение магнитной проницаемости сердечника μ_r основано, согласно формуле (1), на измерениях индуктивности L катушки и ее геометрических параметров N , l и S . Для определения индуктивности достаточно измерить индуктивное сопротивление катушки переменному току известной частоты ω . Полное сопротивление катушки переменному току

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \quad (3)$$

так как обычно $R \ll X_L$, то величиной активного сопротивления катушки R можно пренебречь по сравнению с индуктивным сопротивлением переменному току частоты 200 Гц.

Закон Ома позволяет определить величину Z путем измерений тока I и напряжения U на участке цепи, содержащем соленоид:

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (4)$$

Расчетная формула для определения магнитной проницаемости, полученная с использованием выражений (1) - (4), имеет следующий вид:

$$\mu_r = \frac{Ll}{\mu_0 N^2 S} = \frac{l}{\omega \mu_0 N^2 S} \cdot \frac{U}{I} = K \cdot \frac{U}{I}, \quad (5)$$

где $K = \frac{l}{\omega \mu_0 N^2 S}$ — постоянная установки.

Напряженность магнитного поля, которое создается в кольцевом сердечнике при протекании по обмотке тока I , можно рассчитать по формуле

$$H = \frac{NI}{l}. \quad (6)$$

Таким образом, каждому значению тока I соответствуют определенная напряженность магнитного поля H , магнитная проницаемость сердечника μ_r и индукция магнитного поля B :

$$B = \mu_r \mu_0 H. \quad (7)$$

Определяя величины H , μ_r и B при различных токах, можно экспериментально установить следующие зависимости:

а) $B = f(H)$ — зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля (основная кривая намагничивания ферромагнетика);

б) $\mu_r = f(H)$ — зависимость магнитной проницаемости сердечника от напряженности магнитного поля.

4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Миниблок «Ферромагнетик».
2. Миниблок «Сопротивление».
3. Генератор сигналов специальной формы.
4. Мультиметры.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Электрическая схема установки показана на рис. 4, монтажная — на рис. 5.

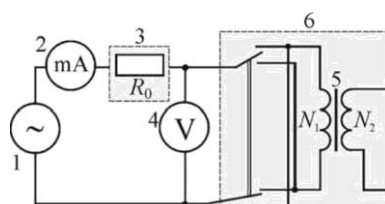


Рис. 4. Электрическая схема:

1 — генератор сигналов специальной формы; 2 — мультиметр (*режим $A \sim 200$ мА, входы COM, A*); 3 — блок «Сопротивление», $R_0 = 100$ Ом; 4 — мультиметр (*режим $V \sim 2$ В, входы COM, V Ω*); 5 — кольцевой сердечник с обмотками N_1 и N_2 ; 6 — блок «Ферромагнетик»

На кольцевой сердечник 5, изготовленный из исследуемого ферромагнитного материала, намотаны N_1 проволочных витков. Эта обмотка, по которой пропускают переменный ток частоты 200 Гц, служит для намагничивания магнетика, и по ее параметрам определяют напряженность H намагничивающего поля. Генератор сигналов специальной формы 1 позволяет изменять напряжение U , а следовательно, и ток I в обмотке тороида. Эти величины измеряют соответственно вольтметром 4 и миллиамперметром 2.

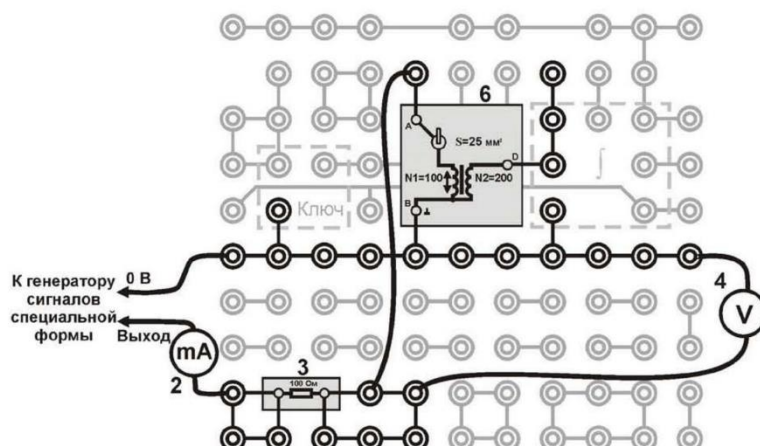


Рис. 5. Монтажная схема
2, 3, 4, 6 — см. рис. 4

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запишите в таблицу параметры установки и исследуемого образца:
Таблица 1.

Условия эксперимента

Число витков обмотки тороида	Длина средней осевой линии сердечника	Площадь сечения сердечника	Циклическая частота.	Постоянная установки
$N=100$	$l=37,7$ мм	$S=25$ мм ²	$\omega=400$ пс ⁻¹	$K = \dots \dots A / B$

2. Соберите электрическую цепь по монтажной схеме, приведенной на рис.5.
3. Перед включение показать собранную схему преподавателю или инженеру.
4. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжений и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка».
5. Кнопками установки частоты «0.2-20 кГц» установите 200 Гц.

Таблица 2.

U, B	I, mA	$H, A/m$	μ_r	B, mTl
.	5	.	.	.
.
.
.
.
.	55	.	.	.

6. Кнопками установки уровня «0 - 15 В» генератора сигналов специальной формы установите в обмотке тороида ток $I \approx 5$ мА. Запишите в таблицу показания тока и напряжения.
7. Изменяя ток в обмотке тороида с шагом ≈ 5 мА до ≈ 55 мА, измерьте напряжения. Запишите в таблицу показания тока и напряжения.
8. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжений и блока мультиметров.
9. По требованию преподавателя повторить пункты 1-8, но для 200 витков в обмотке тороида.

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Вычислите постоянную установки K в соответствии с формулой (5):

$$k = \frac{l}{\omega \mu_0 N^2 S} = \dots A / B$$

Результат расчетов запишите в таблицу 1.

2. Для каждого значения тока рассчитайте величины H , μ_r и B по формулам (6), (5) и (7). Результаты расчетов запишите в таблицу.

3. По данным таблицы постройте основную кривую намагничивания $B = f(H)$ и график зависимости $\mu_r = f(H)$

4. В выводе по работе отразите особенности формы опытных кривых:

а) сопоставьте ход кривой намагничивания с положением максимума на графике $\mu_r = f(H)$;

б) сравните полученные кривые с известными теоретическими и экспериментальными зависимостями.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое магнитная проницаемость?

2. Классификация магнетиков по магнитной проницаемости.

3. Как ведут себя диа- пара- и ферромагнетики во внешнем магнитном поле?

4. Покажите вид основной кривой намагничивания $B = f(H)$ и графика зависимости относительной магнитной проницаемости от напряженности $\mu_r = f(H)$ магнитного поля для ферромагнетиков:

а) при $T < T_c$; б) при $T > T_c$; (T_c — температура Кюри).

5. Чем отличается основная кривая намагничивания ферромагнетика от аналогичной зависимости $B = f(H)$ для неразмагниченного образца?

6. Назовите характерные свойства ферромагнетиков и особенности их намагничивания.

7. Опишите изменения доменной структуры ферромагнетика в процессе его намагничивания (по мере роста напряженности поля H).

8. От каких величин зависят:

а) напряженность H магнитного поля тороида;

б) индукция B магнитного поля тороида с ферромагнитным сердечником;

в) магнитная проницаемость μ_r сердечника тороида?

9. Какая зависимость составляет основу метода определения магнитной проницаемости сердечника?

10. Какой закон используется в работе для определения полного сопротивления катушки в цепи переменного тока?

11. Какие измеряемые величины входят в расчетную формулу для магнитной проницаемости сердечника?

12. Какие экспериментальные зависимости можно получить, определяя μ_r , H и B при различных токах?

13. Какой элемент электрической цепи служит для изменения напряжения U ?

14. Какие формулы используют для определения следующих величин:

а) напряженности H магнитного поля в сердечнике;

б) магнитной индукции B ;

в) магнитной проницаемости μ_r материала сердечника?

15. Какие измеренные величины используются для построения основной кривой намагничивания?