

4758

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ КЮРИ ФЕРРОМАГНЕТИКА

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2014

УДК 537.226.4

Определение точки Кюри ферромагнетика: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: М.А. Буробин, Н.П. Овсянников; под ред. А.С. Иваникова. Рязань, 2014. 8 с.

Содержат основные теоретические сведения, порядок выполнения работы и итоговые контрольные вопросы.

Предназначены для студентов всех направлений подготовки бакалавров и специальностей, изучающих дисциплины «Физика», «Спецглавы физики».

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Ферромагнетики, намагниченность насыщения, магнитная индукция насыщения, точка Кюри

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ
(зав. кафедрой доц. М.В. Дубков)

Определение точки Кюри ферромагнетика

Составители: Буробин Михаил Анатольевич
Овсянников Николай Петрович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 30.01.14. Формат бумаги 60 × 84 1/16.

Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: исследование температурной зависимости индукции магнитного поля в ферромагнетике и определение точки Кюри.

Приборы и принадлежности: экспериментальный макет ФЭЛ-4, состоящий из исследуемого ферромагнитного образца, нагревателя, источника переменного тока, многофункционального цифрового измерительного прибора.

Элементы теории

Всякое вещество является магнетиком, то есть способно под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). Эффект намагничивания Ампер объяснил тем, что в молекулах вещества циркулируют круговые токи, обладающие магнитным моментом и создающие в окружающем пространстве магнитное поле.

В отсутствие внешнего магнитного поля молекулярные токи ориентированы хаотично (из-за теплового движения молекул), поэтому обусловленный ими результирующий магнитный момент равен нулю. Под действием поля магнитные моменты молекул приобретают преимущественную ориентацию в одном направлении, вследствие чего суммарный магнитный момент вещества становится отличным от нуля – вещество намагничивается.

Намагниченность вещества принято характеризовать вектором намагниченности – магнитным моментом единицы объема:

$$\vec{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_i \vec{p}_{mi}, \quad (1)$$

где \vec{p}_{mi} – магнитный момент отдельной молекулы.

Величина вектора намагничивания зависит от напряженности \vec{H} намагничивающего поля:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \quad (2)$$

где χ – магнитная восприимчивость вещества.

Таким образом, для описания магнитного поля магнетика пользуются тремя векторными величинами: вектором намагниченности \vec{J} , вектором напряженности поля \vec{H} и вектором магнитной индукции \vec{B} . Они взаимосвязаны следующим образом:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}), \quad (3)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Магнитная восприимчивость χ бывает как положительной, так и отрицательной. В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости все магнетики подразделяются на три группы:

- 1) диамагнетики, у которых $\chi < 0$ и мала по абсолютной величине: $|\chi| \sim 10^{-6}$ см³/г (удельная восприимчивость);
- 2) парамагнетики, у которых $\chi > 0$ и тоже мала: $\chi \sim 10^{-5} - 10^{-3}$ см³/г (удельная восприимчивость);
- 3) ферромагнетики, у которых $\chi > 0$ и достигает очень больших значений: $\chi \sim 10^2 - 10^5$.

Кроме того, в отличие от диа- и парамагнетиков, для которых χ не зависит от \vec{H} , магнитная восприимчивость ферромагнетиков является функцией напряженности магнитного поля.

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура, при которой области спонтанного намагничивания – домены распадаются и вещество утрачивает ферромагнитные свойства (становится обычным парамагнетиком). Эта температура называется *точкой Кюри*.

Точка Кюри – это температура T_K , выше которой намагниченность каждого домена ферромагнетика равна нулю. Причина этого – тепловое движение молекул, оказывающее дезориентирующее влияние на их собственные магнитные моменты. По мере уменьшения температуры ферромагнетика от точки Кюри его намагниченность возрастает, так как

магнитные моменты его молекул в пределах каждого домена стремятся выстроиться параллельно друг другу. При достаточно низких температурах магнитные моменты всех доменов устанавливаются вдоль внешнего магнитного поля. Наступает магнитное насыщение, при котором намагниченность ферромагнетика максимальна ($J = J_s$), а следовательно, и магнитная индукция также максимальна: $B_s \approx \mu_0 J_s$. Строго говоря, полное насыщение возможно лишь при абсолютной температуре $T=0$ К.

Метод эксперимента

В данной работе изучается железный сердечник трансформатора тороидальной формы, который при протекании тока в первичной (намагничивающей) обмотке намагничивается. Форма сердечника такова, что линии магнитной индукции проходят целиком в нем. В таком случае напряженность магнитного поля в ферромагнетике равна напряженности поля намагничивающих токов и может быть определена по формуле

$$H = In_1,$$

где I – сила тока, n_1 – число витков, приходящееся на единицу длины первичной обмотки.

При протекании в первичной обмотке переменного тока с циклической частотой ω

$$I = I_{\max} \sin \omega t \quad (4)$$

сердечник перемагничивается с той же частотой. При этом максимальное значение напряженности поля H_{\max} зависит от амплитудного значения силы тока:

$$H_{\max} = I_{\max} n_1.$$

Для определения соответствующего максимального значения магнитной индукции B_{\max} воспользуемся явлением электромагнитной индукции во вторичной (измерительной) обмотке трансформатора.

Допустим, ток в первичной обмотке изменяется по закону (4). Тогда магнитный поток Φ , пронизывающий поперечное сечение сердечника, должен меняться по тому же закону:

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t. \quad (5)$$

Согласно закону электромагнитной индукции, при изменении магнитного потока в поперечном сечении сердечника во вторичной обмотке трансформатора возникнет э.д.с. индукции:

$$\varepsilon = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (6)$$

где N_2 – число витков во вторичной обмотке.

С учетом формулы (5) выражение (6) примет вид

$$\varepsilon = -N_2 \frac{d}{dt} (\Phi_{\max} \sin \omega t) = -\omega N_2 \Phi_{\max} \cos \omega t. \quad (7)$$

Амплитуду магнитного потока Φ_{\max} выразим через магнитную индукцию B_{\max} и площадь S поперечного сечения сердечника:

$$\Phi_{\max} = B_{\max} S.$$

Тогда выражение (7) будет выглядеть так:

$$\varepsilon = -\omega N_2 B_{\max} S \cos \omega t. \quad (8)$$

В формуле (8) амплитудное значение э.д.с. индукции равно:

$$\varepsilon_{\max} = \omega N_2 B_{\max} S.$$

Отсюда

$$B_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max}}{\omega N_2 S} = \frac{\varepsilon_{\max}}{2\pi \nu N_2 S}, \quad (9)$$

где $\nu = \omega / 2\pi$ – частота переменного тока.

Вольтметр, подключенный к вторичной обмотке трансформатора, покажет не амплитудное, а эффективное значение напряжения $U_2 = \varepsilon_{\max} / \sqrt{2}$. Тогда формула (9) примет вид

$$B_{\max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{2\pi \nu N_2 S}. \quad (10)$$

Таким образом, измеряя напряжение U_2 во вторичной обмотке трансформатора, можно найти магнитную индукцию B_{\max} в сердечнике.

Описание экспериментальной установки

Для определения точки Кюри в данной работе применяется установка, упрощённая принципиальная блок-схема которой приведена на рис. 1.

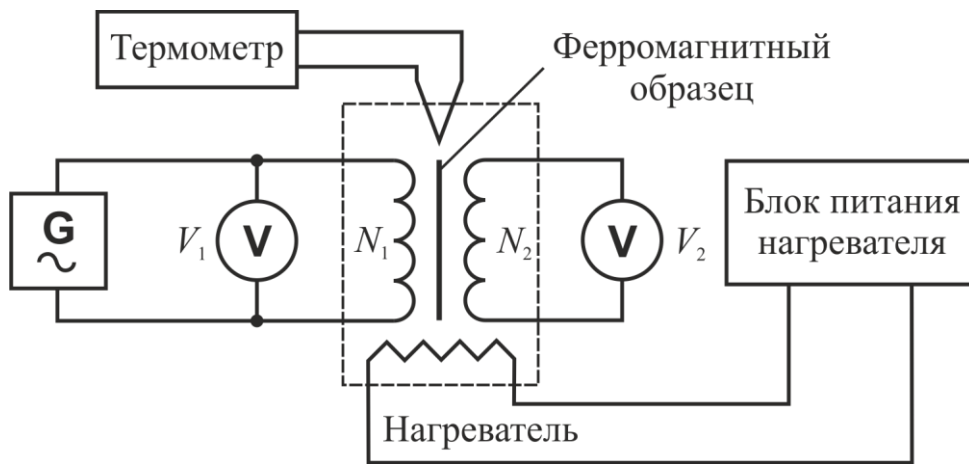


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Конструктивно установка состоит из электропечи, которая нагревает исследуемый образец – ферромагнитный сердечник трансформатора. Температура измеряется с помощью цифрового термометра, датчик которого размещен в полости электропечи. Точность измерения температуры составляет $\pm 1^\circ\text{C}$.

К первичной обмотке трансформатора подключен источник переменного тока G . Напряжение U на первичной обмотке N_1 и напряжение U_2 на вторичной обмотке N_2 измеряются вольтметрами V_1 и V_2 соответственно. Значения температуры t , напряжений U и U_2 отображаются на ЖК-дисплее multifunctional измерительного устройства.

Нагревом образца управляют с помощью кнопок «МОЩНОСТЬ НАГРЕВАТЕЛЯ». Нажатие и удержание одной из кнопок приводит к плавному изменению (увеличению или уменьшению) мощности нагрева. Величина мощности P_{ht} также отображается на дисплее измерительного устройства в процентах от максимально возможного значения.

В установке предусмотрена система принудительного охлаждения печи, управление которой осуществляется кнопками «ОХЛАЖДЕНИЕ ВКЛ/ВЫКЛ» при их нажатии и удержании в течение 1 секунды. В момент переключения на дисплее измерительного устройства появляется информация о текущем состоянии системы охлаждения: «FAN ON» или «FAN OFF». В случае перегрева печи свыше 100 °С нагрев прекращается и автоматически включается охлаждение.

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы ознакомится с принципиальной схемой лабораторной установки, разобраться в назначении кнопок и переключателей.

2. Подготовить таблицу для записи результатов измерений.

$t, ^\circ\text{C}$	$U_2, \text{В}$	$T, \text{К}$	$B_s, \text{Тл}$
30			
34			
38			
...			

3. Включить установку переключателем «СЕТЬ», при этом должны загореться световой индикатор и подсветка ЖК-дисплея измерительного устройства. Дать установке прогреться в течение 3–5 минут.

4. Установить мощность нагрева печи равной 50 % от

максимальной. Приступить к измерению зависимости $U_2 = f(t)$, записывая через 4 °С значения температуры и напряжения. Измерение рекомендуется начинать при температуре 30 °С, когда ферромагнитный образец достаточно равномерно прогреется.

5. При достижении температуры 50 °С мощность нагрева рекомендуется повысить до 70–90 % и измерения производить с шагом по температуре 2 °С.

6. Нагрев производить до температуры 74–76 °С, после чего включить охлаждение и охлаждать печь в течение 15–30 минут до достижения практически комнатной температуры (25 °С).

Внимание! Не выключать охлаждение, пока печь не остынет.

7. Выключить установку переключателем «СЕТЬ».

Обработка результатов

1. По данным таблицы с помощью формулы (10) рассчитайте для каждой температуры значения магнитной индукции насыщения $B_S = B_{\max}$ и занесите их в таблицу. Данные для расчётов: количество витков вторичной обмотки $N_2=500$; частота переменного тока $\nu=50$ Гц; площадь поперечного сечения сердечника $S=4 \cdot 10^{-4}$ м².

2. Выразив температуру в кельвинах, постройте график зависимости $B_S = f(T)$.

3. По графику определите температуру Кюри T_K данного ферромагнетика как точку пересечения кривой с осью T . Если последняя экспериментальная точка отстоит далеко от оси температур, то T_K найдите путем линейной экстрапо-

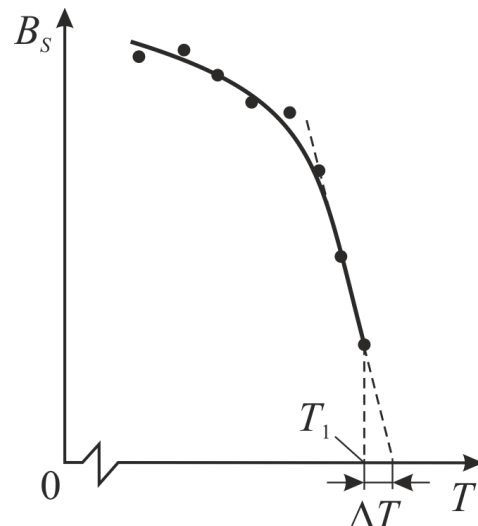


Рис. 2. Линейная экстраполяция зависимости $B_S = f(T)$

ляции опытной зависимости до значения $B_s=0$ (рис. 2). Для этого продолжите экспериментальную кривую из конечной точки до оси T двумя линиями: касательной к кривой и нормалью к оси. Измерив ширину интервала ΔT и температуру T_1 , оцените в первом приближении значение точки Кюри по формуле

$$T_K = T_1 + \frac{\Delta T}{2}.$$

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое магнетик? Опишите механизм намагничивания вещества.
2. Как классифицируются магнетики?
3. Что такое точка Кюри? Почему при определенной температуре ферромагнетики изменяют свои магнитные свойства?
4. Начертите и объясните схему установки.
5. Почему э.д.с. индукции во вторичной обмотке трансформатора резко уменьшается при достижении ферромагнитным сердечником точки Кюри?
6. Объясните методику определения точки Кюри ферромагнетика, применяемую в данной работе.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учебник. Том 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. М.: Лань, 2005. 3-е изд., стереотип. 480 с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2009. 8-е изд., стереотип. 720 с.
3. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебник. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. 7-е изд. 320 с.