

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ
МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
ФЕРРОМАГНЕТИКОВ**

САМАРА 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе № 2-23*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК 53(075)
ББК 22.313

Составители: *Н.М.Рогачев, А.А. Маркелов*

Рецензент Н.Д. Семкин, доктор технических наук, профессор

Исследование магнитных свойств ферромагнетиков: метод. указания к лаб. работе №2-23 / *Сост. Н.М. Рогачев, А.А. Маркелов.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 20 с.

Дается описание метода получения динамических петель гистерезиса ферромагнетика. Даются схемы и описание экспериментальных установок, порядок выполнения лабораторных работ и обработки полученных результатов, перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и список рекомендуемой литературы.

Предназначена для студентов всех факультетов.

УДК 53(075)
ББК 22.313

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

Лабораторная работа №2-23

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Цель работы: определение основных магнитных характеристик (магнитной индукции насыщения, остаточной намагниченности, коэрцитивной силы, относительной магнитной проницаемости) и построение кривой намагничивания исследуемого ферромагнетика.

Приборы и принадлежности: модуль ФПЭ – 07, содержащий ферромагнетик-сердечник с двумя обмотками, конденсатор и резистор; осциллограф С1-73; генератор сигналов Г6-46 и два цифровых милливольтметра В3-38.

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Всякое вещество является *магнетиком*, так как при внесении его во внешнее магнитное поле оно намагничивается, т.е. создает свое собственное магнитное поле, накладывающееся на внешнее поле.

По своим магнитным свойствам магнетики подразделяются на три группы: *диамагнетики*, *парамагнетики* и *ферромагнетики*. Ферромагнетики являются сильномагнитными материалами.

Как любое макроскопическое явление, намагничивание имеет микроскопическую природу. Существуют различные механизмы

намагничивания, но в каждом случае намагниченность обусловлена магнитными моментами молекул вещества, которые складываются:

- 1) из электронных орбитальных магнитных моментов $\vec{p}_0$;
- 2) электронных спиновых (собственных) магнитных моментов $\vec{p}_s$;
- 3) ядерных магнитных моментов $\vec{p}_я$.

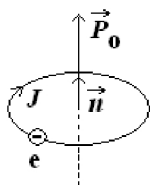


Рис. 1

Электронным орбитальным магнитным моментом $\vec{p}_0$, согласно простейшей модели атома Бора, обладает электрон, вращающийся вокруг ядра атома (рис.1). Такой электрон подобен круговому току $I=ev$, имеющему магнитный момент

$$\vec{p}_0 = IS\vec{n} = ev\pi r^2 \vec{n}.$$

Здесь e - заряд электрона; v - частота вращения электрона вокруг ядра; S и r - площадь и радиус круговой орбиты соответственно; $\vec{n}$ - единичная положительная нормаль к плоскости орбиты. Абсолютное значение орбитального магнитного момента $\vec{p}_0$ зависит от состояния электрона в атоме.

Электрон также обладает собственным (спиновым) магнитным моментом $\vec{p}_s$, являющимся таким же неотъемлемым свойством, как его масса и электрический заряд. Магнитный момент $\vec{p}_s$ имеет квантовую природу. Ядерный магнитный момент $\vec{p}_я$, присущий атомному ядру, либо очень мал, либо равен нулю, поэтому можно считать, что магнитный момент молекулы

$$\vec{p}_{mol} = \sum \vec{p}_o + \sum \vec{p}_s, \quad (1)$$

где суммирование берется по всем электронам молекулы. Каждому магнитному моменту молекулы соответствует элементарный круговой (молекулярный) ток, создающий в окружающем пространстве магнитное поле. У большинства магнетиков в отсутствие внешнего

магнитного поля магнитные моменты молекул из-за хаотической ориентировки, обусловленной тепловым движением, компенсируют друг друга. Молекулярные токи тоже беспорядочно ориентированы, поэтому обусловленное ими результирующее магнитное поле равно нулю: вещество не намагничено. При наличии внешнего магнитного поля с индукцией $\vec{B}_0$ магнитные моменты молекул приобретают преимущественную ориентацию в одном направлении, и вещество намагничивается. В этом случае возникает магнитное поле с индукцией $\vec{B}'$, которое накладывается на поле с индукцией $\vec{B}_0$. В результате индукция магнитного поля в веществе представляется в виде суммы:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'. \quad (2)$$

Степень намагничивания вещества характеризуется физической величиной, называемой *намагниченностью* $\vec{J}$. Намагниченность $\vec{J}$ – величина векторная, равная магнитному моменту единицы объема вещества:

$$\vec{J} = \Sigma \vec{p}_{\text{мол}} / (\Delta V), \quad (3)$$

где $\vec{p}_{\text{мол}}$ – магнитный момент отдельной молекулы; ΔV – физически бесконечно малый объем в окрестности данной точки магнетика. Суммирование берется по всем молекулам в объеме ΔV . Намагниченность $\vec{J}$ принято связывать не с магнитной индукцией $\vec{B}$, а с напряженностью магнитного поля $\vec{H}$:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \quad \vec{H} = \vec{B} / (\mu \mu_0), \quad (4)$$

где μ – магнитная проницаемость; χ – магнитная восприимчивость.

Магнитная проницаемость μ также характеризует влияние вещества на магнитное поле и показывает, во сколько раз магнитное поле

в веществе $\vec{B}$ меняется по отношению к магнитному полю в вакууме B_0 :

$$\mu = \vec{B} / \vec{B}_0 = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}) / \vec{B}_0. \quad (5)$$

Безразмерные величины χ и μ связаны между собой соотношением:

$$\mu = 1 + \chi. \quad (6)$$

Деление магнетиков на три группы осуществляется по знаку магнитной восприимчивости χ и по значению магнитной проницаемости μ :

- 1) диамагнетики $\chi < 0$; $1 - \mu = 10^{-6} \dots 10^{-8}$;
- 2) парамагнетики $\chi > 0$; $1 - \mu = 10^{-4} \dots 10^{-7}$;
- 3) ферромагнетики $\chi \gg 0$; $\mu \approx 10^3 \dots 10^6$.

К *диамагнетикам* относятся вещества, молекулы которых не обладают магнитными моментами, т.е. в отсутствии внешнего магнитного поля орбитальные и спиновые магнитные моменты электронов взаимно скомпенсированы. При внесении диамагнетика во внешнее поле он намагничивается против поля, что объясняется явлением, получившим название «ларморова прецессия электронных орбит». Диамагнетиками являются инертные газы, водород, кремний, фосфор, золото, висмут и др.

К *парамагнетикам* относятся вещества, атомы и молекулы которых в отсутствии внешнего магнитного поля имеют отличные от нуля магнитные моменты. Вследствие теплового движения молекул их магнитные моменты ориентированы в пространстве хаотично, и в целом парамагнетик не намагничен. Во внешнем поле с индукцией $\vec{B}_0$ на каждую молекулу действует вращающий момент $\vec{M} = [\vec{p}_o, \vec{B}_0]$, стремящийся установить магнитные моменты молекул вдоль поля, что приводит к намагничиванию парамагнетика. К парамагнетикам относятся

щелочные металлы, алюминий, марганец, хром, платина, редкоземельные элементы и др.

Ферромагнетиками называются твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью.

Ферромагнетики, в отличие от слабомагнитных диа- и парамагнетиков, являются сильномагнитными средами. Магнитное поле, создаваемое ими, может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее поле. Ферромагнетизм наблюдается у железа, кобальта, никеля и у их многочисленных сплавов.

Отмеченные характерные свойства ферромагнетиков объясняются их микроструктурой. Ферромагнетики состоят из малых областей, называемых *доменами*. Домены имеют размер порядка 1–10 мкм, намагничены до насыщения, т.е. в пределах домена магнитные моменты всех атомов имеют одинаковые направления. Однако направления магнитных моментов разных доменов ориентированы хаотично, и в отсутствие внешнего магнитного поля суммарный магнитный момент ферромагнетика может быть равен нулю.

Причины возникновения определенного порядка в расположении магнитных моментов атомов в твердых телах связаны с особенностями электронной структуры кристаллов и природой сил, вызывающих спиновую упорядоченность. Согласно квантовой теории ферромагнетизма решающую роль в создании спонтанной намагниченности играют силы обменного взаимодействия между микрочастицами, не имеющие аналога в классической физике, хотя и являются электростатическими по своему происхождению. Из опытов по изучению магнитомеханических явлений следует, что ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются *спиновые магнитные моменты электронов*.

При внесении ферромагнетика в магнитное поле происходит его намагничивание. Намагничивание состоит:

во-первых, в смещении границ доменов и росте размеров тех доменов, векторы магнитных моментов которых близки по направлению к магнитной индукции внешнего намагничивающего поля $\vec{B}_0$ и, во-вторых, в повороте магнитных моментов целых доменов по направлению внешнего магнитного поля.

В достаточно сильном магнитном поле достигается состояние насыщения, когда весь образец намагничен по полю (рис. 2,а, участок 1–2).

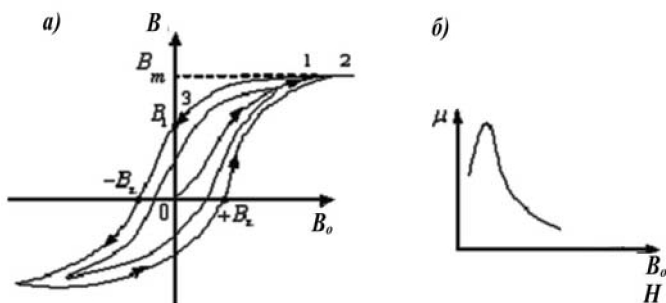


Рис. 2

На рис. 2,а изображена кривая, получившая название *петли гистерезиса*. Намагничивание происходит по кривой 0–1, которая называется *кривой намагничивания*. Магнитный гистерезис объясняется доменной структурой ферромагнетика. В процессе намагничивания ферромагнетика происходит увеличение доменов, особенно тех, магнитные моменты которых имеют малый угол с вектором $\vec{B}_0$. По мере усиления внешнего магнитного поля этот процесс захватывает все большее число доменов, магнитные моменты которых ориентируются по полю. И, наконец, в точке 1 (рис. 2,а) наступает насыщение – магнитный момент ферромагнетика достигает максимума. Дальнейшее увеличение магнитной индукции внешнего поля вызывает лишь незначительное ли-

нейное увеличение магнитной индукции в ферромагнетике (участок 1-2). Величина магнитной индукции $\vec{B}_m$, соответствующая участку 1-2, называется *индукцией насыщения*.

При уменьшении индукции намагничивающего поля $\vec{B}_0$ магнитная индукция $\vec{B}$ в ферромагнетике изменяется по кривой, лежащей выше кривой намагничивания 0-1. При $\vec{B}_0 = 0$ индукция магнитного поля в ферромагнетике отлична от нуля, т.е. наблюдается остаточная намагниченность $\vec{B}_1$. Она обусловлена тем, что после прекращения действия внешнего магнитного поля у части доменов сохраняется преимущественная ориентация их магнитных моментов. Чтобы полностью размагнитить ферромагнетик, следует создать в нем магнитное поле противоположного направления с индукцией $\vec{B}_k$. Величина $\vec{B}_k$ называется *коэрцитивной* (задерживающей) *силой*. Коэрцитивная сила характеризует свойство ферромагнетиков сохранять намагниченность после прекращения действия намагничивающего поля. Эта величина, наряду с магнитной проницаемостью, определяет область практического применения ферромагнетика.

Большой коэрцитивной силой (широкой петлей гистерезиса) обладают *магнитотвердые ферромагнетики*, используемые для изготовления постоянных магнитов. Малую коэрцитивную силу (узкую петлю гистерезиса) имеют *магнитомягкие ферромагнетики*, используемые для изготовления сердечников трансформаторов, магнитных цепей и т.д.

Чтобы размагнитить ферромагнетик, нужно изменить направление намагничивающего поля. Возвращаясь постепенно к индукции $\vec{B}_0$, в точке 1 (рис. 2,а) намагниченность ферромагнетика вновь достигнет насыщения. В результате получим замкнутую кривую – петлю гистерезиса.

Схема ориентации магнитных моментов в доменах при намагничивании показана на рис.3.

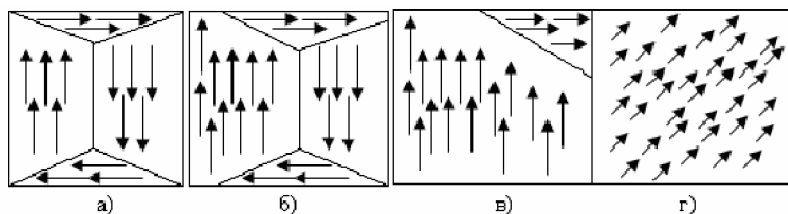


Рис. 3.

Ферромагнетик размагничен (рис. 3,а), магнитные моменты в домене ориентированы в противоположных направлениях и суммарный магнитный момент домена равен нулю. Остаточной намагниченности в ферромагнетике не возникает. На рис. 3,б показана ориентация магнитных моментов в слабом магнитном поле, а на рис. 3в – в сильном. Ориентация магнитных моментов при насыщении изображена на рис 3,г.

Важной характеристикой магнетиков является относительная магнитная проницаемость μ . Согласно формуле (5), она показывает, во сколько раз магнитное поле в ферромагнетике больше намагничивающего поля.

Данное определение справедливо для однородного магнетика, находящегося в области, ограниченной силовыми линиями магнитного поля. В реальных телах из ферромагнетиков усиление поля будет меньше, чем в μ раз. Относительная магнитная проницаемость ферромагнетиков является нелинейной функцией индукции намагничивающего поля $\vec{B}_0$ (рис. 2,б). При увеличении $\vec{B}_0$ магнитная проницаемость сначала растет, достигая $\mu_{\max}$, а затем убывает, асимптотически приближаясь к единице при очень сильных магнитных полях.

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура, при которой домены разрушаются и ферромагнетик превращается в парамагнетик. Эта температура называется *точкой Кюри*.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки показана на рис.4. Установка состоит из модуля ФПЭ-07, осциллографа С1-73, генератора сигналов Г6-46 и двух милливольтметров ВЗ-38. В модуле ФПЭ-07 размещается ферромагнитный сердечник трансформатора с двумя обмотками, два резистора и конденсатор.

Переменное напряжение от генератора сигналов Г6-46 подается на первичную обмотку сердечника. Ток, проходя по первичной обмотке, создает в сердечнике намагничивающее поле, амплитуда магнитной индукции которого можно определить по формуле:

$$B_0 = \mu_0 n_1 I_{1m}, \quad (7)$$

где n_1 – число витков на единицу длины первичной обмотки; I_{1m} – амплитудное значение силы тока в обмотке.

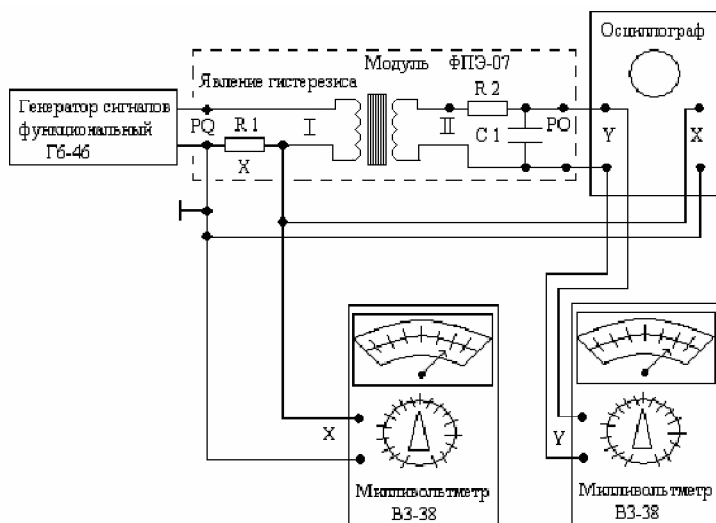


Рис.4

Падение напряжения, подаваемого на первичную обмотку, на резисторе R_1 определяется выражением:

$$U_x = I_{1m} R_1. \quad (8)$$

После подстановки (7) в (8) и последующих преобразований получим:

$$U_x = R_1 B_0 / (n_1 \mu_0). \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что падение напряжения U_x пропорционально магнитной индукции B_0 .

Во вторичной обмотке сердечника переменный магнитный поток наводит ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = - d\Psi/dt. \quad (10)$$

Так как магнитный поток $\Psi = BSN_2$, то выражение (10) преобразуется к виду:

$$\mathcal{E}_i = -N_2 S \frac{dB}{dt}, \quad (11)$$

где N_2 – число витков вторичной обмотки; S – площадь сечения сердечника; B – индукция магнитного поля в сердечнике.

Под действием ЭДС индукции во вторичной обмотке возникает ток i_2 . Если сопротивление резистора R гораздо больше емкостного сопротивления конденсатора, а индуктивность вторичной обмотки мала, то можно считать, что ЭДС $\mathcal{E}_i$ полностью расходуется на падение напряжения на резисторе R_2 , т.е. $-N_2 S \frac{dB}{dt} = i_2 R_2$; откуда ток во вторичной обмотке

$$i_2 = -\frac{N_2 S}{R_2} \cdot \frac{dB}{dt} \quad (12)$$

Этот ток, проходя через конденсатор, создает на нем падение напряжения

$$U_y = q/C. \quad (13)$$

Заряд q связан с током i соотношением $i=dq/dt$, откуда следует, что $q = \int i dt$. С учетом этого, а также формулы (12), выражение (13) примет вид:

$$U_y = \frac{N_2 S}{R_2 C} \int \frac{dB}{dt} dt = \frac{N_2 S}{R_2 C} B. \quad (14)$$

Таким образом, напряжение U_y пропорционально индукции магнитного поля B в сердечнике.

Если подать напряжения U_x и U_y на соответствующие клеммы осциллографа X и Y , то одновременное действие этих напряжений приводит к тому, что электронный луч опишет на экране осциллографа гистерезисный цикл за один период изменения тока в первичной обмотке. Если изменять ток I_{lm} , то на экране осциллографа для каждого значения силы тока будет наблюдаться определенная петля гистерезиса. Геометрическое место вершин симметричных гистерезисных петель (рис.2,а) представляет собой кривую намагничивания $B = f(B_0)$.

Напряжение, снимаемое с резистора R_1 (модуль ФПЭ-07), пропорционально намагничивающему току I , и, следовательно, индукции магнитного поля вне вещества. Сигнал, снимаемый с резистора R_1 , подается на пластины горизонтального отклонения луча осциллографа (вход X). Индукция магнитного поля вне вещества B_0 и напряжение на резисторе R_1 связаны соотношением:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot n_1}{R_1 \cdot l_{cp}} \cdot U_x, \quad (15)$$

где U_x – напряжение на резисторе сопротивлением R_1 , n_1 – число витков в первичной обмотке, l_{cp} – длина средней линии магнитопровода, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

С цепочки R_2C снимается напряжение U_y , которое пропорционально магнитной индукции в веществе, и подается на пластины вертикального отклонения луча осциллографа (вход Y). С выхода интегрирующей цепочки снимается зависимость магнитной индукции B от напряжения U_y , которые связаны между собой соотношением:

$$B = \frac{R_2 \cdot C}{n_2 \cdot S} \cdot U_y, \quad (16)$$

где U_y – напряжение на конденсаторе; R_2 – значение сопротивления в цепочке; C – емкость конденсатора в цепочке; S – площадь магнитопровода, на который намотана катушка; n_2 – число витков во вторичной обмотке.

Исходя из представленных зависимостей, можно произвести исследование магнитных свойств ферромагнитных материалов: на экране осциллографа при максимальной амплитуде сигнала генератора низкой частоты получаем петлю гистерезиса, на которой определяем коэрцитивную силу и остаточную индукцию магнитного поля. При помощи милливольтметров ВЗ-38 получаем экспериментальную зависимость B от B_0 , и определяем магнитную проницаемость μ данного материала.

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Перед измерениями необходимо заполнить табл. 1 с данными установки.

Таблица 1

Данные установки

Число витков на единицу длины первичной обмотки $n_1, \text{вит}/\text{м}$	Сопротивление резистора в первичной обмотке $R_1, \text{Ом}$	Сопротивление резистора во вторичной обмотке $R_2, \text{Ом}$	Емкость конденсатора во вторичной обмотке $C, \text{мкФ}$	Число витков на единицу длины вторичной обмотки $n_2, \text{вит}/\text{м}$	Площадь сечения образца ферромагнетика $S, \text{мм}^2$	$l_{\text{ср}}, \text{мм}$ длина средней линии магнитопровода
90	51	4300	0,22	90	12,5	58

Настройка измерительных приборов

Генератор Г6-46:

1. Включить питание генератора Г6-46 и милливольтметров В3-38. Прогреть приборы в течение 1 минуты.

2. На генераторе Г6-46 нажать кнопку, расположенную под ручкой «Смещение», и, поворачивая ручку «Смещение», выставить максимальные положения стрелок милливольтметров по «X» и «Y». Полученные данные соответствуют симметричной петле гистерезиса на экране осциллографа.

3. Аттенюатор генератора (делитель выходного сигнала) поставить в положение «0».

4. Переключатель диапазона частот поставить в положение 10 кГц, нажав при этом соответствующую кнопку.

5. Для генерации Г6-46 синусоидального сигнала, на переключателе «режим» нажать кнопку [~].

6. Ручками «грубо–плавно» установить частоту генерации синусоидального сигнала равной 2 кГц.

Милливольтметр ВЗ-38

7. Ручки входного делителя сигнала поставить в положение 1 вольт. Измерение вести по верхней шкале, предварительно определив цену одного деления, и, умножая показания стрелки прибора на цену деления. Если ручки входного делителя поставить в положение 3 вольта, то измерения вести по средней шкале прибора, предварительно так же определив цену одного деления.

8. Измерение амплитудных значений кривой намагничивания ферромагнетика вести следующим образом:

а) милливольтметры экспериментальной установки измеряют и показывают эффективные значения напряжений $U_{эфф}$, а координаты вершин петель гистерезиса определяются амплитудными значениями напряжений U_a , которые связаны зависимостью $U_a = \sqrt{2} U_{эфф}$.

б) не изменяя частоту генерации Г6-46, ручкой «амплитуда» постепенно уменьшать амплитудное значение синусоидального сигнала до нуля, после выполнения эксперимента вернуть максимальное значение амплитуды сигнала.

При помощи милливольтметров ВЗ-38 записать эффективные значения напряжения выходного сигнала по «Х» и «Y» в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов по определению кривой намагничивания и от-носительной магнитной проницаемости исследуемого ферромагнетика

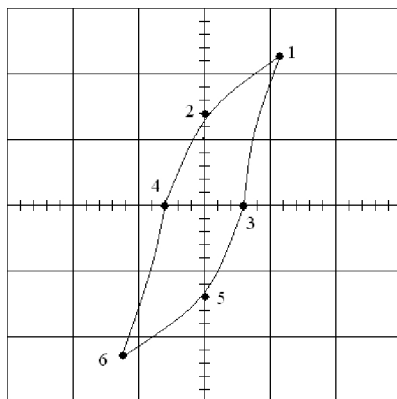
№ п/п	Эффективное значение напря- жения, $U_{эфф}$, В		Амплитудное значе- ние координат вер- шин петли гистере- зиса, $U_{амп} = \sqrt{2} \cdot U_{эфф}$		Магнитная индукция.		Относит. магнит- ная проница- емость μ
					намаг- ничива- ющего поля B_0 , Тл	поля в образце ферро- магнетика B , Тл	
	по оси Х	по оси Y	по оси X, U_x , В	по оси Y, U_y , В	10^{-5}		
1							
2							
3							
4							
:							
:							
19							
20							

9. По формулам (15) и (16) вычислить значения B_0 и B , записать в табл. 2. По формуле $\mu = B/B_0$ вычислить и записать в табл. 2 значения магнитной проницаемости.

10. По данным табл. 2 построить графики кривой намагничивания ферромагнетика и зависимость $\mu(B_0)$.

11. Подключив осциллограф, амплитуду сигнала генератора низкой частоты убрать до нуля, при этом на экране осциллографа появится светящаяся точка. Чтобы не прожечь люминофор электронно-лучевой трубки, яркость светящейся точки сделать минимальной ручкой управления яркостью осциллографа. Ручками перемещения луча по вертикали и горизонтали осциллографа, установить светящуюся точку в центр пересечения координатных линий (осей) на экране осциллографа. После чего, амплитуду сигнала генератора низкой частоты увеличить до максимума, в результате чего на экране осциллографа появится максимальная петля гистерезиса. Яркость экрана осциллографа увеличить до среднего значения.

12. Экран осциллографа С1-73 маленький, поэтому для комфортного отображения петли гистерезиса на графике, необходимо все контрольные точки петли (1-6) вместе с промежуточными точками, например, всего таких точек может быть больше 20, записать в отдельную таблицу, увеличить масштаб координатной оси на бумаге в несколько раз, и перенести контрольные точки на бумагу.



4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Вычислить B_0 и B для каждого опыта по формулам (15) и (16). Результаты расчетов записать в табл. 2.

4.2. Вычислить магнитную проницаемость μ для каждого опыта по формуле (5), результаты расчетов записать в табл. 2.

4.3. Рассчитать значения основных магнитных характеристик исследуемого ферромагнетика и записать их в табл. 3.

Таблица 3

Основные магнитные характеристики исследуемого ферромагнетика

Индукция насыщения B_m , Тл	Остаточная намагниченность $B_{ост}$, Тл	Коэрцитивная сила H_c А/м	Максимальное значение магнитной проницаемости μ

Таблица 4

Координаты характерных точек «максимальной» петли гистерезиса, выраженные в делениях сетки экрана осциллографа

Максимальная индукция B_m		Остаточная намагниченность $B_{ост}$		Коэрцитивная сила B_c	
x_m , дел	y_m , дел	$x_{ост}$, дел	$y_{ост}$, дел	x_c , дел	y_c , дел

4.4. Построить графики:

а) «максимальной» петли гистерезиса с использованием таблицы 4 и пункта 11 методики измерений.

б) кривой намагничивания $B = f(B_0)$ с использованием табл. 2.

в) зависимость $\mu = f(B_0)$, с использованием табл. 2.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое магнетик? Какие магнетики Вы знаете?
2. Какова природа ферромагнетизма?
3. Как объясняется явление магнитного гистерезиса в ферромагнетике?
4. Что называется кривой намагничивания?
5. Чем характеризуется степень намагниченности магнетика?
6. Нарисуйте петлю гистерезиса; укажите характерные точки петли и дайте их определение.
7. Поясните характер зависимостей $B = f(B_0)$ и $\mu = f(B_0)$.
8. Что такое относительная магнитная проницаемость магнетика?
9. Какое различие между магнитомягкими и магнитотвердыми материалами? Назовите области применения этих материалов.

6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев, И.В. Курс физики. Т.2 / И.В. Савельев – М.: «Наука», 1989.
2. Исследование магнитных свойств феррита: метод. указания / сост. Л.П. Муркин. – Самара: СГАУ, 2003.
3. Лабораторные занятия по физике / под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: «Наука», 1983.

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

*Методические указания
к лабораторной работе № 2-23*

Составители: ***Николай Михайлович Рогачев,
Александр Александрович Маркелов.***

Редактор И.И. Спиридонова
Вёрстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 02.01.2012. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ . Арт. М34 / 2012.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.