

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

Томский политехнический университет

---

УТВЕРЖДАЮ:

\_\_\_\_\_ Евтушенко Г.С.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2005г.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по подготовке и  
выполнению лабораторной работы № 406 по  
курсу "Методы и средства измерений" для  
студентов специальности 190900-  
Информационно-измерительная техника и  
технологии

Томск 2005г.

УДК 621.317.39 (075.8)

Измерение динамических магнитных характеристик ферромагнитных материалов. Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 406 по курсу "Методы и средства измерений" для студентов специальности 190900 – "Информационно-измерительная техника и технологии". Томск, изд. ТПУ, 2005. – 12 с.

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент В.В.Вотьяков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 26.01.2005г.

Зав. кафедрой ИИТ \_\_\_\_\_ В.К.Жуков

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 406

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### ВВЕДЕНИЕ

Магнитные измерения относятся к области измерительной техники, занимающейся измерением магнитных величин для определения параметров магнитных полей и характеристик материалов и изделий.

К основным задачам магнитных измерений можно отнести:

- измерение собственно физических магнитных величин;
- исследование свойств ферромагнитных материалов;
- исследование свойств неферромагнитных материалов;
- создание и исследование структуры сильных и сверхсильных магнитных полей;
- неразрушающий контроль качества ферромагнитных материалов и изделий;
- исследование различного рода электромагнитных устройств;
- изучение магнитного поля Земли и других планет;
- исследование слабых магнитных полей биологических объектов (магнитобиология) и др.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЯХ:

$H$  - напряженность магнитного поля, А/м;

$B$  - магнитная индукция, Тл;

$H_m$  - амплитудное значение напряженности поля, А/м;

$B_m$  - амплитудное значение магнитной индукции, Тл;

$H_{cd}$  - коэрцитивная сила динамическая, А/м;

$B_{rd}$  - остаточная индукция динамическая, Тл;

$\mu_a$  - магнитная проницаемость амплитудная, Гн/м;

$\mu_0$  - магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);

$P_{уд}$  - мощность удельных потерь на гистерезис и вихревые токи, Вт/кг;

$l_{cp} = 2\pi R_{cp}$  - длина средней силовой линии при среднем радиусе  $R_{cp}$  кольцевого образца, м;

$S_{cm}$  – поперечное сечение (по отношению к направлению намагничивания) испытуемого магнитного сердечника,  $м^2$ ,  
( $S_{cm} = \frac{D_{нар} - D_{вн}}{2} \cdot h$ , рис.1);

$W_1$  и  $W_2$  – соответственно числа витков намагничивающей и измерительной обмоток испытуемого образца;

$I_1$  – намагничивающий ток, А;

$E_2$  – эдс, снимаемая с измерительной обмотки, В;

$S_{Г}$  – площадь изображения в плоскости В-Н петли гистерезиса,  $мм^2$ , при выбранных масштабах по осям индукции  $m_B$ , Тл/мм, и  $m_H$ , (А/м)/мм;

$f$  – частота переменного тока, Гц.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов/ Б.Я.Андреев и др.; Под ред. Е.М.Душина. – 6-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

2. Электрические измерения: Учебное пособие для вузов/ В.Н.Малиновский, Р.М.Демидова-Панферова, Ю.Н.Евланов и др.; под ред. В.Н.Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 416с.

3. Испытание магнитных материалов и систем/ Е.В.Комаров, А.Д.Покровский, В.Г.Сергеев и др.; Под ред. И.И.Шихина. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

– Изучить магнитные физические величины, характеризующие магнитное поле и основные магнитные характеристики ферромагнитных магнитных материалов.

– Изучить методы измерения параметров магнитных полей.

– Изучить общую концепцию определения магнитных характеристик магнитных материалов. Подробнее рассмотреть методы измерения динамических магнитных характеристик.

– Внимательно ознакомиться с целью, программой и методикой проведения лабораторной работы.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить основные магнитные величины, характеризующие магнитное поле, намагничиваемые среды и методы их измерения.

1.2. Изучить основные магнитные характеристики ферромагнитных материалов.

1.3. Получить практические навыки измерения параметров магнитных полей

1.4. Получить практические навыки определения характеристик магнитных материалов (на примере определения динамических магнитных характеристик).

## 2 ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Изучить лабораторную установку в целом и входящие в ее состав объекты измерения и средства измерения.

2.2. Определить динамические магнитные характеристики для предлагаемого в работе ферромагнитного образца.

2.3. Провести обработку результатов измерений.

2.4. По полученным экспериментальным данным представить графические зависимости и сопоставить их с предполагаемыми для заданного варианта.

2.5. Представить выводы по результатам проделанной работы.

## 3. ОБЪЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Ферромагнитные образцы, для которых определяются магнитные характеристики (рис.1). Прежде всего это магнитные сердечники тороидальной или кольцеобразной

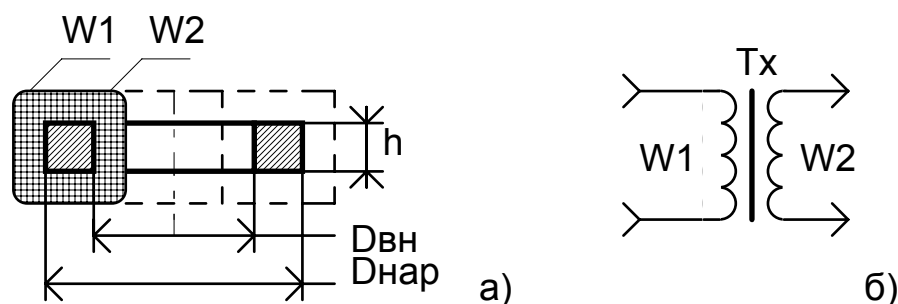


Рис.1

формы с размещенными на них намагничивающими  $W1$  и измерительными  $W2$  обмотками. Сердечники могут быть сплошными, наборными из штампованных колец или витыми из ленточного магнитного материала. На рис.1б показана принципиальная схема испытуемого образца. Для образца, используемого в работе, имеют место следующие параметры:  $W1=500$  вит.,  $W2=1000$  вит.,  $D_{вн}=95$  мм,  $D_{нар}=103$  мм, и  $h=20$  мм.

Примечание: В работе может быть представлен любой другой образец со своими параметрами.

3.2. Лабораторный макет, функциональная схема которого приведена на рис.2, питается от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

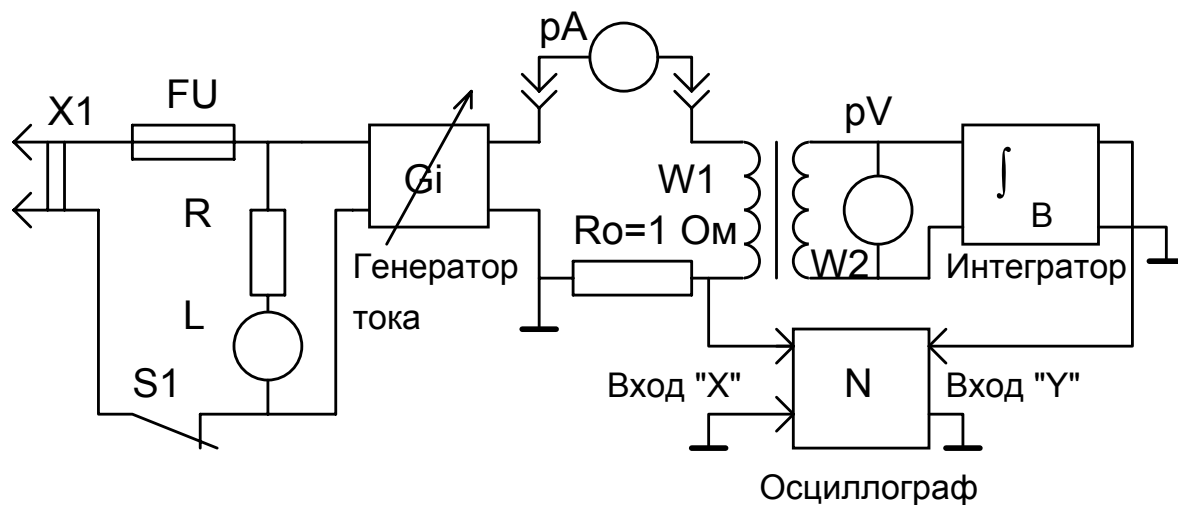


Рис.2

Макет содержит в себе регулируемый источник тока, интегратор по каналу индукции и коммутационные элементы для подключения внешних измерительных приборов и обмоток W1 и W2 испытуемого образца.

3.3. Электронный вольтметр средневыпрямленных значений.

3.4. Электронный осциллограф.

## 4 ОСНОВНЫЕ МАГНИТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 4.1. Параметры магнитного поля.

Основной физической величиной, характеризующей интенсивность магнитного поля в каждой точке пространства, служит вектор магнитной индукции  $B$  (в СИ-тесла, Тл). Наряду с ним, для характеристики магнитного поля используют другую величину -  $H$  (в СИ-А/м) напряженность магнитного поля. Величины  $B$  и  $H$  связаны между собой для вакуума (воздуха) соотношением  $B = \mu_0 H$ .

### 4.2. Основные магнитные характеристики.

В зависимости от рода магнитного поля, воздействующего на испытуемый ферромагнитный образец, различают *статические, динамические характеристики и характеристики сложного перемангничивания*. Статические характеристики имеют место при воздействии на испытуемый образец постоянных или медленно изменяющихся во времени

магнитных полей. Динамические – при воздействии переменных гармонических полей.

Третья группа – большой класс характеристик, получаемых в т.н. сложных полях (импульсные поля, одновременное действие в общем случае нескольких разнородных полей и т.д.)

Динамические магнитные характеристики, в отличие от статических, в значительной степени зависят не только от собственно свойств исследуемого материала, но и от ряда других факторов – формы кривой намагничивающего поля, его частоты, электропроводности материала образца, его геометрических формы и размеров, в общей совокупности влияющих на интенсивность и распределение вихревых токов

К динамическим характеристикам относятся:

- динамические гистерезисные циклы (петли магнитного гистерезиса)  $-B_t = f(H_t)$ , определяемые для различных значений амплитуды переменного магнитного поля  $H_m$ , а вместе представляют семейство динамических гистерезисных циклов (Рис. 3);

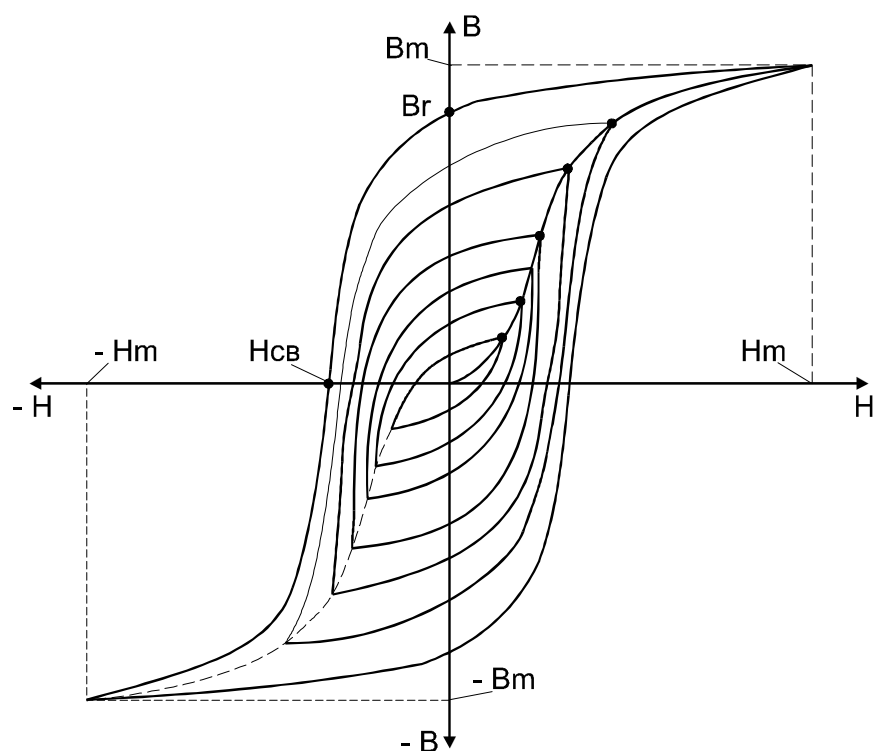


Рис. 3

- динамическая кривая намагничивания  $-B_m = f(H_m)$  - в некотором приближении представляет собой геометрическое место вершин динамических гистерезисных циклов;

- амплитудная магнитная проницаемость  $\mu_a = B_m / H_m$  и ее относительное значение  $\mu_{отн} = \mu_a / \mu_0$ ;

- суммарные удельные потери  $P_{уд}$ , однозначно определяемые при прочих равных условиях площадью изображения  $S_{Г}$  динамического гистерезисного цикла. Эти потери учитывают потери мощности на магнитный гистерезис (на перемагничивание), потери на вихревые токи в проводящем образце и т.н. дополнительные потери.

[1., раздел 15.5. 2., раздел 6.1÷6.3, 6.6.; 3., с.27÷33, 127].

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Дать понятия напряженности и индукции магнитного поля, как физических величин.

5.2. В чем заключается сущность индукционных методов измерения магнитных параметров?

5.3. Что такое кривая намагничивания? Основная кривая намагничивания?

5.4. Чем отличаются между собой статические и динамические магнитные характеристики?

5.5. Дать понятие "динамическая кривая намагничивания".

5.6. Дать понятие "амплитудная магнитная проницаемость".

5.7. В чем сущность осциллографического способа определения динамических магнитных характеристик?

5.8. Как определяются суммарные удельные потери с использованием осциллографического способа?

5.9. Как осуществить калибровку осциллографа, как измерительного прибора, в значениях измеряемых магнитных величин?

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Ознакомиться с принципом действия используемых в данном пункте средств измерения по представленным приложениям.

6.2. Определение динамических магнитных характеристик.

6.2.1. Собрать электрическую схему лабораторной установки в соответствии с рис. 2. Если это необходимо, электронный осциллограф установить в режим усиления по каналу горизонтального отклонения (X).

6.2.2. Внимательно ознакомиться с элементами схемы и их назначением.

6.2.3. Ознакомиться с работой средств измерений, входящих в экспериментальную установку, оценить чувствительность (цену деления) каждого из них.



6.2.4. Откалибровать осциллограф в значениях измеряемых величин с целью определения цены деления его шкалы по осям магнитной индукции В и напряженности поля Н. Для этого с помощью регулятора тока в намагничивающей цепи установить максимальное его значение (указывается преподавателем). Пользуясь ручками усиления по каналам "Х" и "У" получить на экране осциллографа наибольшее неискаженное, расположенное по центру изображение динамического гистерезисного цикла – предельный гистерезисный цикл – (рис. 3).

Используя показания амперметра  $PA$  и вольтметра средневыпрямленных (средних) значений  $PV$  (рис. 2), а также размеры " $X_m$ " и " $Y_m$ " (рис. 3), определить предварительно амплитудные значения напряженности поля и магнитной индукции, как

$$H_m = \frac{I_1 \sqrt{2} W_1}{l_{cp}} \quad \text{и} \quad B_m = \frac{E_{2cp}}{4 f W_2 S_{cm}},$$

а по ним и масштабные коэффициенты (цена деления) по осям

Рис. 5 напряженности и индукции соответственно как

$$m_H = H_m / X_m \quad \text{и} \quad m_B = B_m / Y_m.$$

**Внимание!** Дальнейший эксперимент проводить при неизменных положениях ручек регулировки усиления по обоим каналам осциллографа.

6.2.5. Для нескольких значений намагничивающего тока получить на экране осциллографа и скопировать (например, на кальку) семейство динамических гистерезисных циклов, регистрируя одновременно значения тока в намагничивающей обмотке и эдс – в измерительной в табл.1.

Таблица 1

	1	2	3	4			
$I, \text{ А}$							
$E_{2cp}, \text{ В}$							
$H_m, \text{ А/м}$							
$B_m, \text{ Тл}$							
$\mu_{aотн}$							
$S_{Г}, \text{ мм}^2$							
$P_{уд}, \text{ Вт/кг}$							

6.2.6. Расчетным путем найти значения  $H_m$  и  $B_m$ .

6.2.7. Расчетным путем для каждого из режимов найти значения относительной амплитудной магнитной проницаемости  $\mu_{aотн} = \frac{B_m}{H_m \mu_0}$ .

6.2.8. На общем графике представить зависимости видов  $B_m = f(H_m)$  и  $\mu_{aотн} = f(H_m)$ .

6.2.9. Для каждого из частных динамических гистерезисных циклов определить удельные суммарные потери. Для этого любым доступным способом определяются площади изображений динамических гистерезисных циклов  $S_{\Gamma}$  ( $\text{мм}^2$ ), полученных выше. Найти потери, используя выражение  $P_{уд} = \frac{S_{\Gamma} \cdot m_H \cdot m_B \cdot f}{\gamma}$  (Вт/кг), где  $\gamma$  - плотность

материала сердечника. Для стали это значение равно  $7.8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Данные измерений и расчетов внести в табл. 1. Построить график зависимости  $P_{уд} = f(B_m)$ .

6.2.10. Сделать выводы.

6.2.11. Для предельного динамического гистерезисного цикла, построенного на бумаге, определить динамическую коэрцитивную силу  $H_{cd}$  и динамическую остаточную индукцию  $B_{rd}$ .

6.2.12. По возможности для предельного режима перемагничивания наблюдать на экране осциллографа временные зависимости намагничивающего тока (напряжение на образцовом резисторе  $R_0$ ), эдс в измерительной обмотке и кривую магнитной индукции (на выходе интегратора). Для наблюдения этих кривых осциллограф должен быть переключен в режим временной развертки по каналу горизонтального отклонения. Полученные кривые зарисовать в отчете

6.3. Сделать общие выводы.

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- титульный лист с указанием названия университета, названия кафедры, номера и наименования работы, исполнителей и даты выполнения работы;

- цель работы;

- программа работы;

- схемы измерительных установок;

- таблицы, основные соотношения;

- примеры расчетов;

- графики зависимостей;

- выводы по отдельным пунктам работы, общие выводы;



ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по Подготовке и  
выполнению лабораторной работы № 406 по курсу  
"Методы и средства измерений" для студентов  
специальности 19.09 – Информационно-  
измерительная техника и технологии

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент В.Ф.Вотяков

Подписано к печати \_\_\_\_\_  
Формат 60x84/16. Бумага №2.  
Плоская печать.Усл.печ.л. \_\_.Уч.-изд.л. \_\_\_\_\_  
Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_ Бесплатно.  
Ротапринт ТПУ.634004, Томск, пр.Ленина, 30.