**Работа 3.4.5**

**Петля гистерезиса** (динамический метод)

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.

Ферромагнитные материалы часто применяются в трансформато­рах, дросселях, машинах переменного тока, то есть в устройствах, где они подвергаются периодическому перемагничиванию. Изучение маг­нитных характеристик ферромагнетиков в переменных полях представ­ляет поэтому большой практический интерес. Основные характеристи­ки ферромагнетиков — их коэрцитивная сила, магнитная проницае­мость, мощность, рассеиваемая в виде тепла при перемагничивании, при учёте потерь на вихревые токи и т. д. — зависят от частоты перемагничивающего поля. В настоящей ра­боте кривые гистерезиса ферромагнитных материалов изучаются в по­ле частоты 50 Гц с помощью электронного осциллографа.

Измерение магнитной индукции в образцах. Магнитную индук­цию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении магнитного потока Ф в катушке, намотанной на образец.

Пусть катушка плотно охватывает образец, и индукция В в образце однородна. В этом случае

Ф = BSNk,

(1)

Тогда при изменении магнитного потока ЭДС в катушке будет равна

,

и  (2)

Таким образом, для определения В нужно проинтегрировать сиг­нал, наведённый меняющимся магнитным полем на измерительную ка­тушку, намотанную на образец.

Для интегрирования используют RC-цепочку (рис.1).

Рис.1Интегрирующая цепочка.

Если сопротивление источника напряжения мало по сравнению с R, и частота сигнала ω, входное и выходное сопротивление связаны соотношением (3)

Таким образом, если , выходное напряжение будет пропорционально интегралу входного, и здесь ω -частота самой низкой гармоники –частота повторения ω=2π/T.

Тогда из (2) получаем

 (4)

Если на вход интегрирующей ячейки подать синусоидальный сигнал , связь выходного сигнала со входным будет такой

 (5)

где f- частота сигнала.

Экспериментальная установка. Схема установки изображена на рис. 2. Напряжение сети (220 В, 50 Гц) с помощью регулировочного автотрансформатора Ат через разделительный понижающий трансфор­матор Тр подаётся на намагничивающую обмотку No исследуемого об­разца.

Действующее значение переменного тока в обмотке No измеряется амперметром А. Последовательно с амперметром включено сопротивле­ние Ro, напряжение с которого подаётся на вход X электронного осцил­лографа (ЭО). Это напряжение пропорционально току в обмотке Nq, а следовательно, и напряжённости Н магнитного поля в образце.

Для измерения магнитной индукции В с измерительной обмотки Nи на вход RС-цепочки подаётся напряжение Uи (Uвх), пропорциональное производной В, а с интегрирующей ёмкости Си снимается напряжение Uc (Uвых), пропорциональное величине В, и подаётся на вход Y осциллографа.

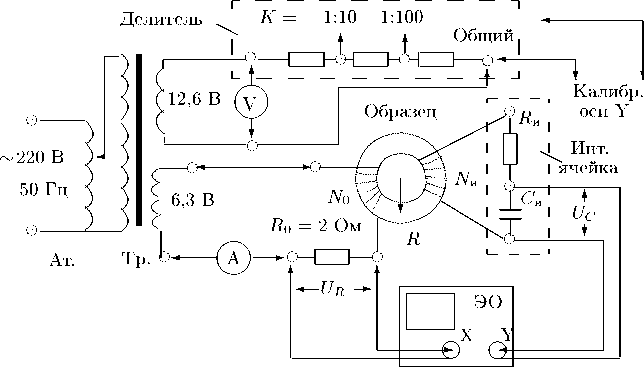


Рис. 2. Схема установки для исследования намагничивания образцов

Замкнутая кривая, возникающая на экране, воспроизводит в некото­ром масштабе (различном для осей X и Y) петлю гистерезиса. Чтобы придать этой кривой количественный смысл, необходимо установить масштабы изображения, т. е. провести калибровку каналов X и Y ЭО. Для этого, во-первых, надо узнать, каким напряжениям (или токам) соответствуют амплитуды сигналов, видимых на экране, и, во-вторых, каким значениям В и Н соответствуют эти напряжения (или токи).

Напряжение, пропорциональное току в намагничивающей обмотке, подаётся на горизонтальную ось Х. Если ручка усиления оси X в положении калибр, цену деления по горизонтальной оси получим, разделив цену деления в вольтах на сопротивление R0 в амперах. Значения поля Н рассчитыва­ются по теореме о циркуляции (см. (4.7)], Для дополнительной проверки с помощью амперметра нужно закоротить обмотку No, так как катушка с ферромагнитным образцом является нелинейным элементом, ток в ней не име­ет синусоидальной формы, и связать амплитуду тока с показаниями амперметра, измеряющим эффективное значение, можно только с большой ошибкой..

При закороченной обмотке No показания эффективного тока, умноженные на 2√2, дадут удвоенное значение амплитуды тока, подаваемого на ось X, соответствующего длине горизонтальной развёртки .Калибровка вертикальной оси, как правило, не нужна.Но она может проводиться с помощью сигнала, снимаемого через делитель напряжения с обмотки 12,6 В понижающего трансформатора (рис. 2). Вольтметр V может достаточно точно измерить напряжение U эфф , подаваемого на вход осциллографа. После этого можно сравнить показания осциллографа и вольтметра.

Величина индукции B рассчитывается по формуле (4).

Постоянную времени RC'-цепочки можно определить экспери­ментально. С обмотки 6,3 В на вход интегрирующей цепочки подаётся синусоидальное напряжение Uвх. На вход Y осциллографа или цифрового вольтметра поочерёдно подаются сигналы со входа (U вх) и выхода ( U вых= Uc) RC-цепочки. Измерив амплитуды этих сигналов, можно рассчитать постоянную времени τ = RC (формула (5)).

*RC*

(9)

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается при помощи ЭО исследовать предельные пет­ли гистерезиса и начальные кривые намагничивания для нескольких ферромагнитных образцов; определить магнитные характеристики ма­териалов, чувствительность каналов X и Y осциллографа и постоянную времени т интегрирующей цепочки.

Для наблюдения петли гистерезиса на экране ЭО соберите схему со­гласно рис. 2. Подготовьте приборы к работе.

Подберите ток питания в намагничивающей обмотке и коэффициен­ты усиления ЭО так, чтобы предельная петля гистерезиса занимала большую часть экрана (при этом ширина петли при увеличении тока практически не меняется).

Зарисуйте на кальку предельную петлю и оси координат; отметьте на осях деления шкалы. Укажите (на кальке!) материал образца, зна­чения коэффициентов усиления Кх и Ку осциллографа, ток I эфф в намагничивающей обмотке, параметры тороида.

Снимите начальную кривую намагничивания: плавно уменьшая ток намагничивания до нуля, отмечайте на кальке вершины наблюдаемых частных петель. Эти вершины лежат на начальной кривой намагничи­вания.

Восстановите предельную петлю. Измерьте на экране (это точнее, чем по кальке) двойные амплитуды для коэрцитивной силы [2х(с)] и индукции насыщения [2y(s). Запишите соответствующие значения Кх и Ку.

Повторите измерения пп. 2-4 для двух других катушек.

Прокалибруйте горизонтальную ось ЭО. Для этого отключите на­магничивающую обмотку No от цепи и снимите длину развёртки по оси X при токе Iэфф, близком к току насыщения петли гистерезиса.

Для проверки калибровки вертикальной оси ЭО подключите вольтметр и осциллограф к делителю 1:100(рис. 2)и сравните показания вольтметра и осциллографа при развёртке а ветикали пчти на весь экран. Оцените погрешность.

Определите τ— постоянную времени RC-цепочки (см. (9)]. Для этого разберите цепь тороида и подайте на вход RC-цепочки синусоидальное напряжение с обмотки 6,3 В трансформатора.

Измерьте отношение  с помощью осциллографа и вольтметра. Рассчитайте на месте постоянную времени т = RC по формуле (5) и сравните с расчётом через параметры Д„ и Си, указанные на установке.

Запишите параметры RС-цепочки, амперметра, вольтметра и значе­ние RC.

Обработка результатов

Сравните экспериментальное значение τ с расчётом через парамет­ры Rи и Си, указанные на установке.

Рассчитайте напряжённости поля Н в тороиде, поставив в соответствие деления по оси X величине поля в А/м.

Рассчитайте коэрцитивную силу Нс, используя измеренное значе­ние 2х(с).

Рассчитайте Bs по формуле (6), взяв значения Rи и Си, указанные на установке. Укажите на кальках масштабы для предельных петель: Н [А/м] на одно деление; В[Т] на одно деление рассчи­тайте по формуле (6), взяв вместо Uвых .Оцените начальные и максимальные значения μдиф по основным кривым намаг­ничивания.

Оцените погрешности. Сведите результаты в таблицу:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ампл. | Fe-Ni | Fe-Si | Феррит |
| Нс А Bs Тл  Мдиф | эксп.  табл. |  |  |

Контрольные вопросы

При какой форме образцов, помещённых в однородное магнитное поле, их намагниченность постоянна по всему объёму?

Почему для наблюдения петли гистерезиса используются образцы в виде тора, а не в виде стержня?

Почему при калибровке горизонтальной оси осциллографа необходимо от­ключать намагничивающую обмотку?

4? Оцените погрешность, которая возникает при измерении индукции В, если измерительная катушка неплотно надета на образец; например, если образец занимает всего половину охватываемой ею площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. III. Электричество. — М.: Наука, 1983. §§ 74, 79.

Калашников С.Г. Электричество. — М.: Наука, 1977. §§ 110, 111, 119.

Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы Физики. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. — М.: Физ- матлит, 2001. Ч. II, гл. 5, § 5.3.