

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

ПОСТРОЕНИЕ ПЕТЛИ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
для студентов специальностей
140211(100400)

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электротехнические материалы»

Составили: доцент, канд.техн.наук Т.А. Дудорова
профессор, д-р техн.наук В.И.Боченин
инженер И.А.Семкина

Работа выполнена при равноценном участии авторов.

Утверждены на заседании кафедры 3 марта 2005 г.

Рекомендовано методическим советом университета

« _____ » _____ 200__ г.

Цель работы

Построить экспериментально петлю магнитного гистерезиса и определить магнитные характеристики электротехнической стали.

Общие сведения

Свойства ферромагнитных материалов оценивают обычно по кривым намагничивания, представляющим собой зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля $B(H)$. Кривые намагничивания получают опытным путем. Напряженность изменяют за счет изменения тока намагничивающей обмотки, расположенной на испытуемом образце. Определение напряженности производят с помощью закона полного тока. Для определения магнитной индукции используют индукционное действие магнитного поля.

Если периодически и весьма медленно изменять напряженность от $+H_{1m}$ до $-H_{1m}$, то после нескольких циклов перемагничивания магнитная индукция будет изменяться в пределах от $+B_{1m}$ до $-B_{1m}$ в соответствии с кривой **1** на рис. 1а, называемой **статической петлей магнитного гистерезиса**. При разных пределах изменения напряженности получим семейство статических симметричных петель магнитного гистерезиса.

Существуют такие напряженности $+H_m = +H_s$ и $-H_m = -H_s$, при превышении которых площадь, ограниченная петлей гистерезиса, остается постоянной. Петля гистерезиса **2** (рис.1а) называется в этом случае предельной, а магнитная индукция B_s — индукцией технического насыщения. Значения **индукции остаточного намагничивания** (B_r) и **коэрцитивной силы** (H_c) определяются по предельной петле гистерезиса.

Если соединить вершины статических петель гистерезиса, то получим основную кривую намагничивания **3** (рис.1а), незначительно отличающуюся от кривой первоначального намагничивания. Основная кривая намагничивания используется при расчете магнитных цепей. Наибольшее значение магнитной проницаемости μ_n определяется по основной кривой.

Различают магнитно-мягкие и магнитно-твердые ферромагнитные материалы. К магнитно-мягким материалам относятся чистое железо, углеродистые электротехнические стали, сплавы железа и никеля, некоторые химические соединения железа. Магнитно-мягкие материалы характеризуются относительно малой величиной H_c и небольшой площадью циклов гистерезиса (кривые **1** и **2** на рис. 1б). Магнитно-мягкие материалы применяются для изготовления магнитных цепей электрических машин, трансформаторов, электроизмерительных приборов и разнообразных электротехнических аппаратов. Магнитно-мягкие материалы с малым значением B_r (кривая **1** на рис. 1б) при по-

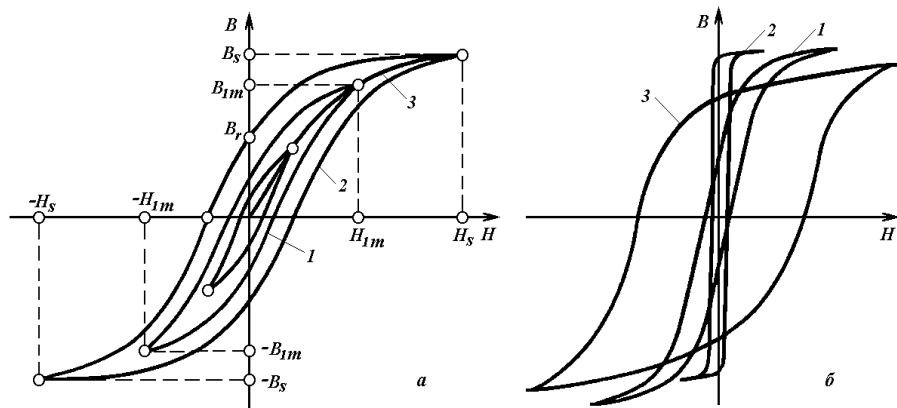


Рис.1. Симметричные циклы магнитного гистерезиса и основная кривая намагничивания

стоянном токе дают возможность в широких пределах изменять магнитный поток. Некоторые магнитно-мягкие материалы при соответствующей технологии обработки позволяют получить «прямоугольную» петлю гистерезиса (кривая **2** на рис.1б). Материалы с «прямоугольной» петлей характеризуются весьма малыми значениями H_s и большим значением B_r , близким к B_s . Магнитно-мягкие материалы с «прямоугольной» петлей гистерезиса находят широкое применение в устройствах автоматики и вычислительной техники.

К магнитно-твердым материалам относятся сплавы железа с алюминием, хромом и вольфрамом, содержащие различные присадки. Магнитно-твердые материалы (кривая **3** на рис. 1б) характеризуются относительно большими значениями B_r и H_c и применяются для изготовления постоянных магнитов.

Перечень оборудования и материалов

1. Милливеберметр цифровой - 1 шт.;
2. Стол-стенд «Уралочка», из которого использовано:
 - 2.1. Источник синусоидального тока напряжением $U=30\text{В}$;
 - 2.2. Переключатель **SB** на три положения - 1 шт.;
 - 2.3. Миллиамперметр **PA** - 1 шт. (0...0,1А);
 - 2.4. Блок стенда «Уралочка» с магазином резисторов и тумблеров (5 резисторов и 5 тумблеров **SB₁... SB₅**);
 - 2.5. Соединительные проводники.
3. Испытуемый образец - тороидальный сердечник сечением $S=1\text{см}^2$ со средней длиной магнитной линии $l=16\text{ см}$ и намагничивающей обмоткой w_1 ;

Подготовка к работе и методические указания к выполнению опыта

В блоке 6 стенда «Уралочка» установлены: испытуемый сердечник с намагничивающей w_1 и измерительной w_2 обмотками, пять резисторов и тумблеров **SB₁...SB₅**, а также переключатель **SB** на три положения. Каждый из резисторов или они все вместе могут шунтироваться соответствующими тумблерами. Схема установки приведена на рис.2.

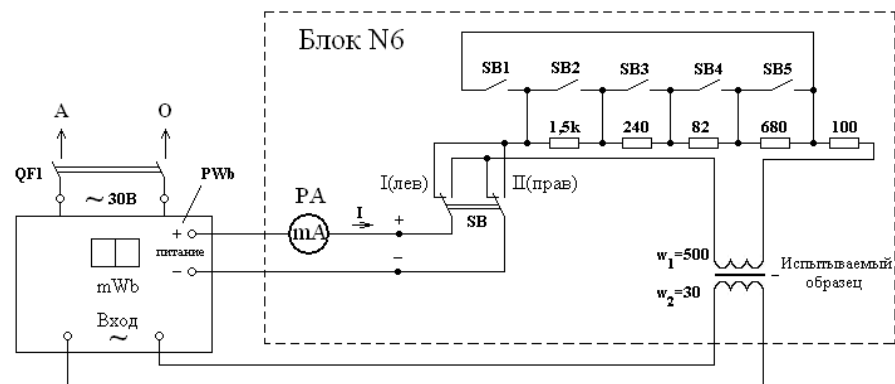


Рис. 2

В состав установки входит милливеберметр **PWb**, который подключается к источнику однофазного синусоидального напряжения 30В, 50Гц на стенде (рис.2). На зажимы «**ВХОД**» подается сигнал от измерительной обмотки w_2 образца, а с зажимов «**ПИТАНИЕ**» поступает выпрямленное напряжение через амперметр **PA**, переключатель **SB** и резисторы на намагничивающую обмотку w_1 образца. В результате можно с помощью тумблеров **SB₁... SB₅** скачкообразно менять ток I в намагничивающей обмотке w_1 образца и измерять магнитный поток в сердечнике образца с помощью милливеберметра **PWb**. Для изменения

3. После проверки цепи (рис.2) преподавателем включить автоматический выключатель QF_1 стенда.

3.1. Участок OA (начальная кривая намагничивания) (рис.3).

3.1.1. Точка 1. Тумблеры $SB1$, $SB2$, $SB3$, $SB4$, и $SB5$ отключены:

А. Произвести магнитную подготовку образца, для чего переключатель SB 5-6 раз перевести из правого положения в левое и оставить его в правом положении.

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль (кнопкой установки нуля).

В. Записать показания амперметра в таблицу 1.

Г. Переключить выключатель SB из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

3.1.2. Точка 2. Тумблер $SB2$ включен, а тумблеры $SB1$, $SB3$, $SB4$, и $SB5$ – отключены:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1.

Г. Перевести переключатель SB из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

3.1.3. Точка 3. Тумблеры $SB2$, $SB3$ – включены, а $SB1$, $SB4$, и $SB5$ – отключены:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1.

Г. Перевести переключатель SB из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

3.1.4. Точка 4. Тумблеры $SB2$, $SB3$ и $SB4$ – включены, а $SB1$, и $SB5$ – отключены:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1.

Г. Перевести переключатель SB из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

3.1.5. Точка 5. Тумблеры $SB2$, $SB3$, $SB4$ и $SB5$ – включены, а $SB1$ – отключен:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1.

Г. Перевести переключатель SB из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

Для данного участка OA расчет потокосцепления ψ , $B\delta$, магнитной индукции $B, Tл$ и напряженности магнитного поля $H, A/m$ произвести по выражениям (1):

$$\psi = \alpha \cdot C_{\phi} ; \quad B = \frac{\psi}{2w_2 \cdot S} ; \quad H = \frac{w_1 \cdot I}{l} , \quad (1)$$

где α - показания милливексметра, *о.е.* ;

$S = 1 \text{ см}^2$ – поперечное сечение сердечника образца;

$C_{\phi} = 28 \cdot 10^5 \text{ Вб}$ - постоянная милливексметра;

$w_1 = 500 \text{ витков}$; $w_2 = 30 \text{ витков}$;

$l = 16 \text{ см}$ – длина средней магнитной линии.

3.2. Участок AB (участок размагничивания по рис.3).

3.2.1. Точка 1. Тумблеры $SB1$, $SB2$, $SB3$, $SB4$ – включены, а $SB5$ - отключен:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Отключить тумблер $SB1$ и записать показания милливексметра и миллиамперметра таблицу 1.

3.2.2. Точка 2. Тумблер $SB1$, $SB2$, $SB3$ - включены, а тумблеры $SB4$ и $SB5$ – отключены:

А. Произвести переключателем SB магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Отключить тумблер $SB1$ и записать показания милливексметра и миллиамперметра таблицу 1.

3.2.3. **Точка 3.** Тумблер **SB1, SB2** - включены, а тумблеры **SB3, SB4** и **SB5** – отключены:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Отключить тумблер **SB1** и записать показания миллиамперметра и миллиамперметра таблицу1.

3.2.4. **Точка 4.** Тумблер **SB1** - включен, а тумблеры **SB2, SB3, SB4** и **SB5** – отключены:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Отключить тумблер **SB1** и записать показания миллиамперметра и миллиамперметра таблицу1.

3.2.5. **Точка 5.** Тумблеры **SB1, SB2, SB3, SB4** и **SB5** – отключены:

А. Установить переключатель **SB** в нейтральное положение (ток в цепи равен 0).

Б. Записать в таблицу1 показание амперметра $I=0$.

В. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Г. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

Д. Установить переключатель **SB** и записать показания миллиамперметра в таблицу1.

Для данного **участка АБ** расчет вести по формулам (2):

$$\psi = \alpha \cdot C_{\phi} ; B = B_m \cdot \frac{\psi}{w_2 \cdot S} ; H = \frac{w_1 \cdot I}{l}, \quad (2)$$

где B_m – максимальное значение индукции (для точки А, рис.1.2);

α – показания миллиамперметра, *о.е.* ;

$S=1\text{см}^2$ – поперечное сечение сердечника образца;

$C_{\phi}=28 \cdot 10^{-5} \text{ Вб}$ - постоянная миллиамперметра;

$w_1=500\text{витков}$; $w_2=30\text{витков}$;

$l=16\text{см}$ – длина средней магнитной линии.

3.3. **Участок БС** (участок переманчивания по рис.3).

3.3.1. **Точка 1.** Тумблеры **SB2, SB3, SB4, SB5** – отключены, а **SB1** - включен:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1 со знаком «минус».

Г. Отключить тумблер **SB1**, затем переключить **SB** из правого положения в левое и записать показания миллиамперметра в таблицу1.

3.3.2. **Точка 2.** Тумблеры **SB1, SB2** – включены, а **SB3, SB4, SB5** - отключены:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1 со знаком «минус».

Г. Отключить тумблер **SB1**, затем переключить **SB** из правого положения в левое и записать показания миллиамперметра в таблицу1.

3.3.3. **Точка 3.** Тумблеры **SB1, SB2, SB3**, – включены, а **SB4, SB5** - отключены:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1 со знаком «минус».

Г. Отключить тумблер **SB1**, затем переключить **SB** из правого положения в левое и записать показания миллиамперметра в таблицу1.

3.3.4. **Точка 4.** Тумблеры **SB1, SB2, SB3, SB4** – включены, а **SB5** - отключен:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания миллиамперметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1 со знаком «минус».

Г. Отключить тумблер **SB1**, затем переключить **SB** из правого положения в левое и записать показания миллиамперметра в таблицу1.

3.3.5. **Точка 5.** Тумблеры **SB1, SB2, SB3, SB4, SB5** – включены:

А. Произвести переключателем **SB** магнитную подготовку образца аналогично п.3.1.1а).

Б. Сбросить показания милливексметра на нуль.

В. Записать показания амперметра в таблицу 1 со знаком «минус».

Г. Отключить тумблер **SBI**, затем переключить **SB** из правого положения в левое и записать показания милливексметра в таблицу 1.

Для данного участка БС расчет вести по формулам (2)

3.4. Участок СД.

Для построения используются данные для участка АБ.

3.5. Участок ДА.

Для построения используются данные для участка БС.

4. Построить график статической петли гистерезиса $B=f(H)$, указав на ней участки **ОА**, **АВ**, **БС**, **СД**, **ДА**.

5. По заданию преподавателя для одного из участков рассчитать и построить график относительной магнитной проницаемости $\mu=f(H)$ по формуле (3):

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0} , \quad (3)$$

где $\mu_a = \frac{B}{H} , \quad \frac{Гн}{м} ; \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м} .$

6. Подсчитать по площади петли гистерезиса удельные потери на гистерезис для этого визуально подсчитать площадь S_n петли в $м^2$, затем по формуле (4) подсчитать удельные потери:

$$N_{y0} = \frac{2 \cdot S_n \cdot m_y \cdot m_x \cdot f \cdot 10^6}{\gamma} , \quad \frac{Вт}{кг} , \quad (4)$$

где $f = 50 Гц ;$

$\gamma = 7800 кг/м^3$ – плотность стали;

m_y, m_x – масштабы по осям X и Y графика,

причем $m_y = B_m/Y, Тл/мм ; \quad m_x = H_m/X, \frac{А/м}{мм} .$

7. Сравнить магнитные характеристики, полученные из опыта со справочными.

8. На основании полученных данных и произведенных расчетов сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются магнитные материалы от других электротехнических материалов?
2. Что такое **основная кривая намагничивания**?
3. Что такое **предельная петля гистерезиса**, каковы величины ее характеристик?
4. Что такое **магнитная проницаемость** материала. Что она характеризует?
5. Каково отличие динамической петли от статической?
6. Какие потери возникают в магнитных материалах?
7. Почему магнитопроводы устройств, работающих на переменном токе, изготавливают из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга?
8. Как влияет частота переменного тока на различные виды потерь в магнитных материалах?
9. В чем состоит различие магнитных свойств магнитотвердых и магнитомягких материалов?
10. Какие основные свойства имеют магнитомягкие материалы?
11. Дайте характеристику кремнистой электротехнической стали.

Литература

1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. – 7-е изд.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд.-ние, 1985.- 304с.

Дудорова Татьяна Александровна

Боченин Виктор Иванович

Семкина Ирина Анатольевна

ПОСТРОЕНИЕ ПЕТЛИ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Электротехнические материалы»
для студентов специальностей
140211(100400)

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ	Тираж 50	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.