

# Работа 377

## Изучение процессов намагничивания-перемагничивания и потерь энергии на гистерезис в ферромагнетике

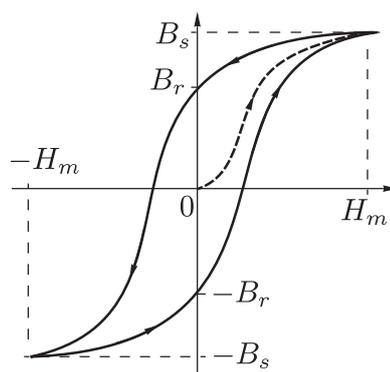
### Решаемые задачи

- Визуальное наблюдение кривой намагничивания и магнитной петли гистерезиса в трансформаторном железе в реальном времени.
- Расчет потерь мощности на перемагничивание при помощи петли гистерезиса.

В сердечнике трансформатора из ферромагнетика индуцируется магнитное поле, напряженность которого пропорциональна силе электрического тока  $I$  и плотности витков  $w_1 = N_1/L$  первичной катушки ( $N_1$  — число витков первичной обмотки,  $L$  — длина катушки):

$$H = \frac{I \cdot N_1}{L}. \quad (1)$$

Силовая характеристика магнитного поля — индукция магнитного поля  $B$ , при этом не пропорциональна напряженности  $H$ :  $B = \mu(H) \cdot \mu_0 \cdot H$ , где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м. Магнитная проницаемость ферромагнетика  $\mu(H)$  зависит от напряженности магнитного поля  $H$  и от предшествующего магнитного состояния ферромагнетика.



Индукция достигает значения насыщения  $B_s$  при увеличении напряженности  $H$ . В размагниченном ферромагнетике при нулевой напряженности магнитного поля  $H = 0$  А/м магнитная индукция также равна нулю  $B = 0$  Т. Однако даже при отсутствии внешнего поля  $H = 0$  А/м не размагниченный ферромагнетик со-

хранит остаточную, не равную нулю индукцию  $B_r$  (остаточный магнетизм).

Поэтому магнитную индукцию  $B$  обычно представляют в виде кривой (петли) гистерезиса как функцию напряженности магнитного поля  $H$ . Петля гистерезиса отличается от кривой начального намагничивания, которая начинается в начале системы координат и может быть измерена только для полностью размагниченого материала, когда при  $H = 0$  А/м и  $B_r = 0$  Т.

В данной работе  $H$  и  $B$  не измеряются непосредственно, а используются величины, пропорциональные им: сила тока в первичной обмотке  $I = L \cdot H / N_1$  и магнитный поток  $\Phi = N_2 \cdot S \cdot B$  через вторичную обмотку ( $N_2$  – число витков вторичной обмотки,  $S$  – площадь поперечного сечения яра ферромагнетика). Магнитный поток

$\Phi$  вычисляется как интеграл напряжения  $U$  индуцированного во вторичной обмотке, э.д.с. индукции.

Поскольку площадь, заключенная внутри петли гистерезиса  $B(H)$ ,

$$\int B dH = \frac{E}{V}, \quad (2)$$

соответствует потере энергии перенамагничивания магнетика в единице объема, площадь, охваченная замкнутой кривой  $\Phi(I)$  для  $N_1 = N_2$

$$\int \Phi dI = \int N_2 \cdot S \cdot B \frac{L}{N_1} dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B dH = \frac{N_2}{N_1} E, \quad (3)$$

дает нам значение  $E$ , энергии потерь при одном полном круговом процессе перемагничивания.

## Оборудование

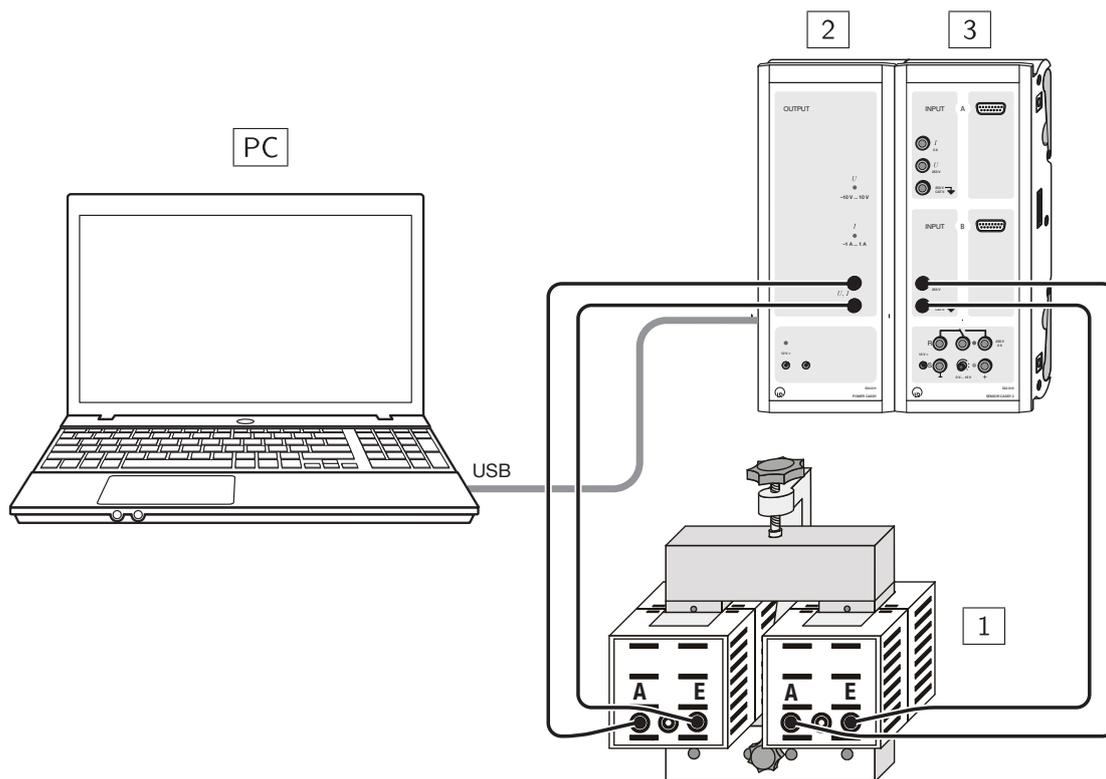


Рис.1. Экспериментальная установка для изучения кривой намагничивания ферромагнетика: 1) трансформатор; 2) Power-CASSY; 3) Sensor-CASSY 2.

П-образный сердечник с ярмом	1 шт.	56211
Катушка 500 витков	2 шт.	56214
Модуль sensor CASSY 2	1 шт.	524013
Модуль power CASSY	1 шт.	524011
Соединительный провод 100 см. черный	4 шт.	500444

## Порядок выполнения работы

1. Проверить монтаж измерительной установки.
2. Включить выключатели сетевого электропитания (на схеме они не показаны).
3. Включить компьютер «PC» .
4. Открыть программу «CASSY Lab 2» при помощи ярлыка, помещенного на рабочем столе «PC».
5. В главном меню «File» активировать строку «Recent Files» и выбрать файл «D:/Эксперименты/P7321.labx».
6. В главном меню открыть окно «Window» и выбрать пункт меню «Show Measuring Parameters» (Показать измеряемые параметры).
7. Нажать на клавиатуре «PC» клавишу «F9» и зарисовать в тетради наблюдаемую на дисплее «PC» кривую гистерезиса в произвольном масштабе, соблюдая пропорции.
8. Примечания:
  - Запрещается трогать руками или касаться любыми предметами дисплей компьютера!
  - После нажатия клавиши «F9» (перед выполнением очередного измерения) программа будет выдавать извещение «сохранить». Следует отказаться от сохранения или сохранить этот файл на внешний диск.
9. Повторить п. 7 еще 2 раза.
10. В подменю «Установки» («Settings»), расположенном в правой стороне дисплея, активировать последовательно строки «Sensor-CASSY 2» – «Input A2 (left)» – «Current IA2»
11. В подменю «Settings» активировать опцию «Measuring Time» (Время измерения), находящуюся в нижнем правом углу дисплея, и записать время измерения.
12. Установить с клавиатуры время измерения 20 с.
13. Сделать 3 измерения по наблюдению петли гистерезиса нажатием клавиши «F9» и зарисовать окончательно полученную кривую (или сохранить на своем диске с новым именем файла).
14. Повторить указания п. 13 для времени измерения 25, 30, 35, 40 и 45 с.
15. Задание по НИРС. Вычислить энергию потерь на гистерезис по площади, занятой гистерезисной кривой. Это можно сделать вручную или программным способом. При компьютерном интегрировании следует среди всех графиков по наблюдению петли гистерезиса выбрать петлю, в которой отсутствует линия, исходящая из начала координат. Далее воспользоваться опцией программы меню: «Diagram–Calculate Integral–Area to x-Axis».
16. Выключить установку.
17. Объяснить полученные графики гистерезисных кривых.

## Вопросы для подготовки

1. Магнитное поле в веществе. Вектор намагничивания. Магнитная индукция. Напряженность поля. Магнитная восприимчивость и проницаемость.
2. Диамагнетики и парамагнетики. Закон Кюри.
3. Ферромагнетики. Природа ферромагнетизма. Общие свойства. Доменная структура ферромагнетиков.
4. Явление гистерезиса. Начальная кривая намагничивания.
5. С какой целью и как можно размагнитить образец?
6. Магнитожесткие и магнитомягкие материалы. Их применение в технике.
7. Получение петли гистерезиса при помощи программы «CASSY Lab 2».
8. Расчет энергии потерь на гистерезис.