



УДК 621

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ТРЕНИРОВОЧНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДА ИСПЫТАНИЯ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

**С.А. Затока,** старший преподаватель Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”



используемых при изучении курса “Методы и средства измерений”.

*The use of computer training program when studying the testing methods of soft magnetic materials on alternating current during training of specialists-metrologists is described. The program-simulator is described during computerization of laboratory works used in the studying the course “Methods and instruments of measurements”.*

### Постановка задачи

Программа подготовки специалистов по направлению “Метрология и информационно-измерительные технологии”, кафедрой информационно-измерительной техники Национального технического университета Украины “КПИ”, включает курс “Методы и средства измерений”. В разделе курса “Магнитные измерения” рассматриваются методы испытаний магнитомягких материалов. При определении характеристик магнитомягких материалов на переменном токе применяют феррометр. При изучении дисциплины возникают сложности, связанные с необходимостью приобретения навыков работы на реальных физических приборах и макетах. Разработанное методическое обеспечение дает возможность перехода на дистанционное обучение.

### Описание компьютерного тренажера

При разработке компьютерных тренажеров (лабораторных работ) при изучении курса “Методы и средства измерений” особое внимание

*Рассмотрено использование компьютерной тренировочной программы при изучении методов испытания магнитомягких материалов на переменном токе при подготовке специалистов-метрологов. Описана программа-тренажер при компьютеризации лабораторных работ,*

уделено возможности приобретения обучаемым навыков использования различных методов и средств измерительной техники, используемых при измерении, в частности, магнитных величин [1]. Задача создания виртуальной лабораторной работы была решена использованием пакета Lab VIEW [2].

На рис. 1 приведен вид рабочего стола (имитационная модель).

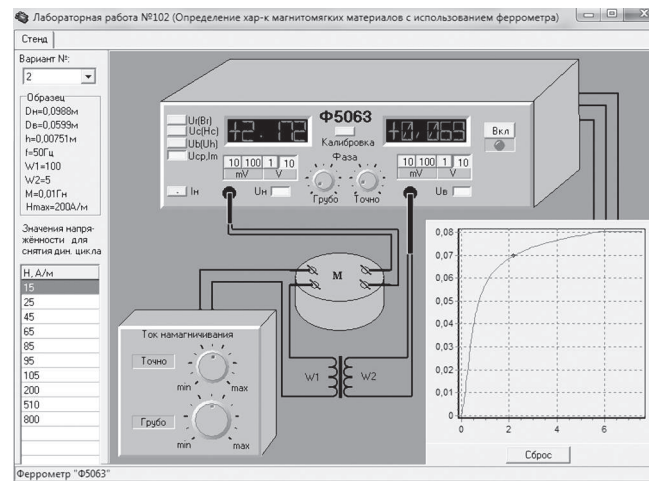


Рис. 1. Вид рабочего стола

В левой части стола представлено окно выбора варианта. После выбора варианта, ниже под ним, высвечиваются исходные данные: геометрические размеры образца, значения частоты катушки взаимной индуктивности, числа витков намагничивающей и измерительной обмоток, значения напряженности магнитного поля, в которых определяются магнитные характеристики образца.

В правой части представлена аппаратная реализация схемы: источник питания, феррометр [1].

Графопостроитель автоматически изменяет масштаб по осям, что удобно для наблюдения процесса намагничивания. Кнопка “Сброс” предназначена для удаления предыдущих данных перед началом измерения. Катушка взаимной индуктивности и исследуемый образец представлены в виде рис. 2.

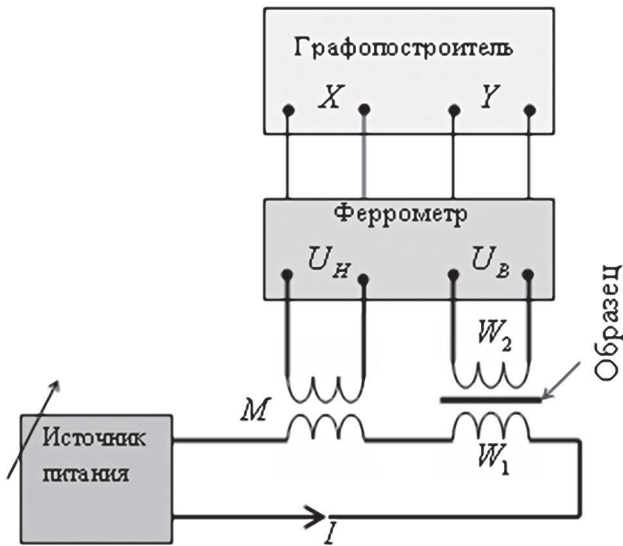


Рис. 2. Схема измерения

Имитационная модель феррометра соответствует внешнему виду реального прибора. Модель позволяет:

- выбирать режимы работы:  $U_{CP}$ ,  $I_m$  — режим измерения основной кривой намагничивания;  $U_b$  ( $U_h$ ) — режим определения частного динамического цикла;  $U_c$  ( $H_c$ ) — режим измерения коэрцитивной силы;  $U_r$  ( $B_r$ ) — режим измерения остаточной индукции;
- переключать пределы измерения вольтметров;
- включать каналы измерения напряжений  $U_H$  и  $U_B$ ;
- управлять началом интегрирования (фазы) вольтметров.

**Опыт 1. Построение основной динамической кривой намагничивания**

Алгоритм порядка выполнения опыта 1 приведен на рис. 3.

Порядок проведения опыта следующий.

1.1. Открыть закладку “Варианты” и выбрать вариант.

1.2. Записать исходные данные. На поле “Образец” приведены данные образца, значение индуктивности катушки взаимной индуктивности и значение напряженности  $H_{max}$ , которое будет использовано в опыте 2.

1.3. Для заданных значений напряженности вычислить значения напряжения  $U_H$ .

1.4. Включить феррометр. Установить режим измерения основной кривой намагничивания на феррометре, для этого нажать кнопку  $U_{CP}$ ,  $I_m$ .

1.5. В соответствии с рассчитанным напряжением  $U_H$  для первого измерения установить предел измерения канала  $U_H$  феррометра.

1.6. Плавно вращая ручки “Грубо” и “Точно” источника питания, установить по вольтметру  $U_B$



Рис. 3. Алгоритм получения данных опыта 1

канала напряженности значение напряжения для первого измерения.

1.7. Установить предел измерения канала  $U_B$  и снять результаты измерения напряжения  $U_B$ , пропорциональные индукции.

1.8. Повторить измерения для всех заданных точек основной кривой (п. 1.5–1.7).

1.9. Рассчитать значения индукции и построить основную динамическую кривую намагничивания по результатам измерения. Полученная основная кривая намагничивания показана также на графопостроителе (рис. 4).

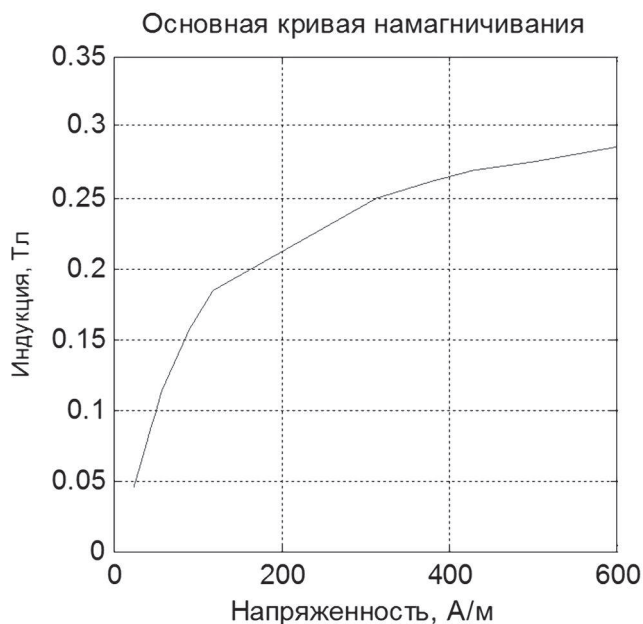


Рис. 4. Основная кривая намагничивания (по результатам измерений)

1.10. Для каждого измерения, определить относительную магнитную проницаемость и построить график зависимости относительной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля (рис. 5).

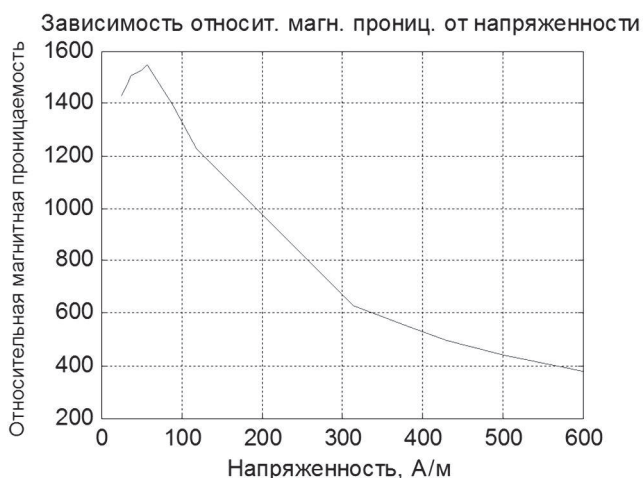


Рис. 5. Зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности

1.11. Оценить максимальную магнитную проницаемость графическим методом. Для этого ис-

пользовать график основной кривой намагничивания, полученный на графопостроителе (рис. 6). Сравнить значения максимальной магнитной проницаемости, полученные по результатам расчета и графическим методом.

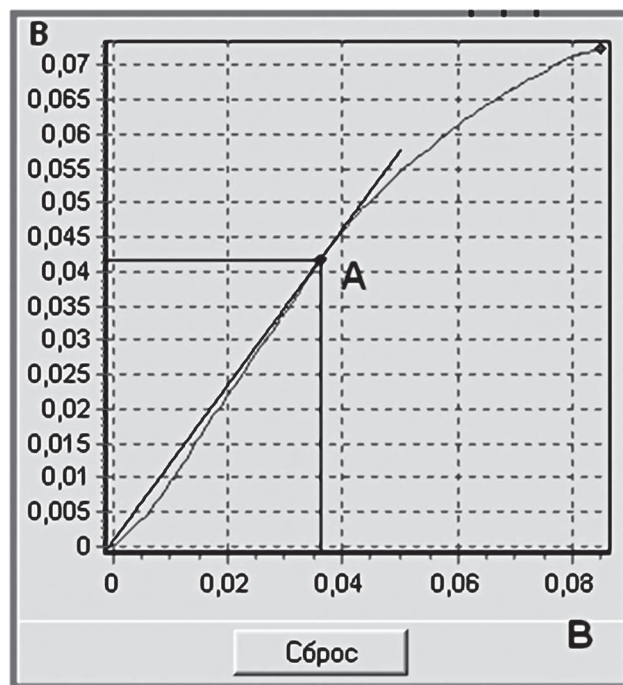


Рис. 6. Определение точки А — максимальной магнитной проницаемости

1.12. Используя уравнение измерения, написать уравнение для вычисления предельной относительной неопределенности оценки магнитной проницаемости и вычислить ее.

## Опыт 2. Построение частного динамического цикла намагничивания

Алгоритм выполнения опыта 2 приведен на рис. 7.

Порядок выполнения опыта следующий.

2.1. Выполнить подготовительные операции:

- для заданного значения максимальной напряженности частного динамического цикла определить соответствующее ему напряжение;
- выбрать число  $n = 15$  точек наблюдений для нисходящей ветви гистерезисного цикла;
- определить шаг по напряженности

$$\Delta H = \frac{2H_{\max}}{n};$$

- вычислить значения напряженности и соответствующие значения напряжения на намагничивающей обмотке в 15 исследуемых точках.

2.2. Запустить программу, выбрать. Включить питание феррометра.

2.3. Установить режим измерения основной кривой намагничивания феррометра, для чего нажать кнопку  $U_{CP}$ ,  $I_m$ .

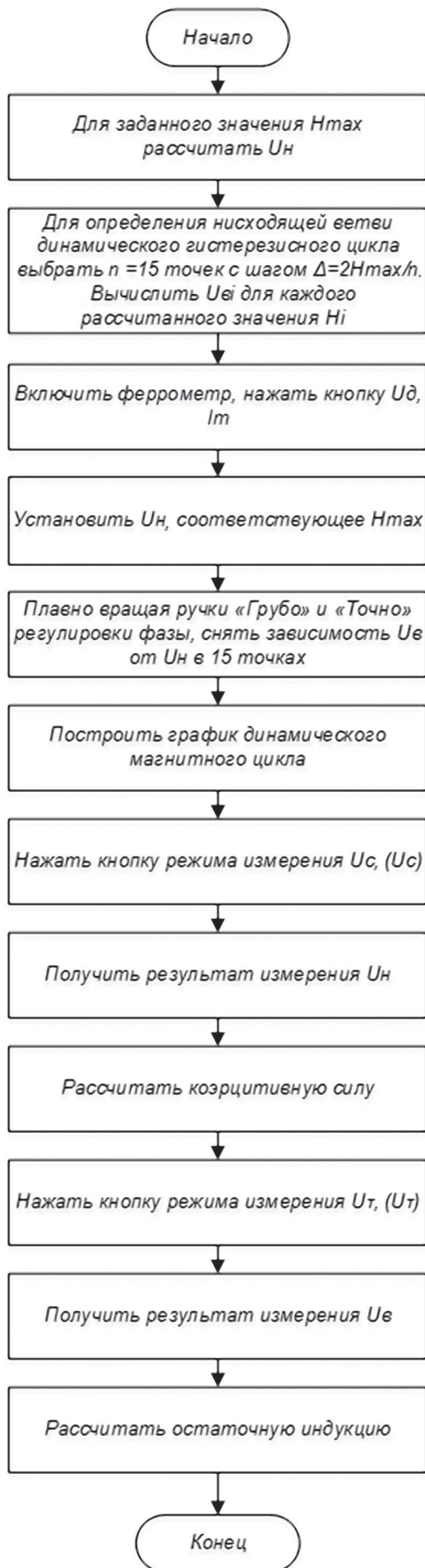


Рис. 7. Алгоритм выполнения опыта 2

2.4. Плавное вращая ручки “Грубо” и “Точно” источника питания, установить по вольтметру  $U_H$  канала напряженности значение напряжения, соответствующее заданной максимальной напряженности.

2.5. Установить режим измерения динамического цикла на феррометре, для чего нажать кнопку  $U_b$  ( $U_h$ ).

2.6. Плавное вращая ручки “Грубо” и “Точно” регулировки фазы феррометра, установить в канале  $U_H$  напряжение  $U_{Hn}$ .

2.7. Выбрав предел измерения, получить результат измерения напряжения для канала  $U_{Bn}$ .

2.8. Повторить п. 2.6 и .2.7 для 15 значений напряженности.

2.9. Построить график частного динамического цикла на графопостроителе, выполнив следующие операции:

- установить пределы измерения напряжения каналов  $U_H$  и  $U_B$  феррометра, соответствующие максимальному значению напряженности;
- ручки “Грубо” и “Точно” регулировки фазы феррометра установить в крайнее левое положение;
- нажать кнопку “Сброс” графопостроителя;
- плавно вращать ручку “Грубо” регулировки фазы до крайнего правого положения.

Таким же образом переместить ручку “Точно” в крайнее правое положение. На графопостроителе появится изображение всей нисходящей ветви динамического цикла и части восходящей ветви (рис. 8).

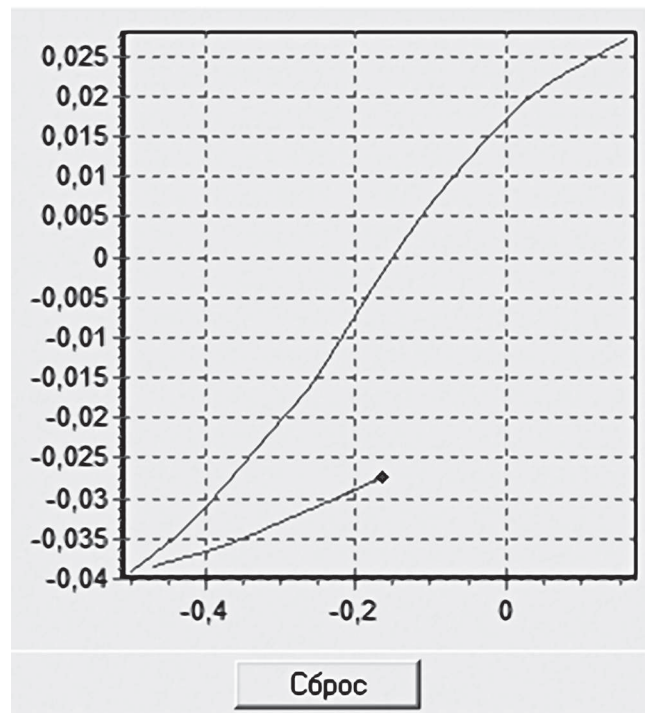


Рис. 8. График динамического магнитного цикла

2.10. Построить график динамического магнитного цикла по результатам измерений и сравнить его с графиком, полученным на графопостроителе.

### Опыт 3. Измерение коэрцитивной силы и остаточной индукции

3.1. Установить на феррометре режим измерения коэрцитивной силы (нажать кнопку  $U_c (U_c)$ ), получить результат измерения напряжения  $U_{Hc}$  канала  $U_H$ . Вычислить коэрцитивную силу.

3.2. Установить на феррометре режим измерения остаточной индукции (нажать кнопку  $U_B (U_B)$ ), получить результат измерения напряжения  $U_{Br}$  канала  $U_B$ . Вычислить остаточную индукцию.

3.3. Оценить неопределенность результатов измерения остаточной индукции и коэрцитивной силы.

#### Выводы

Использование компьютерных технологий в подготовке специалистов по специальности “Метрология и измерительная техника” позволило обучаемым:

- изучить методику определения характеристик магнитомягких материалов на переменном токе;
- приобрести навыки экспериментального определения характеристик магнитомягких материалов на переменном токе;

- ознакомиться с принципом действия феррометра по методическим указаниям к лабораторной работе;

- при необходимости, выполнить лабораторные работы дистанционно;

- закрепить знания по курсу выполнением самостоятельной работы, используя методические материалы к их выполнению;

- повысить активность изучения дисциплины, так как исключается бригадная работа;

- повторно обратиться к изученному материалу при работе над курсовыми и дипломными работами;

- создать единое образовательное пространство — возможность использования данного курса при подготовке специалистов для других специальностей.

#### Список литературы

1. Основи метрології та вимірювальної техніки. Т. 2: Вимірювальна техніка / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник [та ін.].— Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2005.— 654 с.
2. Свиридов Е. В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде / Е. В. Свиридов, Я. И. Листратов, Н. А. Виноградова.— М.: Изд-во МЭИ, 2005.— 50 с.