

# Лабораторная работа № 3.4.5

## "Петля гистерезиса (динамический метод)"

Петров Артём Антонович, группа 721

4 декабря 2018

### Экспериментальная установка

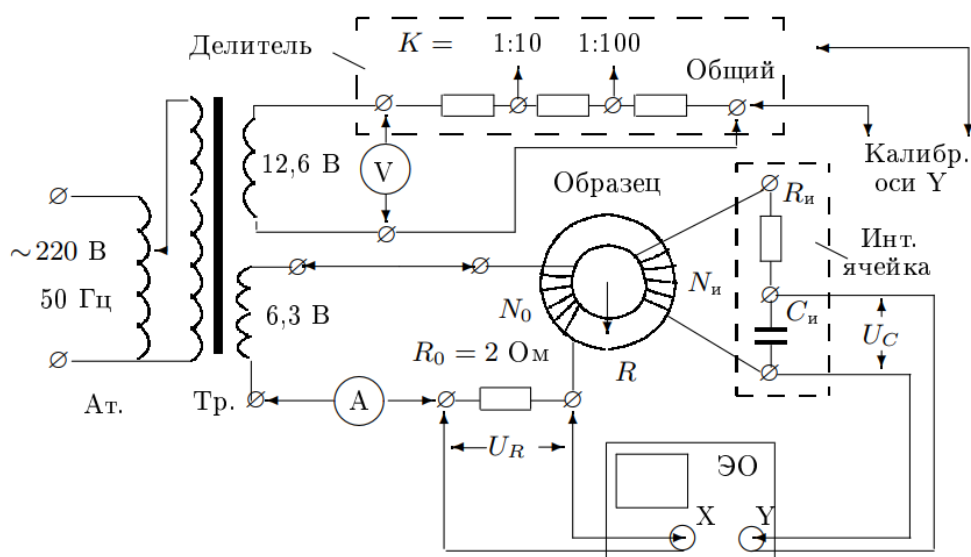


Рис. 1: Схема установки для изучения петли гистерезиса и калибровки приборов

В этой работе величины  $K_x$  и  $K_y$  указаны на Большое деление, в то время как все деления указаны в величинах маленьких делений, которые в 5 раз меньше больших.

#### Параметры установки:

$$R_0 = 0.220 \pm 0.002 \text{ Ohm} \quad R_u = 20 \text{ kOhm} \quad C_u = 20 \mu F$$

Феррит 1000

$$N_0 = 42 \text{ витка} \quad N_u = 400 \text{ витков} \quad S = 3,0 \text{ cm}^2 \quad 2\pi R = 25 \text{ cm}$$

Пермаллой

$$N_0 = 20 \text{ витка} \quad N_u = 300 \text{ витков} \quad S = 0,76 \text{ cm}^2 \quad 2\pi R = 13,3 \text{ cm}$$

Кремнистое железо

$$N_0 = 25 \text{ витка} \quad N_u = 250 \text{ витков} \quad S = 2,0 \text{ cm}^2 \quad 2\pi R = 11 \text{ cm}$$

Формулы для расчёта цены деления осциллографа:

$$H = \frac{K_x N_0}{2\pi R R_0} * x; B = \frac{K_y R_u C_u}{S N_u} * y. \quad (1)$$

## Ход работы

### Калибровка

#### Ось Х:

Коэффициент усиления рассчитывается по формуле:

$$m_x = \frac{2\sqrt{2}R_0 I_{eff}}{2x} \left[ \frac{V}{div} \right] \quad (2)$$

где  $I_{eff}$  - показания амперметра.

Для параметров:  $K_x = 50mV/div$ ;  $2x = [50 \pm 0.5]div$ ;  $I_{eff} = [0,767 \pm 0,001]A$

Получено значение  $m_x = [47.8 \pm 0.8]mV/div$ , что показывает, что осциллограф даёт на самом деле усиление, на 4% отличное от ожидаемого для оси Х. (Ну или что где-то тут неточность)

#### Ось У:

Коэффициент усиления рассчитывается по формуле:

$$m_y = \frac{2\sqrt{2}U_{eff}}{2y} \left[ \frac{V}{div} \right] \quad (3)$$

где  $U_{eff}$  - показания вольтметра.

Для параметров:  $K_y = 20mV/div$ ;  $2y = [41 \pm 0.5]div$ ;  $U_{eff} = [58,3 \pm 0,2]mV$

Получено значение  $m_y = [20.1 \pm 0.3]mV/div$ , что совпадает с нашими ожиданиями.

Для параметров:  $K_y = 50mV/div$ ;  $2y = [38 \pm 0.5]div$ ;  $U_{eff} = [135 \pm 1]mV$

Получено значение  $m_y = [50.2 \pm 0.8]mV/div$ , что совпадает с нашими ожиданиями.

### Определение $\tau$

$$\tau = RC = \frac{U_{вх}}{\Omega U_{вых}} \quad (4)$$

где  $\Omega = 2\pi * 50Hz$  - частота тока в установке. Данные:

Вход:  $K_y = 1V$   $2y_{вх} = [38 \pm 0.5]div$ ; Выход:

$K_y = 10mV$   $2y_{вых} = [30 \pm 0.5]div$ .

Откуда получаем:  $\tau = [403 \pm 9]msec$ , что идеально совпадает с расчётом  $\tau$  через параметры установки:  $\tau = C_u R_u = [400 \pm 4]msec$ .

### Исследование гистерезиса

**Полученные результаты:** Полученные кривые намагничивания можно видеть на графиках 3.

Полученные значения для коэрцитивной силы  $H_c$ , индукции насыщения  $B_s$  и коэффициента намагничивания  $\mu_{диф}$ :

Феррит:  $H_c = [23.3 \pm 1.1]A/m$ ;  $B_s = [0.240 \pm 0.006]T$ ;  $\mu_{диф} = [2.4 \pm 0.2]mT * m/A$

Пермаллой:  $H_c = [24.9 \pm 1.1]A/m$ ;  $B_s = [1.49 \pm 0.05]T$ ;  $\mu_{диф} = [140 \pm 30]mT * m/A$

Кремнистое железо:  $H_c = [66 \pm 3]A/m$ ;  $B_s = [0.88 \pm 0.03]T$ ;  $\mu_{диф} = [3.2 \pm 0.3]mT * m/A$

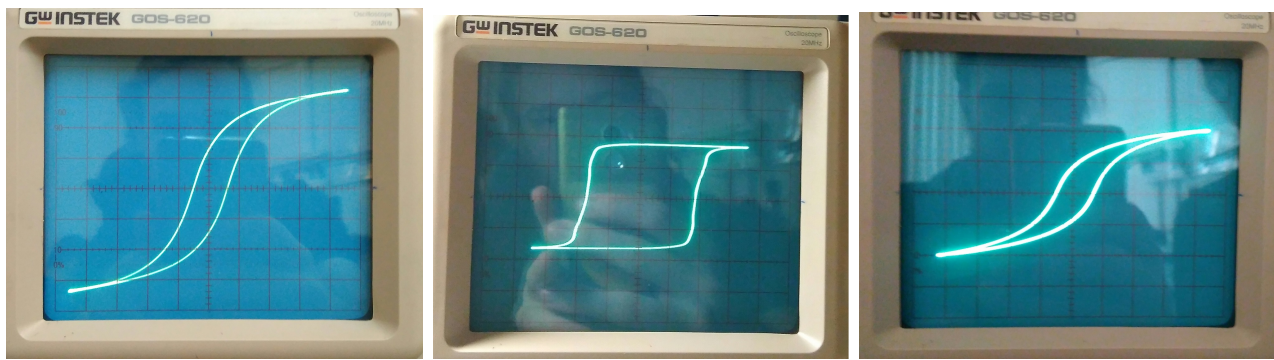


Рис. 2: Петля гистерезиса для образцов из феррита (слева), пермаллоя (по центру) и кремнистого железа (справа)

## Итог

В данной работе мы пронаблюдали эффект гистерезиса в ферромагнетиках. Также были получены некоторые характеристики исследуемых веществ:

Величина	Феррит	Пермаллой	Кремнистое железо
$H_c, A/m$	$23.3 \pm 1.1$	$24.9 \pm 1.1$	$66 \pm 3$
$B_s, T$	$0.240 \pm 0.006$	$1.49 \pm 0.05$	$0.88 \pm 0.03$
$\mu_{диф}, mT * m/A$	$2.4 \pm 0.2$	$140 \pm 30$	$3.2 \pm 0.3$

Табличные же значения очень сильно зависят от пропорции элементов в сплаве. Примерные диапазоны приведены в табличке:

Величина	Феррит	Пермаллой	Кремнистое железо
$H_c, A/m$	$\approx 10$	$1 - 100$	$10 - 100$
$B_s, T$	$\approx 0.25$	$1 - 2$	$1 - 2$
$\mu_{диф}, mT * m/A$	$0.2 - 8$	$\approx 100$	$\approx 10$

## Приложение

**Исходные данные:** 2) - параметры для петли гистерезиса, что на картинке  
 3) - параметры для кривой намагничивания  
 4) - данные для определения коэрцитивной силы  $H_c$  и индукции насыщения  $B_s$

Феррит

- 2)  $K_x = 50mV/div$ ;  $K_y = 20mV/div$ ;  $I_{eff} = 0.6454 \pm 0.0002A$
- 3) Кривая снята при тех же  $K_x$ ;  $K_y$
- 4)  $2y = 36div$  ( $K_y = 20mV/div$ );  $2x = 30.5div$  ( $K_x = 10mV/div$ )

Пермаллой:

- 2)  $K_x = 20mV/div$ ;  $K_y = 50mV/div$ ;  $I_{eff} = 0.173 \pm 0.001A$
- 3) Кривая снята при тех же  $K_x$ ;  $K_y$
- 4)  $2y = 17div$  ( $K_y = 50mV/div$ );  $2x = 36,5div$  ( $K_x = 10mV/div$ )

Кремнистое железо:

- 2)  $K_x = 0.1V/div$ ;  $K_y = 50mV/div$ ;  $I_{eff} = 1.252 \pm 0.002A$
- 3) Кривая снята при тех же  $K_x$ ;  $K_y$
- 4)  $2y = 22div$  ( $K_y = 50mV/div$ );  $2x = 32div$  ( $K_x = 20mV/div$ )

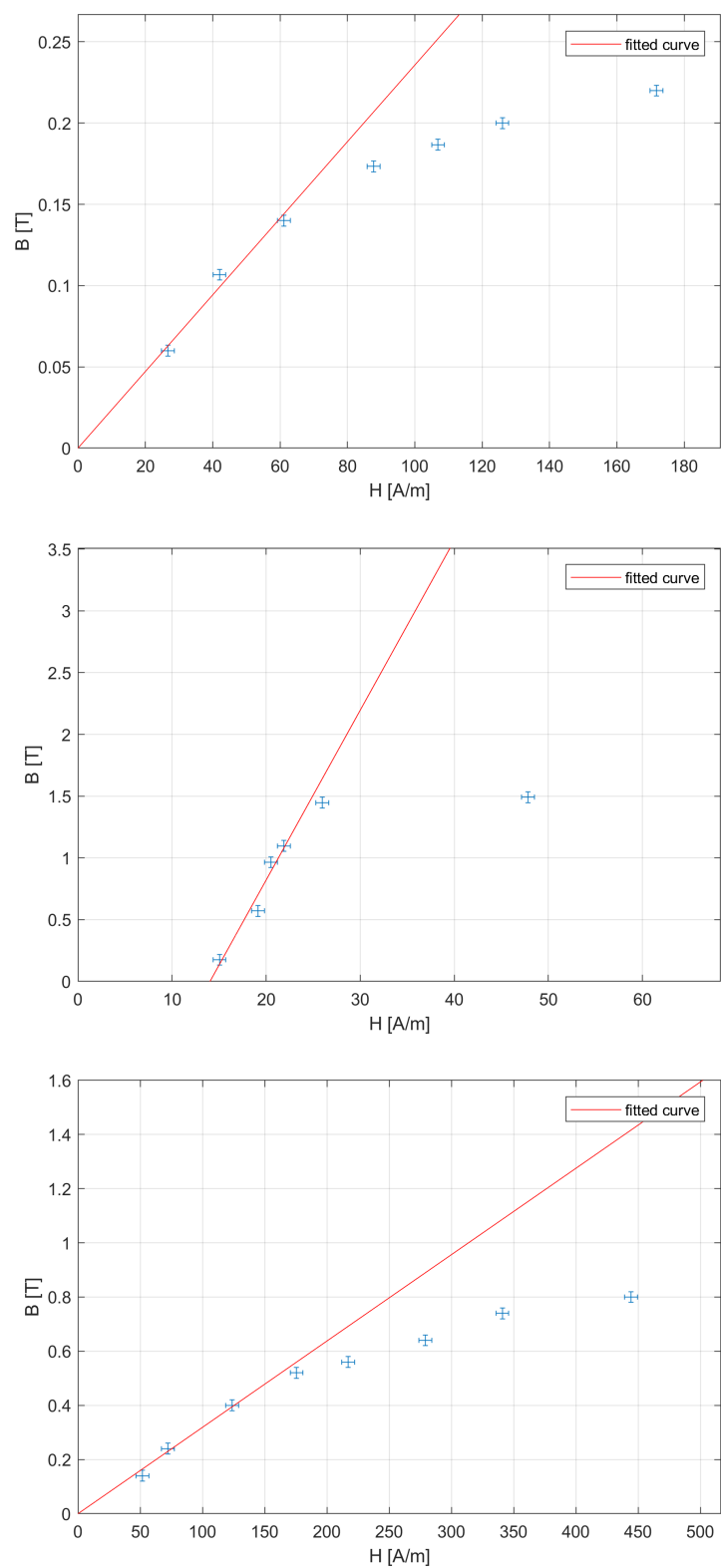


Рис. 3: Кривые намагничивания для образцов из феррита (сверху), пермаллоя (по центру) и кремнистого железа (снизу)