

# ФОРМУЛА ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Пригара В.Н.

Кафедра теоретических основ электротехники

Научный руководитель: Шилин Л.Ю., декан ФИТУ, д.т.н., профессор

e-mail: kaftoe@bsuir.by

**Аннотация** — Получена формула петли гистерезиса, основанная на использовании нетрадиционного решения квадратных уравнений с вещественными коэффициентами [1]. Это позволяет по-новому описать ординаты неоднозначных характеристик, упростить и повысить точность учета гистерезиса.

**Ключевые слова:** петли гистерезиса, синусные и косинусные их составляющие, границы участков, их простые тригонометрические функции, действительные для петель различных ферромагнетиков.

## А. Введение

Для получения формулы применены понятия: 1) особые значения аргумента  $h$ ; 2) части петли гистерезиса I-IV; 3) участки ветвей петли. Особые значения аргумента  $h$  — это  $0, \pm h_c, \pm 1$ . Им соответствуют ординаты ветвей, обычно применяющиеся при описании ферромагнетиков. Четыре части петли выделены между вертикалями, проходящими через особые значения  $h$  и охватывают всю площадь петли с учетом ее симметрии.

## В. Формула ветвей петли гистерезиса

На рис. 1 выделены участки петли гистерезиса, их шесть, которые отображают процесс размагничивания ферромагнетика после достижения им максимальной индукции в положительном ( $b = +1$ ) или отрицательном ( $b = -1$ ) направлении. При этом в обоих случаях индукция спадает от максимальной величины ( $\pm 1$ ) до  $0$ , сохраняя направление предшествующего максимума. В этом процессе, однако, есть принципиально отличающиеся этапы: на участках I и II, а также IV и III спад индукции происходит в условиях спада магнитодвижущей силы  $h$  от  $\pm 1$  до  $0$ , что не ускоряет размагничивание ферромагнетика.

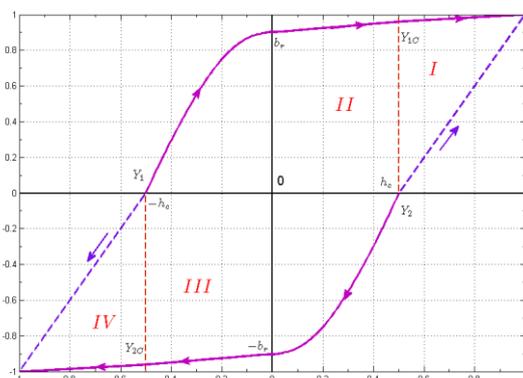


Рис. 1. Диаграмма шести участков размагничивания с хордами (штрихи) двух участков намагничивания ферромагнетика.

Вместе с инерционностью его доменов это приводит, как видно из рис. 1, к почти линейному снижению индукции от  $\pm 1$  до  $\pm b_r$ . Потом наступает принципиально новый, второй этап размагничивания.

Индукция при этом на участке III или II круто снижается от  $\pm b_r$  до  $0$  нелинейно.

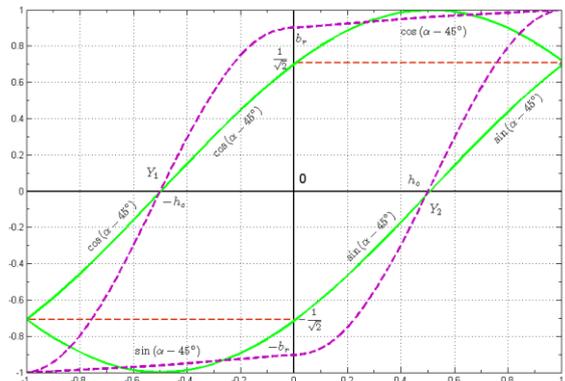


Рис. 2. Диаграмма моделирующих тригонометрических функций  $A, \cos(a-45^\circ), \sin(a-45^\circ)$ , совмещенная с петлей гистерезиса.

Для особых значений  $h$  общее решение порождает соотношения (Рис. 2):

$$h = 1, \quad Y_1 = Y_2 = 1, \quad A = \sqrt{2}, \quad \cos a = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \sin a = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$E. \quad h = h_c, \quad Y_1 = Y_{1c}, \quad Y_2 = 0, \quad A = Y_{1c}, \quad \cos a = 1, \quad \sin a = 0;$$

$$h = 0, \quad Y_1 = b, \quad Y_2 = -b, \quad A = \sqrt{2}b, \quad \cos a = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \sin a = -\frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$h = -h_c, \quad Y_1 = 0, \quad Y_2 = Y_{2c}, \quad A = |Y_{2c}|, \quad \cos a = 0, \quad \sin a = -1;$$

$$h = -1, \quad Y_1 = Y_2 = -1, \quad A = \sqrt{2}, \quad \cos a = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \sin a = -\frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Участки I и II верхней ветви петли гистерезиса — два отрезка прямых, каждый из которых размещен между двумя заданными точками (Рис. 1): первый между точками с координатами  $(1, 1)$  и  $(h_c, Y_{1c})$ , второй — между точками с координатами  $(h_c, Y_{1c})$  и  $(0, b_r)$ . Для первого и второго участков [1] получим:

$$\frac{Y_{1,I} - Y_{1c}}{1 - Y_{1c}} = \frac{h - h_c}{1 - h_c} \quad \text{откуда} \quad \begin{cases} Y_{1,I} = (h - h_c) \left( \frac{1 - Y_{1c}}{1 - h_c} \right) + Y_{1c} \\ Y_{1,II} - b_r = \frac{h}{h_c} (Y_{1c} - b_r) + b_r \end{cases}$$

## С. Заключение

По-новому определены ординаты петли гистерезиса. Основа метода — нетрадиционное решение квадратных уравнений, описывающих ординаты. Введены понятия: особые значения аргумента  $h$ ; части петли гистерезиса I-IV; её участки.

[1] Жевняк Р., Карпук А. Высшая математика, учебник, Минск, 1992.

[2] Ильин В. Доклады БГУИР. 2009. №3, с. 41-45.