УДК 735.29.(32)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Таранов С.И.
Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Кибардин В.В.
Сибирский федеральный университет

Практически все известные виды вторичных источников питания содержат в своём составе электромагнитные компоненты, такие как трансформаторы и индукторы. Обычно эти компоненты изготавливаются с использованием различных ферромагнитных материалов, позволяющих улучшить их электрические параметры, а так же уменьшить размеры и массу..

Реакция магнитоупорядоченных объектов на изменение внешнего магнитного поля *H*, прежде всего, состоит в изменении индуктивности *B*. В связи с этим наиболее информативными характеристиками свойств сильномагнитных веществ являются зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля *B(H)*. При монотонном увеличении поля такая зависимость называется кривой намагничивания, при циклическом изменении поля – петлей гистерезиса. Появление математических моделей гистерезисных явлений (1-3) обуславливалось достаточно богатым набором прикладных задач (прежде всего в теории автоматического управления), в которых носители гистерезиса нельзя рассматривать изолированно, поскольку они являются частью некоторой системы.

Для моделирования петли гистерезиса, по полученным экспериментальным данным, существует множество специализированных программ, имеющих модели трансформаторов, индукторов и т.д., однако они не всегда подходят для моделирования петли гистерезиса, например стали, используемой при проектировании асинхронных электродвигателей. Для наглядного моделирования кривой можно воспользоваться пакетом прикладных программ Mathcad. Например, рассмотрим основную кривую намагничивания, заданную в виде вектор-строк:

$$H = x := (70\ \ 140\ \ 204\ \ 293\ \ 403\ \ 488\ \ 593\ \ 897\ \ 1450\ \ 2700\ \ 6750)^T$$

$$B = y := (0\ \ 0.2\ \ 0.4\ \ 0.6\ \ 0.8\ \ 1\ \ 1.2\ \ 1.4\ \ 1.6\ \ 1.8\ \ 2)^T$$

Используем функцию Linfit:

$$F(x) := \begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \end{pmatrix}$$

$$C := \mathrm{linfit}(x, y, F)$$

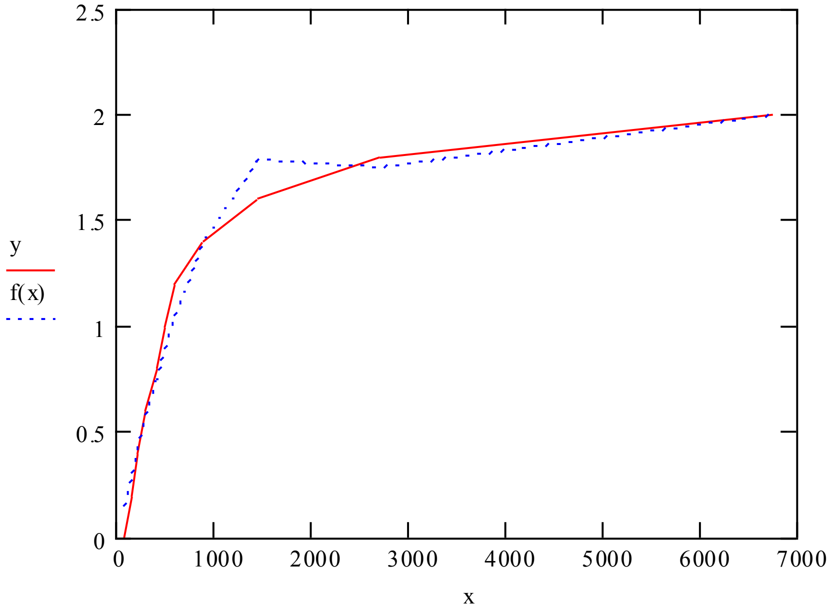
$$C = \begin{pmatrix} 2.189\times 10^{-3} \\ -7.648\times 10^{-7} \\ 7.177\times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

В расчетах аппроксимированной функции выбирали поленом 3-го порядка.

$y = a_0 x + a_1 x^1 + a_{2x} x^2$

На выходе получим график описывающий y:

$f(x) := C_0 \cdot x + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot x^3$

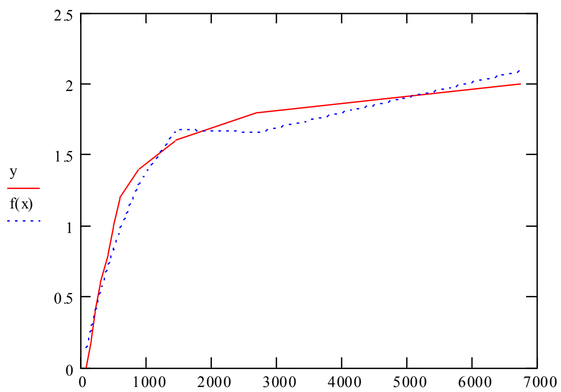


Для того что бы выровнять полученный график меняем показатели степеней:

$$F(x) := \begin{pmatrix} x^1 \\ x^{2.0011} \\ x^3 \end{pmatrix}$$

На выходе получим:

$f(x) := C_0 \cdot x^{0.9899} + C_1 \cdot x^{1.9896} + C_2 \cdot x^{2.9891} + C_2 \cdot x^{2.1}$



На основании этого мы можем построить полную петлю гистерезиса и анализировать ее при помощи функции f(x).

$$y2 := (-2\ \ -1.8\ \ -1.6\ \ -1.4\ \ -1.2\ \ -1\ \ -0.8\ \ -0.6\ \ -0.4\ \ -0.2\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0.2\ \ 0.4\ \ 0.6\ \ 0.8\ \ 1\ \ 1.2\ \ 1.4\ \ 1.6\ \ 1.8\ \ 2)^T$$

$$x2 := (-6750\ \ -2700\ \ -1450\ \ -897\ \ -593\ \ -488\ \ -403\ \ -293\ \ -204\ \ -140\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 140\ \ 204\ \ 293\ \ 403\ \ 488\ \ 593\ \ 897\ \ 1450\ \ 2700\ \ 6750)^T$$

$$y3 := (-2\ \ -1.8\ \ -1.6\ \ -1.4\ \ -1.2\ \ -1\ \ -0.8\ \ -0.6\ \ -0.4\ \ -0.2\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0.2\ \ 0.4\ \ 0.6\ \ 0.8\ \ 1\ \ 1.2\ \ 1.4\ \ 1.6\ \ 1.8\ \ 2)^T$$

Для сдвига петли гистерезиса вводим коэффициент k:

$$k := 2000$$

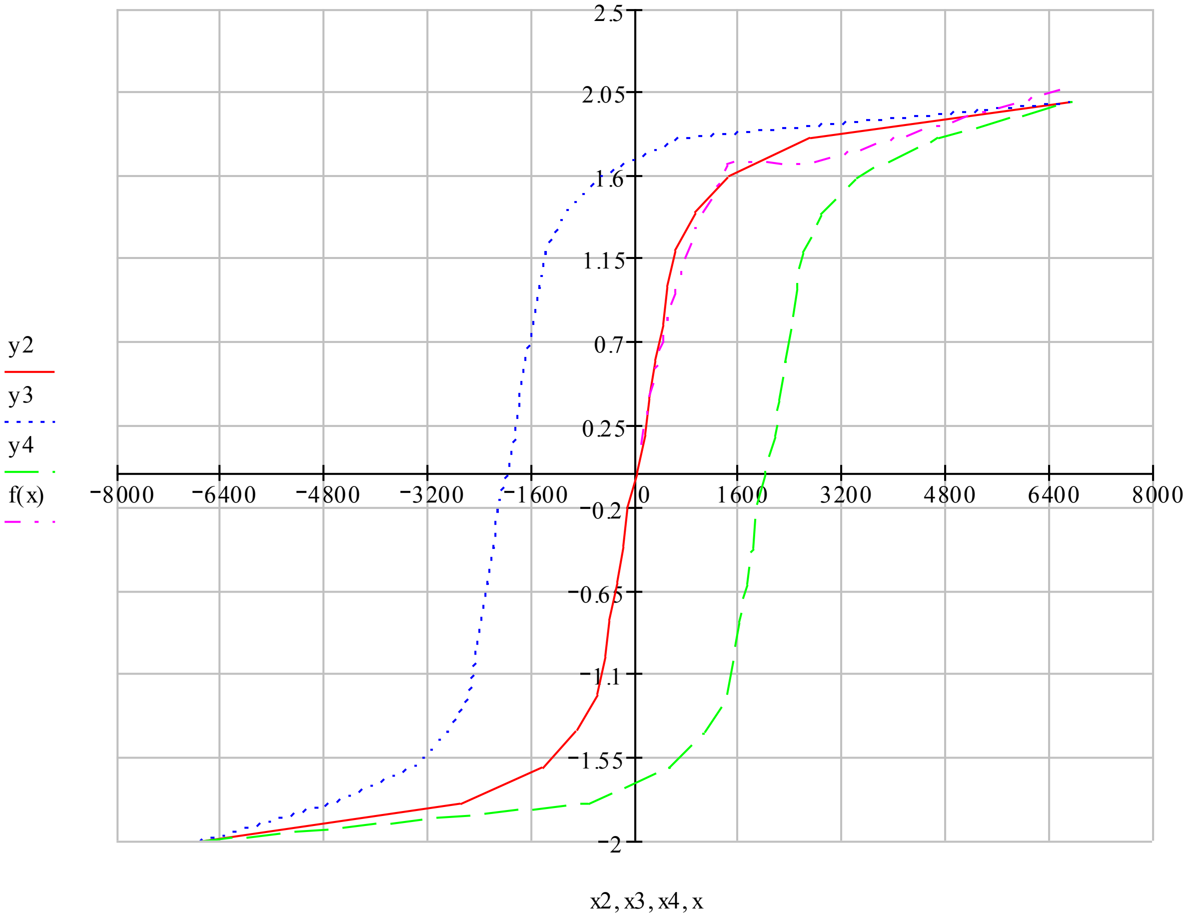
$$k1 := -2000$$

$$x3 := (-6750\ \ -2700-k\ \ -1450-k\ \ -897-k\ \ -593-k\ \ -488-k\ \ -403-k\ \ -293-k\ \ -204-k\ \ -140-k\ \ 0-k\ \ 0-k\ \ 0-k\ \ 140-k\ \ 204-k\ \ 293-k\ \ 403-k\ \ 488-k\ \ 593-k\ \ 897-k\ \ 1450-k\ \ 2700-k\ \ 6750)^T$$

$$y4 := (-2\ \ -1.8\ \ -1.6\ \ -1.4\ \ -1.2\ \ -1\ \ -0.8\ \ -0.6\ \ -0.4\ \ -0.2\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0.2\ \ 0.4\ \ 0.6\ \ 0.8\ \ 1\ \ 1.2\ \ 1.4\ \ 1.6\ \ 1.8\ \ 2)^T$$

$$x4 := (-6750\ \ -2700-k1\ \ -1450-k1\ \ -897-k1\ \ -593-k1\ \ -488-k1\ \ -403-k1\ \ -293-k1\ \ -204-k1\ \ -140-k1\ \ 0-k1\ \ 0-k1\ \ 0-k1\ \ 140-k1\ \ 204-k1\ \ 293-k1\ \ 403-k1\ \ 488-k1\ \ 593-k1\ \ 897-k1\ \ 1450-k1\ \ 2700-k1\ \ 6750)^T$$

Получим полную петлю гистерезиса в четырех квадрантах:



Получив изображение петли гистерезиса мы можем описать ее функцией f(x), использую аппроксимирующую функцию.