

Рисунок 3 – аппроксимация ОКН стали 3404 в поле частотой 50 Гц (точками обозначены экспериментальные данные, прямыми соединяются задающие точки)

Точность аппроксимации соизмерима с точностью средств измерения магнитных величин.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии у параметрического аналитического подхода к представлению процессов намагничивания и перемагничивания определенных преимуществ перед традиционными моделями на основе элементарных и трансцендентных функций. Сюда можно отнести:

- гибкость, позволяющую описывать широкий класс процессов для различных материалов;
- возможность представления динамики гистерезиса;
- отсутствие существенных осцилляций погрешности аппроксимации в пределах диапазона.

Список литературы

1. Зирка, С.Е. Моделирование переходных процессов в трансформаторе с учетом гистерезисных свойств магнитопровода/ С.Е. Зирка, Ю.И. Мороз, Е.Ю. Мороз, А.Л. Тарчуткин // *Технічна електродинаміка*. – 2010. – № 2. – С. 11–20.
2. Колесников, П.М. Введение в нелинейную электродинамику/ П.М. Колесников.- Мн.: Наука и техника, 1971. - 384 с.
3. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики/ Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
4. Холоднокатаные электротехнические стали / Б.В. Молотилов [и др.]; под ред. Б.В. Молотилова. – Москва: Металлургия, 1989. – 168 с.
5. Science of hysteresis: 3 vol. / editors: G. Bertotti, I. Mayergoyz [at. al]. – NY: Elsevier Academic Press, 2006. – Vol. 1: Mathematical modeling and application. – 705 P.

УДК 621.317.43

**О ДИНАМИЧЕСКИХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ПЕРЕХОДАХ И ИХ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ**
маг. физ.-мат. наук Скурту И.Т., докт. техн. наук Брановицкий И.И.
ГНУ "Институт прикладной физики НАН Беларуси", г. Минск

Характеристики электрических машин как устройств, содержащих магнитную цепь, определяются её магнитными характеристиками (основной кривой

намагничивания и семейством петель гистерезиса), которые могут претерпевать существенные изменения при смене условий или режимов работы. Можно говорить, например, о конструкционной, частотной или дефектно обусловленной динамике гистерезиса, выделяя соответствующие динамические гистерезисные переходы. Следует отметить, что именно корректность представления магнитных характеристик является главным фактором, определяющим применимость той или иной математической модели. Также важно то, что само по себе, решение задачи непосредственного, пусть и очень точного представления ОКН и петли гистерезиса или их производных не имеет большой практической ценности для описания динамики гистерезиса при отсутствии связи с физикой процессов.

На рисунках 1-3 представлены примеры динамических гистерезисных переходов, обусловленных изменением параметров магнитной цепи, вследствие дефектов.

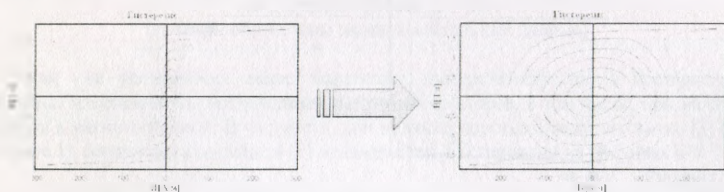


Рисунок 1 – динамический переход при развитии дефекта, вызванного КЗ витком для петель с фиксированной индукцией в обмотке витого магнитопровода из стали 3404 при частоте перемagnetивания 50 Гц

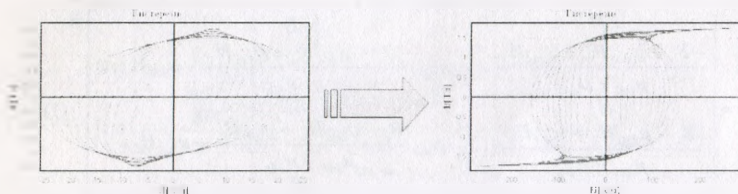


Рисунок 2 – динамический переход при развитии дефекта, вызванного КЗ витком для петель с фиксированным напряжением в обмотке витого магнитопровода из стали 3404 при частоте перемagnetивания 50 Гц

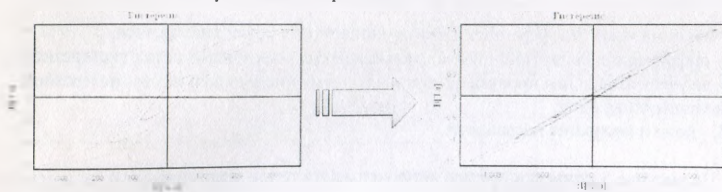


Рисунок 3 – динамический переход для петель с фиксированной индукцией при развитии дефекта, вызванного ростом зазора, для разрезанного витого магнитопровода из стали 3404 при частоте перемagnetивания 50 Гц

Рассмотренный ранее [3] подход к описанию основной кривой намагничивания можно применить к описанию петли гистерезиса. Поскольку её восходящая и нисходящая ветви симметричны относительно начала координат, описания одной ветви достаточно для представления всего гистерезисного цикла. На рисунке 4 показаны общий вид и расположение задающих точек для предельной петли гистерезиса.

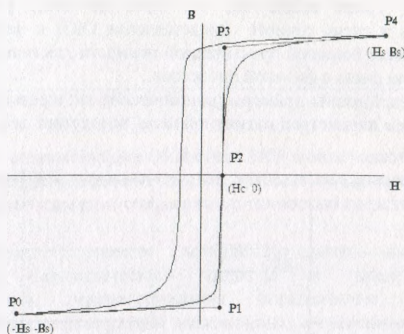


Рисунок 4 – общий вид петли гистерезиса и расположение задающих точек для восходящей ветви петли гистерезиса

Матрица координат задающих точек, по аналогии с [3] будет определяться как:

$$G_{H_1} = \begin{bmatrix} \frac{-H_s}{-B_s + \mu_{dsld} H_s + \mu_{dml} H_c} & \frac{-B_s}{\mu_{dml} \frac{-B_s + \mu_{dsld} H_c + \mu_{dml} H_c}{\mu_{dml} - \mu_{dld}} - \mu_{dml} H_c} \\ \frac{\mu_{dml} - \mu_{dsld}}{H_s} & 0 \\ \frac{B_s - \mu_{dslo} H_s + \mu_{dml} H_c}{\mu_{dml} - \mu_{dslo}} & \frac{\mu_{dml} \frac{B_s - \mu_{dslo} H_s + \mu_{dml} H_c}{\mu_{dml} - \mu_{dslo}} - \mu_{dml} H_c}{B_s} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Здесь :

μ_{dml} – максимальная дифференциальная проницаемость петли гистерезиса;

μ_{dslo} – дифференциальная проницаемость насыщения восходящей петли гистерезиса;

μ_{dsld} – дифференциальная проницаемость насыщения нисходящей петли гистерезиса;

H_c – коэрцитивная сила;

H_s, B_s – поле и индукция насыщения.

На рисунке 5 приведен пример аппроксимации петли динамического гистерезиса.

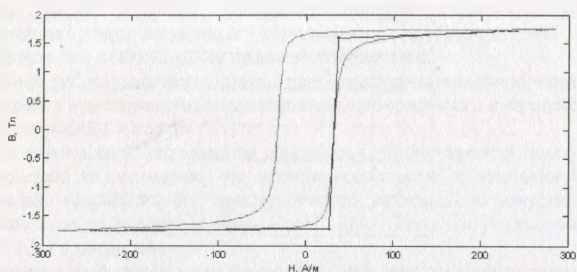
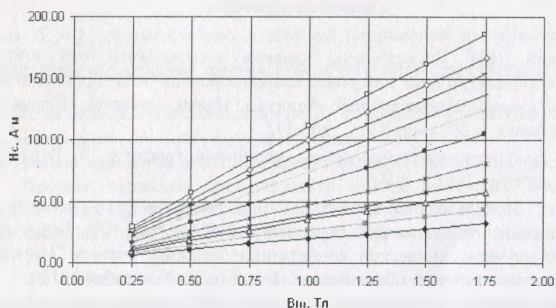


Рисунок 5 – аппроксимация предельной петли гистерезиса стали 3-404 в поле частотой 50 Гц при индукции 1.75 Тл (точками обозначены экспериментальные данные)

Как уже упоминалось выше, параметры гистерезисного цикла претерпевают значимые изменения под воздействием различных факторов. в том числе, при наличии дефекта в магнитной цепи. В частности, при наличии короткозамкнутого витка [3] (см. рисунок 1), параметры входящие в (1) меняются так, как показано на рисунках 6-8.

Рисунок 6 – семейство



зависимостей коэрцитивной силы от индукции при количестве КЗ-витков от 0 до 10 (нулевому количеству соответствует самый нижний график)

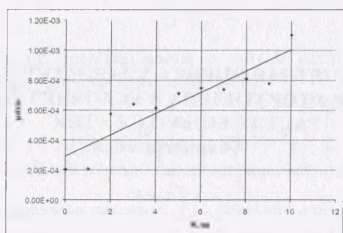


Рисунок 7 – тренд динамической проницаемости насыщения для восходящей ветви предельной петли (1.75 Тл) по количеству КЗ-витков

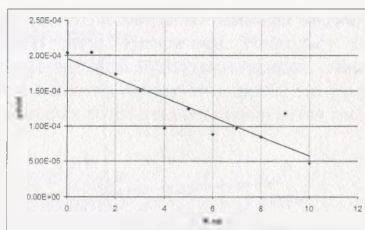


Рисунок 8 – тренд динамической проницаемости насыщения для нисходящей ветви предельной петли (1.75 Тл) по количеству КЗ-витков

Точность определения динамических проницаемостей ограничивается точностью измерительной системы, тем не менее, свойства ветвей петель допускают итерационное уточнение данных параметров, что позволяет описывать динамические гистерезисные переходы достаточно простыми средствами, повышая при этом эффективность проектирования и диагностики устройств с магнитной цепью.

Список литературы

- Брановицкий, И.И. Исследование влияния короткозамкнутого контура на магнитные характеристики материала магнитопровода/ И.И. Брановицкий, П.Д. Мацкевич// Весті Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2005. -№ 3. – С. 109-112.
- Роджерс, Д. Математические основы машинной графики/ Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
- Скурту, И.Т. Использование кривых Безье для представления основной кривой намагничивания магнитных материалов/ И.Т.Скурту, И.И. Брановицкий – материалы научно-технической конференции молодых учёных "Инновации в науке, промышленности и образовании", Витебск 28-29 октября 2010 г.
- Холоднокатаные электротехнические стали / Б.В. Молотилов [и др.]; под ред. Б.В. Молотилова. – Москва: Металлургия, 1989. – 168 с.
- Science of hysteresis: 3 vol. / editors: G. Bertotti, I. Mayergoyz [et al]. – NY: Elsevier Academic Press, 2006. – Vol. 1: Mathematical modeling and application. – 705 P.

УДК 539.3

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ХЛАДОТЕКУЧЕСТИ ПОЛИТЕТРАФОРЭТИЛЕНА В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ

Гавриленко С.Л.

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого ИАН Беларуси,
г.Гомель*

Хладотекучесть, как проявление ползучести, в особенности свойственная политетрафторэтилену (ПТФЭ), способствует широкому использованию указанного полимерного материала в уплотнительной технике. С другой стороны, хладотекучесть приводит к нестабильности формы сопряжений из антифрикционных полимерных