

УДК 621.317.4

УПРАВЛЕНИЕ МАГНИТНЫМ СОСТОЯНИЕМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ланкин А.М., Ланкин М.В., Наракидзе Н.Д., Наугольников О.А.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: lankinjohn@rambler.ru

В статье описан метод управления магнитным состоянием изделий из магнитомягких материалов при определении основной кривой намагничивания. Для изделий из магнитомягкого материала основная кривая намагничивания является одной из важнейших характеристик, позволяющей проводить контроль и диагностику изделий. Представленный в статье алгоритм заключается в том, что в ходе этапа размагничивания в знакопеременном поле измеряется амплитуда импульсов размагничивающего поля и приращения индукции, затем определяется оптимальное число точек основной кривой намагничивания, в которых требуется выполнить измерение для линейной аппроксимации. Применение разработанного метода позволяет оптимизировать количество измеряемых точек основной кривой намагничивания, а также увеличить производительность операций контроля при сохранении требуемой погрешности, не превышающей значения, регламентированного в ГОСТ.

Ключевые слова: основная кривая намагничивания, управление магнитным состоянием, магнитомягкие материалы

MANAGEMENT MAGNETIC STATE OF SOFT MAGNETIC PRODUCTS

Lankin A.M., Lankin M.V., Narakidze N.D., Naugolnov O.A.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)», Novocherkassk, e-mail: lankinjohn@rambler.ru

This article describes method for controlling the magnetic state of the products of magnetic materials in determining the basic magnetization curve. For products made of a soft magnetic material bulk magnetization curve is one of the most important characteristics that enables the monitoring and diagnostics products. In the article the algorithm lies in the fact that during the phase of an alternating field demagnetization in the measured pulse amplitude of the demagnetizing field and the change of induction, resulting in the optimal number of points is determined by the basic magnetization curve, which is required to perform the measurement of the linear approximation. Application of this method to optimize the number of measured points of the basic magnetization curve, as well as improve the performance of control operations while maintaining the required accuracy is not greater than those regulated GOST.

Keywords: basic magnetization curve, magnetic state control, magneto-soft materials

Для изделий из магнитомягкого материала (МММ) основная кривая намагничивания (ОКН) является одной из важнейших характеристик. Методика выполнения измерений при определении ОКН изделия из МММ предусматривает два основных этапа [4].

На первом этапе перед измерением ОКН необходимо выполнить размагничивание образца посредством перемагничивания его в знакопеременном поле, с амплитудой равномерно убывающей от максимума до минимального значения (рис. 1). Время размагничивания должно составлять не менее 40 с.

На втором этапе определение координат точек ОКН изделия из МММ начинают с наименьшего требуемого значения напряженности поля, постепенно переходя к большим значениям, при этом не допускается возврат от больших значений к меньшим [3].

Если в ходе первого этапа измерять амплитуду импульсов размагничивающего поля H_i и приращения индукции ΔB_i , то можно, проанализировав эти данные, определить минимальное число точек ОКН, в которых требуется выполнить измерение

для линейной аппроксимации ее с требуемой точностью.

Для этого были разработаны алгоритмы [4], позволяющие решить эту задачу. Работа алгоритма базируется на методе определения погрешности [5].

В основе первого алгоритма лежит анализ модуля второй производной изменения магнитной индукции B по напряженности H . Построив график зависимости d^2B/dH^2 от H , вычисляем значение общей площади $S_{\text{общ}}$ по формуле

$$S_{\text{общ}} = \int_0^{H_{\text{max}}} \frac{d^2B}{dH^2} dH.$$

Задавшись количеством точек n , определяем значение площади $S_{\text{изм}}$, соответствующей одной измеряемой точке на ОКН:

$$S_{\text{изм}} = S_{\text{общ}}/n.$$

Для нахождения координат точек, подлежащих измерению, воспользуемся

формулой вычисления площади методом трапеции и уравнением прямой и составим систему уравнений:

$$\begin{cases} S_{\text{изм}} = \frac{\left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_{\text{изм } i} + \left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_i}{2} (H_{\text{изм } i} + H_i), \\ \left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_{\text{изм } i} = k H_{\text{изм } i} + b, \end{cases} \quad (1)$$

где $k = \frac{\left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_{i+1} - \left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_i}{H_{i+1} - H_i};$

$b = \left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_i - k \cdot H_i$ — коэффициенты,

$i = 1 \dots N$, N — количество точек, полученных в процессе проведения размагничивания.

Решая систему уравнений (1), получим

$$H_{\text{изм } i} = \frac{-\left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_i + k \cdot H_i + \sqrt{\left(\frac{d^2 B}{dH^2}\right)_i^2 + 2 \cdot S_{\text{изм}} \cdot k}}{k}.$$

После определения первой и второй производных (рис. 1) и применения выше-

описанного алгоритма получили результаты, представленные на рис. 2.

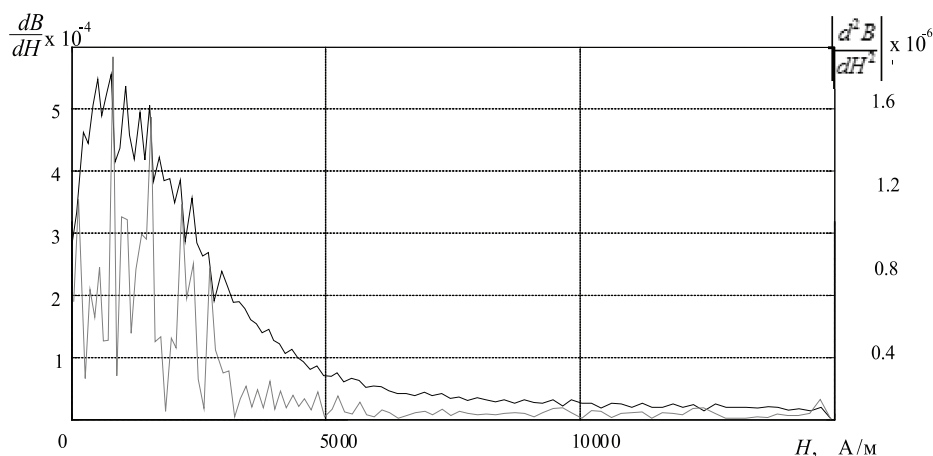


Рис. 1. Первая и вторая производные по H

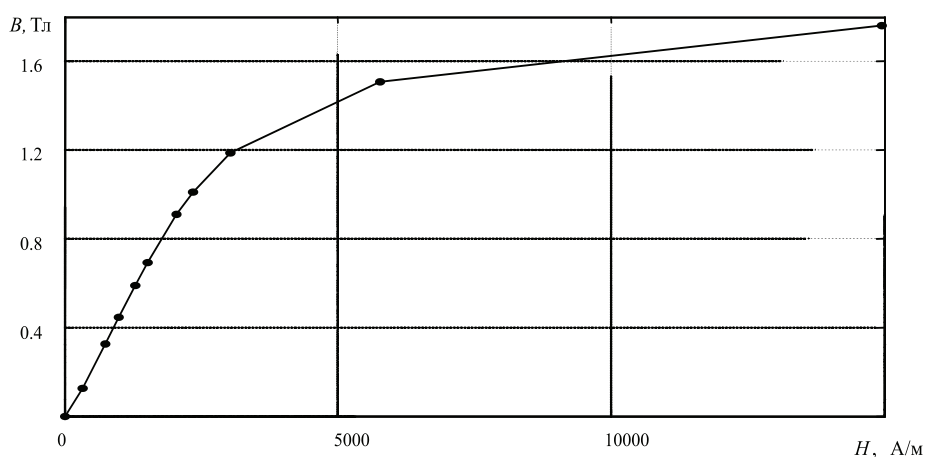


Рис. 2. Результат применения алгоритма при $n = 10$

Видно, что алгоритм работает некорректно. Данная «некорректность» вызвана сильным зашумлением результатов измерений ОКН. Для

исправления положения произведем фильтрацию. На рис. 3 представлены функции первой и второй производных измеренной ОКН после

проведения фильтрации, а на рис. 4 – результаты, полученные после использования филь-

трованных функций первой и второй производных в адаптивном алгоритме.

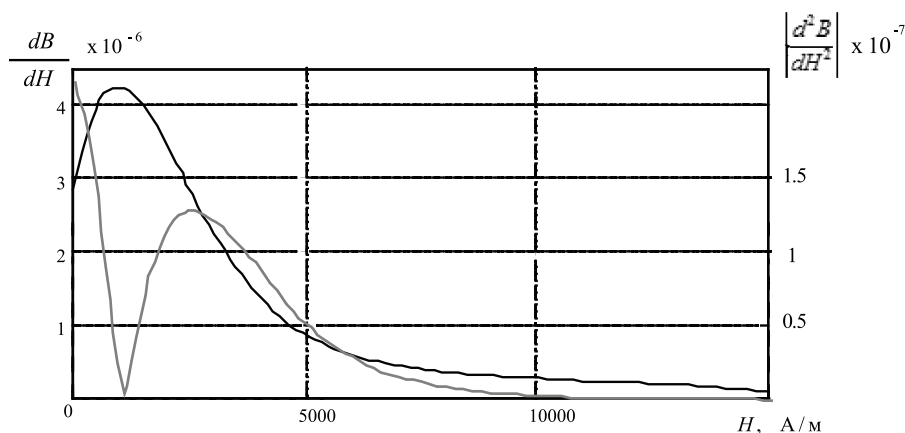


Рис. 3. Производные после фильтрации

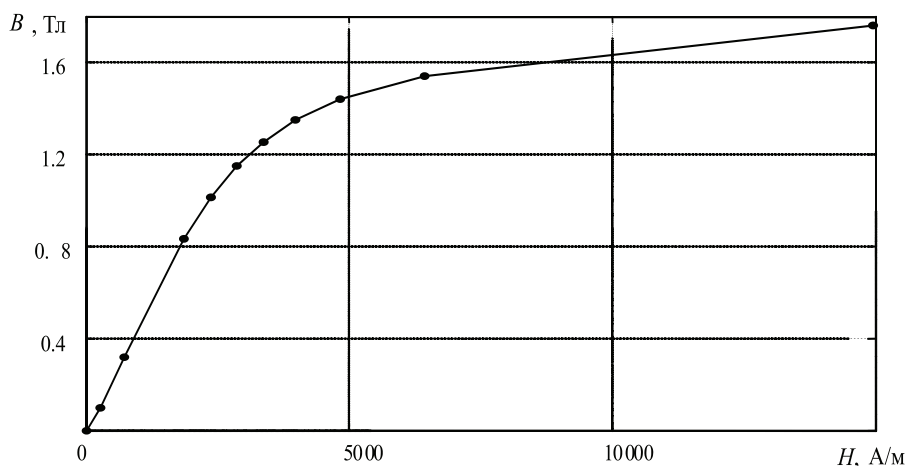


Рис. 4. Результат работы алгоритма при $n = 10$

Из рис. 4 видно, что алгоритм работает корректно, выделяя линейные и нелинейные участки ОКН и строя программу измерения таким образом, что на нелинейных участках проводится максимальное количество измерений.

Работа второго алгоритма базируется на методе определения погрешности и поясняется на рис. 5.

На этом рисунке использованы следующие обозначения: $p_k, p_{k=m-2}$ – начальная и конечная точки аппроксимирующего отрезка ($k \in [0, m-2], i \in [k-2, m]$); m – количество шагов при размагничивании изделия из ФММ; p_{i-1} – точка ОКН, подлежащая проверке на принадлежность аппроксимирующему отрезку l_{ki} .

Работает алгоритм следующим образом.

1. Задаем начальные условия: $k = 0, i = k + 2$.

2. Строим аппроксимирующий отрезок l_{ki} .

3. Последовательно проверяем на принадлежность точек p_i отрезку l_{ki} , до тех пор пока $i < k$.

4. Если все точки участка ОКН принадлежат l_{ki} , то принимается, что данный участок можно им заменить, принимаем $k = k + 1, i = i + 1$ и возобновляем процесс, начиная с пункта 2. Если хотя бы одна из точек данного участка ОКН не принадлежит l_{ki} , строится новый аппроксимирующий отрезок l_{ki-1} и вновь выполняется проверка на принадлежность точек участка ОКН, ограниченного точками $p_{k \text{ и } p_{i-1}}$. Проверка на принадлежность точки p_{i-1} отрезку l_{ki} с заранее заданной погрешностью аппроксимации δ_a выполняется, исходя из следующих соображений. Рассмотрим прямоугольные треугольники ACD и BCD . Геометрической интерпретацией погрешности аппроксимации является перпендикуляр

После расчета h_{i-1} проверяется условие $h_{i-1} < \delta_a$. При выполнении этого условия считаем, что точка p_{i-1} принадлежит аппроксимирующему отрезку с погрешностью δ_a .

Таким образом, предложенные алгоритмы сокращают количество измеряемых точек ОКН, увеличивая производительность операций контроля при погрешности измерения, не превышающей значения регламентируемого в [2].

Статья подготовлена с использованием оборудования ЦКП «Диагностика и энергоэффективное электрооборудование» ЮРГТУ(НПИ).

Список литературы

1. Антонов В.Г., Петров Л.М., Щелкин А.П. Средства измерений магнитных параметров материалов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986 г. – 216 с.
2. ГОСТ 8.377-80. Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик. – Взамен ГОСТ 15058-69; введ. 1980-03-28. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 21 с.
3. Испытание магнитных материалов и систем / Е.В. Комаров, А.Д. Покровский, В.Г. Сергеев, А.Я. Шихин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
4. Ланкин М.В. Приборы и методы контроля магнитных свойств постоянных магнитов: монография; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. – 292 с.
5. Свид. об оф. рег. прогр. для ЭВМ 2007610158 Российская Федерация Адаптивные алгоритмы управления магнитным состоянием ферромагнитной детали при определении основной кривой намагничивания (АОКН) / Горбатенко Н.И., ... , Наракидзе Н.Д.; Роспатент. – № 2006613614; заявл. 25.10.06; зарег. 9.01.07.

References

1. Antonov V.G., Petrov L.M., Schelkin A.P. Sredstva izmereniy magnitnykh parametrov materialov. Leningrad, Energoatomizdat, 1986. 216 p.
2. GOST 8.377-80. Materialy magnitomyagkie. Metodika vyipolneniya izmereniy pri opredelenii staticheskikh magnitnykh harakteristik. Vzamen GOST 15058-69; vved. 1980-03-28. M.: Izd-vo standartov, 1980. 21 p.
3. Ispytanie magnitnykh materialov i sistem / E.V. Komarov, A.D. Pokrovskiy, V.G. Sergeev, A.Ya. Shihin. M.: Energoatomizdat, 1984. 376 p.
4. Lankin M.V. Pribory i metody kontrolya magnitnykh svoystv postoyannykh magnetov: monografiya / M.V. Lankin; Yuzh.-Ros. gos. tehn. un-t. Novocherkassk: YuRGU (NPI), 2007. 292 p.
5. Svid. ob of. reg. progr. dlya EVM 2007610158 Rossiyskaya Federatsiya Adap-tivnye algoritmy upravleniya magnitnym sostoyaniem ferromagnitnoy detali pri opredelenii osnovnoy krivoy namagnichivaniya (AOKN) / Gorbatenko N.I., ... , Narakidze N.D.; Rospatent. no. 2006613614; zayavl. 25.10.06; zareg. 9.01.07.

Рецензенты:

Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск;

Гречихин В.В., д.т.н., профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск.

Работа поступила в редакцию 23.10.2014.