

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Важнейшими характеристиками используемых в электромашиностроении и электронике магнитных цепей являются удельные магнитные потери (при заданной амплитуде магнитной индукции) и амплитуда магнитной индукции (при заданной амплитуде внешнего магнитного поля) материалов, из которых они состоят.

Измерения магнитных свойств ферромагнитных материалов имеют достаточно большой бюджет неопределенности, значимыми компонентами которого являются неопределенность измерения мгновенного значения внешнего магнитного поля, а также неопределенности установления параметров стационарного режима перемагничивания: амплитуды магнитной индукции или амплитуды внешнего магнитного поля.

Стационарный режим перемагничивания или рабочая точка должен исследоваться при установленной в ГОСТ [1] синусоидальной форме магнитного потока. Это обстоятельство делает достижение рабочей точки более нелинейным процессом и снижает повторяемость результатов в серии независимых измерений вследствие возможной немонотонности движения в магнитных координатах (увеличение, а затем снижение амплитуды намагничивающего сигнала) [2-3]. Дополнительно стоит отметить проблему выхода на точку как таковую [4-6]. На участке насыщения кривой намагничивания наблюдаются значительные отклонения амплитуды магнитного поля при отклонениях амплитуды магнитной индукции в несколько раз ниже, чем достижимая по индукции точность измерений (рисунок 1). Это увеличивает разброс значений при измерении удельных магнитных потерь.

Таким образом, возможности алгоритмов управления экспериментом (имеющие системные неустраняемые ограничения) вносят свой вклад в бюджет неопределенности, тогда как наилучшей для практики является ситуация, при которой бюджет неопределенности состоит только из точностных характеристик измерительных приборов. Этот сценарий можно реализовать при наличии модели поведения ферромагнитного тела. Таких моделей существует достаточно много, и они широко используются при проектировании устройств с магнитной цепью, однако допущения, применяемые в них, не позволяют строить на их основе “каркас” задачи прецизионного измерения.

В 1956 году А.Н. Колмогоров доказал [7] принципиальную решаемость задачи представления функции достаточно произвольного вида на нейронной сети (его работы в этой области

были затем обобщены Хехт-Нильсеном в конце 1980-х).

Семейство вложенных друг в друга стационарных петель магнитного гистерезиса при заданной частоте перемагничивания (каждая внешняя петля соответствует большей индукции) можно интерпретировать как линии уровня некоторой поверхности. В роли третьей координаты могут выступать как удельные магнитные потери (рисунок 2), так и амплитуды индукции либо поля. Такая поверхность, при наличии описывающего ее аналитического выражения позволяет исключить из бюджета неопределенности ошибку выхода на точку, оставив в нем только ошибку измерения магнитной величины (зависящую только от характеристик оборудования).

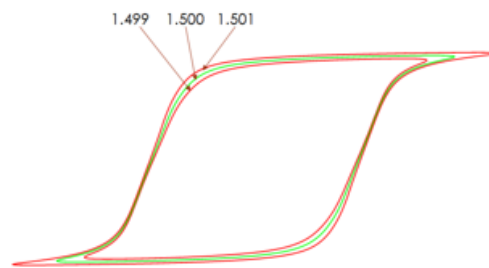


Рисунок 1 – Петли магнитного гистерезиса на участке насыщения; цифрами указаны значения амплитуды магнитной индукции (к задаче выхода на точку)

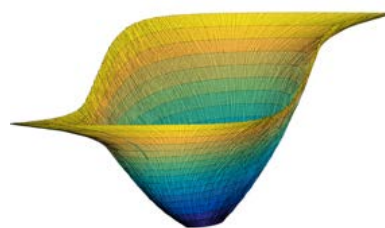


Рисунок 2 – Поверхность удельных магнитных потерь электротехнической стали на частоте 50 Гц; стационарные циклы перемагничивания выступают как линии уровня

На практике, подобная поверхность в аналитическом доступном неявном виде может быть получена для конкретного образца посредством снятия семейства стационарных петель магнитного гистерезиса с некоторым небольшим шагом. После этого данные петель (эпюры сигналов) в высоком разрешении подвергаются многомерной интерполяции посредством обучения нейронной сети с подходящей архитектурой (например, FFN или NARX). После того как сеть обучена, любую линию уровня можно получить с точностью, ограниченной только точностью входных данных.

Вариации температуры или частоты могут быть формализованы как поверхность более высокой размерности (рисунок 3).

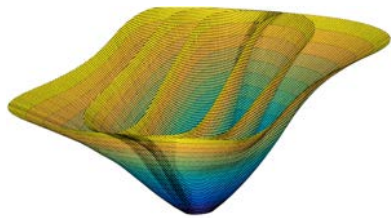


Рисунок 3 – Поверхности удельных магнитных потерь при стационарном перемагничивании электротехнической стали на различных частотах (внешней поверхности соответствует более высокая частота)

Полученная таким образом совокупность экспериментальных данных в неявном виде содержит полную информацию о поведении исследуемой магнитной цепи. Это позволяет решить задачу получения магнитных характеристик в режиме синусоидального потока двумя способами: получить на основе сети сигнал для буфера генератора системы намагничивания (он будет содержать рассчитанные необходимые предсказания); либо с помощью обучения сети в нужном направлении рассчитать стационарный синусоидальный цикл перемагничивания на основе некоторого множества несинусоидальных циклов.

В настоящее время такие работы ведутся в Институте прикладной физики НАН Беларуси.

- ГОСТ 12119.4-98 Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических

свойств. Метод измерения удельных магнитных потерь и действующего значения напряженности магнитного поля. Мн., 1999 г.

- Зирка, С.Е., Мороз Ю.И. Моделирование магнитного гистерезиса на основе обобщенных правил Маделунга. Часть 1. Постановка задачи и описание вопроса // Технічна електродинаміка. – 1999. – № 2. – С. 22–27.
- Ерошенко А.С., Скурту И.Т., Брановицкий И.И. «Синусоизация магнитного потока при испытаниях электротехнической стали» // Материалы 8-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2015». г. Минск, 25–27 ноября 2015 г. – С. 231–232.
- Брановицкий И.И., Скурту И.Т., Размыслович Г.И. Ерошенко А.С. Эталонная установка и стандартные образцы для измерения магнитных свойств электротехнической стали // Материалы 8-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2015». г. Минск, 25–27 ноября 2015 г. – С.184–185.
- Брановицкий, И.И. Автоматическое задание амплитудных значений магнитной индукции при измерении характеристик электротехнических сталей / И.И.Брановицкий, М.Н. Путырский// Энергетика. – 2005. – №1. – С.9–14.
- Ерошенко А.С., Скурту И.Т., Брановицкий И.И. «Алгоритм движения в магнитных координатах при задании режима перемагничивания магнитомягких материалов» // Материалы 8-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2015». г. Минск, 25–27 ноября 2015 г. – С. 230–231.
- Колмогоров А. Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одной переменной и сложения // ДАН СССР. – 1957. – Т. 114, Вып. 5. – С. 953–9.

УДК 621.317.39:536.53

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рубаник В.В.¹, Джежора А.А.², Буркин А.Н.², Борозна В.Д.²

¹ ГНУ «ИТА» НАН Беларуси,

² Витебский государственный технологический университет
Витебск, Республика Беларусь

Структура полиуретановых подошвенных материалов характеризуется сложным иерархическим строением и представляет собой статистический ансамбль микро и макроэлементов, различных по своим физико-химическим и физико-механическим свойствам, размерам и форме расположения их элементов. Задачей является не только создание технологий получения указанных материалов с прогнозируемыми свойствами, но и разработка неразрушающих не инвазивных методов и средств диагностирования структуры материалов, контроль ее на различных стадиях создания изделий из них. Одним из наиболее часто встречаемых дефектов обуви является разрушения полимерных подошв в процессе её носки. Этот дефект связан с нарушением

технологических режимов литья, а также качеством исходного сырья. Проявляется это в виде изломов подошв, выкрошивании её фрагментов, интенсивном износе поверхности и др. Последнее приводит к возврату обуви, а следовательно, и экономическим издержкам предприятия-изготовителя. Диагностировать качество подошв визуально невозможно, а применение инструментальных методов, заложенных в существующих ТНПА, требует немалых затрат времени и расходов материалов на проведение лабораторных испытаний образцов и подошв.

Анализ различных методов и средств неразрушающего контроля показал, что для реализации экспресс-оценки качества подошв может применяться диэлькометрический метод контроля [1].