

УСТАНОВКА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИСТА АНИЗОТРОПНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

А.В. Черепанов, С.П. Слаута, К.А. Грошев
г.Липецк, Россия

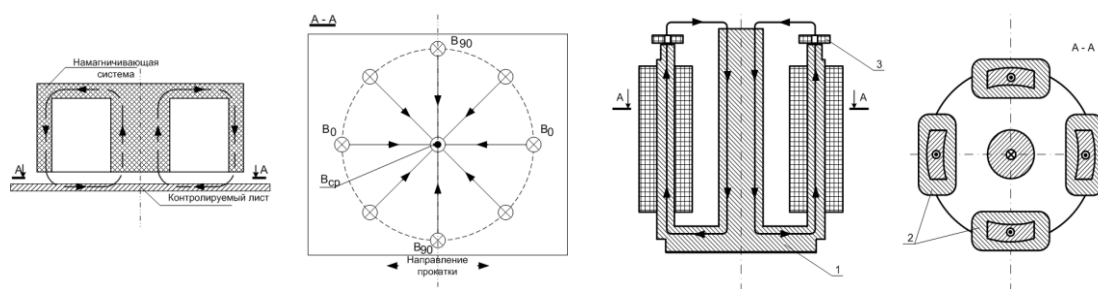
В статье рассмотрены методы калибровки индукционных датчиков анизотропных магнитных свойств. Представлена экспериментальная установка, реализующая метод калибровки посредством воспроизведения измеряемой величины. На основе установки разработан виртуальный прибор, реализующий моделирование магнитных свойств листа анизотропной электротехнической стали.

Процесс производства трансформаторной стали отличается многостадийностью и многокомпонентностью. Присутствие большого числа факторов, влияющих на качество готовой продукции может приводить к внутри- и междуплавочной неоднородности магнитных свойств, не удовлетворяющей потребителя. Одним из способов решения данной проблемы является применение наряду с выборочными прямыми испытаниями непрерывного неразрушающего контроля равномерности распределения магнитных свойств для каждой единицы продукции. Наиболее эффективно применение неразрушающего контроля в рамках систем информационного сопровождения производства металла.

Наибольшее распространение для поточного контроля получили магнитные методы неразрушающего контроля, основанные на намагничивании контролируемого участка металла однородным магнитным полем и измерении показателей магнитного поля, косвенно связанных с магнитными свойствами контролируемого подката. В зависимости от измеряемой величины, среди широко применяемых приборов, можно выделить магнитные текстурометры, основанные на оценке совершенства кристаллографической текстуры, импульсные магнитные анализаторы, в которых производится измерение градиента остаточной намагниченности, и анизотропные индукционные датчики, оценивающие величину анизотропии магнитных свойств. Для последнего типа приборов существует устойчивая статистическая связь между показаниями прибора и одним из основных аттестационных параметров трансформаторной стали – уровнем удельных потерь, измеренных при индукции 1,7 Тл. Остановимся на этом классе преобразователей магнитного поля более подробно.

Основу последнего типа приборов составляет поточный контролер ПК-3, реализующий методы оценки качества листовой стали, использующие статистическую связь свойств металла с его магнитными характеристиками [1, 2]. Принцип его работы заключается в намагничивании контролируемого участка металла радиально-симметричным круговым полем и измерении нормальных

составляющих индукции на поверхности полосы (рис.1) посредством индукционных датчиков.



а) Намагничивание металла в процессе контроля

б) Намагничивающая система

Рис. 1. Магнитная цепь индукционного датчика

Вопросы метрологического обеспечения являются неотъемлемой частью эксплуатации любого прибора. Так, простейшим способом калибровки анизотропного индукционного датчика является проверка стабильности его показаний на эталонном массиве контрольных образцов. Это косвенный метод проверки, основанный на наличии устойчивой статистической связи между величиной удельных потерь и сигналом датчика, пропорциональным разности нормальных составляющих магнитной индукции в плоскости листа. Тем не менее, несмотря на достоинства (простота изготовления образцов), метод имеет ряд существенных недостатков. Прежде всего, это подверженность контрольных образцов механическим воздействиям при транспортировке и во время измерения. Другой проблемой является непостоянство магнитных характеристик образцов во времени, а также их зависимость от условий хранения. Но наиболее серьезной проблемой является невозможность оценки сигнала датчика с учетом механических напряжений, возникающих в полосе трансформаторной стали при ее транспортировке через агрегат. Механические напряжения оказывают существенное влияние на магнитные свойства [3], вследствие чего сигнал индукционного датчика может существенно возрасти при контроле металла, находящегося в напряженном состоянии.

Одним из методов калибровки, лишенных описанных недостатков, является метод, основанный на воспроизведении измеряемой величины. Исходя из принципа работы датчика (рис.1а), для воспроизведения контролируемой величины применима намагничивающая система следующей конструкции (рис. 1б), состоящая из

массивного бронированного сердечника 1, четырех намагничивающих катушек 2 и контрольных датчиков поля 3. Такая система позволяет создавать два независимых однородных магнитных поля, силовые линии которых перпендикулярны друг к другу. Таким образом, возможно обеспечить прохождение магнитных потоков через датчик в том же виде, в котором они приходят в рабочем режиме, а регулируя интенсивность этих полей, возможно имитировать уровень анизотропии магнитных свойств листа стали, контролируемый датчиком.

На основе данного подхода был разработан прибор (рис. 2), содержащий описанный блок намачивания БН и два канала управления токами намагничивания, состоящих из задатчика тока ЗТ, датчика тока ДТ и непосредственно самого источника тока ИТ. С целью автоматизации управления намагничивающей системой и регистрации показаний, при помощи устройства связи с объектом (УСО), прибор был связан с управляющей ЭВМ (УВМ).

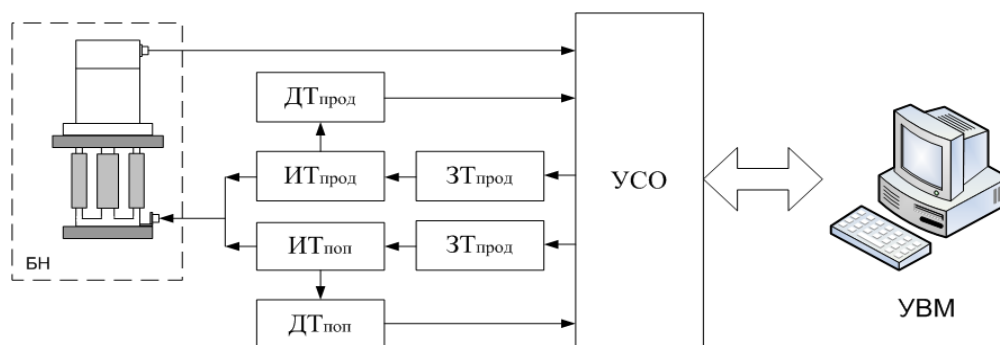


Рис. 2. Функциональная схема установки моделирования анизотропных магнитных свойств листа трансформаторной стали

В качестве УСО была выбрана плата сбора данных PCI-6220 фирмы National Instruments, одним из достоинств которой является возможность интеграции в среду разработки LabView, предоставляющую уникальные возможности для разработки виртуального прибора. На базе этой среды разработки был создан программно-аппаратный комплекс моделирования анизотропных магнитных свойств листа трансформаторной стали. В него были заложены алгоритмы расчета токов намагничивания, функции управления источниками тока продольной и поперечной осей намагничивания, а также регистрации всех контрольных сигналов.

При реализации алгоритмов были использованы кусочно-линейные аппроксимации статистических моделей отстройки от влияния мешающих факторов, таких как разнотолщинность и механические напряжения, а также зависимость уровня информационного сигнала от уровня удельных потерь [4]. Все это позволяет задаваться магнитными свойствами имитируемого листа: уровнем удельных потерь,

толщиной, разнотолщинностью и уровнем механических напряжений, приложенных к листу. По заданным параметрам рассчитывается ожидаемый уровень информационного сигнала датчика, который передается блоку управления намагничиванием. Производится расчет необходимых токов намагничивания и устанавливается задание на ток. Затем производится измерение выходного сигнала датчика и оценивается погрешность между заданным и измеренным значениями.

Для оценки качества настройки источников тока, а также параметров схемы испытуемого датчика в приборе предусмотрена возможность снятия осциллограмм со всех входных сигналов. С целью проверки стабильности показаний намагничивающей системы, в блок намагничивания введены контрольные датчики поля, конструктивно аналогичные измерительным катушкам испытуемого датчика. Уровень сигнала контрольных датчиков поля, совместно с расчетным уровнем выходного сигнала, позволяет оценить качество настройки схемы испытуемого преобразователя магнитных свойств.

Результаты измерения, а также параметры эксперимента выводятся как в элементы управления на панели виртуального прибора, так и в автоматически генерируемый файл отчета (рис. 3).

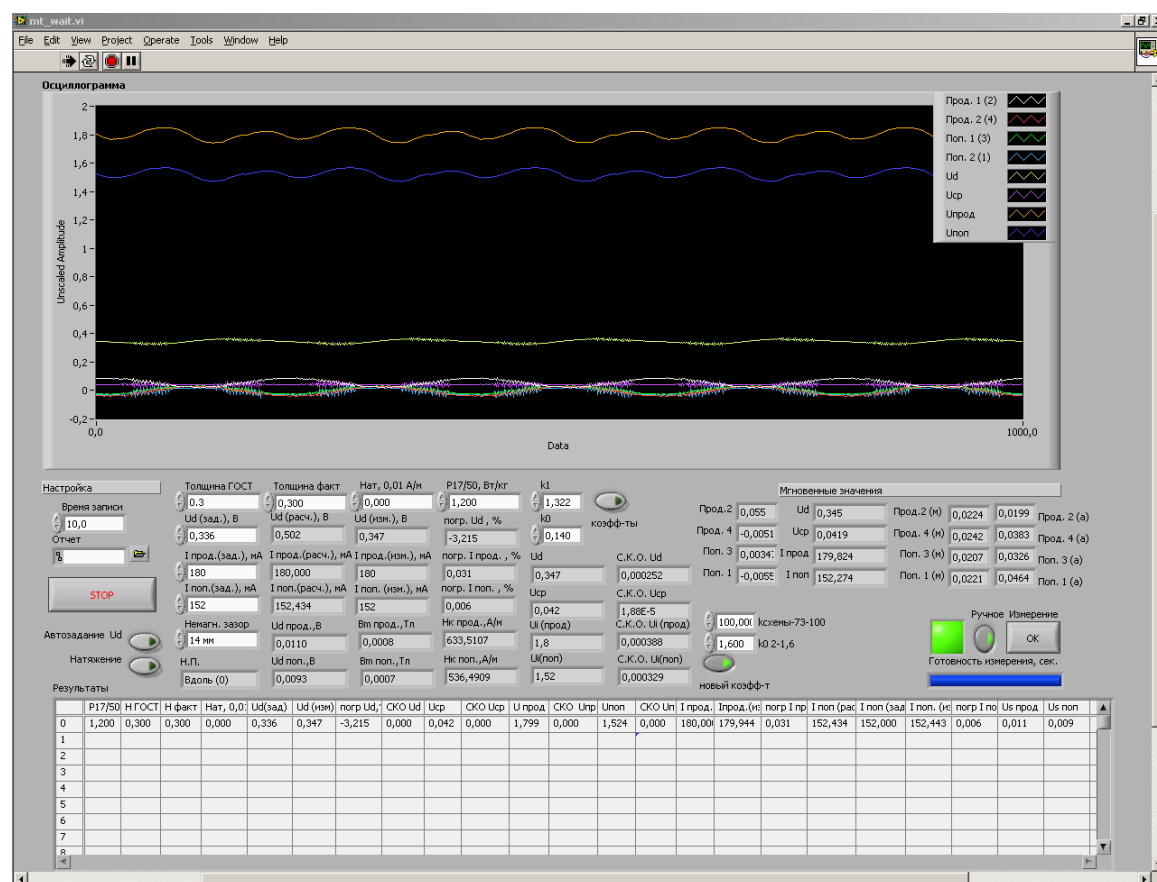
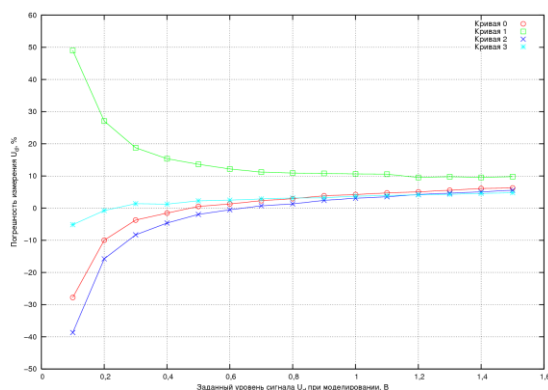
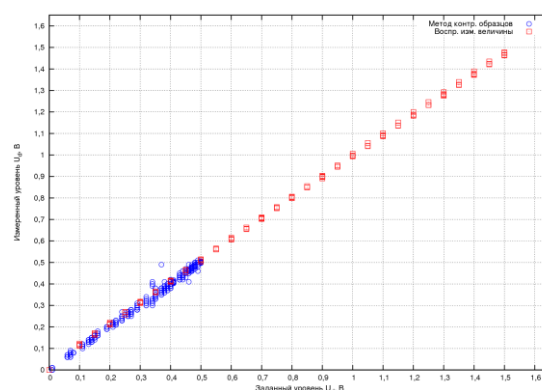


Рис. 3. Виртуальный прибор моделирования анизотропных магнитных свойств листа трансформаторной стали

Процесс калибровки датчика с использованием установки моделирования анизотропных магнитных свойств листа трансформаторной стали в общем случае сводится к снижению погрешности показаний датчика при установленном моделируемом значении. Как показали исследования (рис. 4а), погрешность измеренного значения по отношению к заданному при моделировании носит асимптотический характер. Причем форма кривой напрямую зависит от параметров настройки датчика.



а) К настройке датчика



б) К диапазону калибровки

Рис. 4. Параметры калибровки индукционного датчика

Так, кривые 1 и 2 отражают разбаланс измерительных каналов датчика в сторону одной из пар измерительных катушек. При правильной балансировке кривая погрешности практически вырождается (кривая 3), и на уровень погрешности начинает влиять коэффициент усиления датчика, завышая или занижая горизонтальную асимптоту. Сравнивая исходное (кривая 0) и настроенные значения (кривая 3) погрешностей можно сделать вывод, что высокую погрешность датчика в зоне малых значений U_d удалось снизить путем регулировки и зафиксировать ее на большей части рабочего диапазона на приемлемом уровне (3 – 4%).

Наиболее важной особенностью полученного средства калибровки является широкий диапазон в котором проверяется работа датчика. Как показали исследования (рис. 4б), верхняя граница диапазона в данном случае существенно выше, чем при использовании контрольных образцов, и ограничивается не влиянием мешающих факторов на процесс измерения, а лишь аппаратными возможностями источников тока установки.

По сравнению с описанным ранее методом контрольных образцов, реализованный метод воспроизведения измеряемой величины позволяет производить настройку в области рабочих значений информационного сигнала датчика. С учетом использования в расчетах моделей влияния мешающих факторов, это позволяет моделировать условия работы датчика, максимально приближенные к рабочим и осуществлять процедуру калибровки именно в рабочем диапазоне значений, что позволяет повысить точность оценки магнитных свойств листа трансформаторной стали при использовании анизотропного индукционного датчика.

Масштабируемость технологии виртуальных приборов позволяет получить гибкое средство измерения, воплощающее в себе высокую точность измерительных каналов, мощь вычислительной части и при этом универсальность и переносимость. Перенос большинства функций в программную часть прибора позволяет сосредоточиться не на аппаратной реализации алгоритма управления, а непосредственно на самом алгоритме, предоставив легкий, но в то же время четко структурированный язык для его воплощения.

Литература

1. Железнов Ю.Д., Журавский А.Г., Черепанов А.В. и др. Способ контроля штампуемости листовых ферромагнитных материалов. Авт. свид. №1211646. – Бюл. изобр., 1986, №6, с. 5.
2. Железнов Ю.Д., Журавский А.Г., Слаута С.П. и др. Способ неразрушающего контроля магнитных характеристик ферромагнитных материалов. Авт. свид. №1456860. – Бюл. изобр., 1989, №5, с.3.
3. Корзунин Г.С.. О контроле магнитных свойств рулонной холоднокатаной электротехнической стали в процессе ее производства [Текст]/Г.С. Корзунин// Дефектоскопия. - 1999. - №8 – С.32-36.
4. Слаута С.П. Автоматизированная система контроля качества анизотропной электротехнической стали на агрегатах электроизоляционного покрытия [Текст]/ С.П. Слаута, А.В. Черепанов, Ф.А. Зубрилин// Тезисы докладов X международного совещания по физике и металлоскопению электротехнических сталей и сплавов. – Липецк, 1995.