

УСТРОЙСТВО МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Широков К.М.¹, Шайхутдинов Д. В.¹, Дубров В.И.¹, Январёв С.Г.¹, Ахмедов Ш.В.¹, Шайхутдинова М.В.¹

¹ООО «Малое инновационное предприятие «Информационные и измерительные системы», Новочеркасск, Россия (346400, Новочеркасск, ул. Хмельницкого Б., 153/37), e-mail: rd@mipiis.ru

В статье рассмотрены этапы технологического процесса производства электротехнических изделий. Показано, что контроль магнитных параметров позволяет обнаружить дефекты на этапах сборки, тем самым сократить затраты и увеличить выход годных изделий. Устройство контроля магнитных свойств является основной частью предложенной системы управления технологическим процессом производства электротехнических изделий. Применение разработанного устройства позволяет значительно увеличить скорость выполнения операций контроля при сохранении высокой достоверности, и достичь условий, при которых возможен сплошной контроль изделий. Отличительной особенностью предложенного устройства является использование оригинального линейно-ступенчатого метода определения магнитной характеристики, обладающего высокой точностью за счет компенсации температурной погрешности; возможность осуществлять контроль магнитных параметров по рабочей обмотке контролируемого образца, что исключает требование по нанесению измерительной обмотки и снижает время контрольных операций; критерием годности испытуемого образца является не превышение допуска максимальной погрешности измеренной магнитной характеристики.

Ключевые слова: система управления, магнитные параметры, электротехническая изделия, магнитопровод, устройство контроля, бессенсорный контроль, температурная погрешность

DEVICE FOR MAGNETIC CONTROL FOR REGULATION SUBSYSTEM OF MANUFACTURE OF ELECTRICAL PRODUCTS

Shirokov K.M.¹, Shaykhutdinov D.V.¹, Dubrov V.I.¹, Yanvarev S.G.¹, Akhmedov S.V.¹, Shaykhutdinova M.V.¹

Ltd. "Small innovative enterprise "Information and Measurement Systems", Novocherkassk, Russia (436400, Novocherkassk, street B. Khmel'nitskogo, 153/37), e-mail: rd@mipiis.ru

The theme of article is the stages of the technological process of production of electrical products. It is shown that the control of magnetic parameters can detect defects during the assembly, thereby reducing costs and increase the yield ratio. The device for control the magnetic properties is a major part of the proposed system of process control manufacturing electrical products. Application of the developed device can significantly increase the speed of operation of control and maintaining the reliability of the high and achieve conditions under which the possible total control products. A distinctive feature of the proposed device is the use of the original line-step method for determining the magnetic characteristics with high accuracy due to compensation of the temperature error, the ability to control the parameters of the magnetic coil controlled by the working sample, which eliminates the requirement for applying the measuring coil and reduces control operations. The criterion validity of the test sample is the Xia - exceedance of the maximum error tolerance of the measured magnetic characteristics.

Keywords: regulation system, magnetic parameters, electrical products, magnetic core, the device for control, sensorless control, the temperature error

Введение

Сложность конструкций электротехнических изделий (ЭТИ), тенденции миниатюризации и снижения материалоемкости предъявляют все более высокие требования к качеству комплектующих деталей и ЭТИ в целом. Контроль магнитных свойств ЭТИ позволяет обнаружить дефекты на этапах сборки, тем самым сократить затраты и увеличить выход годных изделий. Задача усложняется тем, что наиболее информативные характеристики ЭТИ, к которым относятся вебер-амперные характеристики изделий, необходимые для систем управ-

ления производством, как правило, невозможно получить с помощью известных сенсоров магнитных величин [1, 4]. Поэтому актуальной задачей является разработка быстродействующих прецизионных бессенсорных устройств контроля магнитных характеристик, которые могут быть интегрированы в систему управления производством ЭТИ [5].

Цель работы: разработка подсистемы управления технологическим процессом производства, реализующей метод активного контроля по магнитным параметрам, полученным с помощью предложенных устройств магнитного контроля.

Материал и методы исследований: методы теории автоматического управления, элементы теории планирования эксперимента, теории измерений, исследование и создание приборов с помощью разрабатываемого оборудования и языка графического программирования *LabVIEW*.

Результаты и обсуждение

Активный технологический контроль магнитных свойств комплектующих деталей позволяет обнаружить дефекты на этапах сборки, тем самым сократить затраты и увеличить выход годных изделий [6]. При испытаниях сложных электротехнических изделий, к которым следует отнести электромагниты, статоры электрических машин, трансформаторы, целесообразно использовать бессенсорные устройства контроля магнитных свойств. В системе бессенсорного контроля основной принцип заключается в использовании «внутренних сенсорных» свойств испытуемого образца, которые не требуют подключения дополнительных датчиков или сенсоров. Сигнал снимается с обмотки являющейся составной частью испытуемого образца. Определяется магнитная характеристика ЭТИ – вебер-амперная характеристика, анализируя характерные точки и сегменты которой судят о состоянии образца [3].

Существующие в настоящее время приборы не обеспечивают требуемой точности и производительности при определении наиболее информативных магнитных характеристик комплектующих деталей и готовых изделий [1, 5], что сдерживает широкое внедрение систем управления качеством. В этой связи становится актуальным решение задачи разработки быстродействующих приборов контроля квазистатических магнитных характеристик комплектующих деталей и готовых изделий электротехнической промышленности, позволяющих реализовать эффективные подсистемы управления качеством этих изделий. Использование устройств, предназначенных для контроля магнитных параметров, как готовых электротехнических изделий, так и отдельных комплектующих деталей, в производственном процессе принесет несомненную пользу: уменьшит энергопотребление, вес и габариты электротехнических изделий при увеличении выхода годных изделий.

На рис. 1 приведена структурная схема подсистемы управления процессом производства ЭТИ на базе бессенсорного контроля.

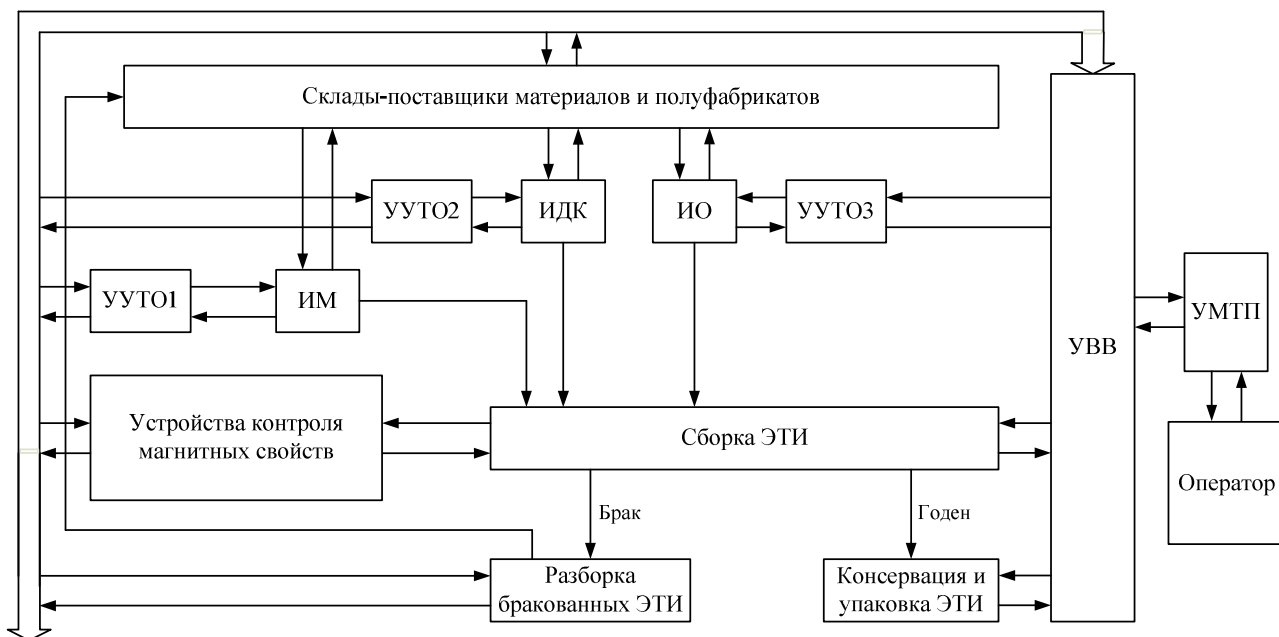


Рис. 1. Структурная схема подсистемы управления процессом производства ЭТИ

Данная система является составной частью АСУ ТП изготовления ЭТИ и осуществляет обеспечение качества на операциях изготовления магнитопроводов (ИМ), изготовления дополнительных комплектующих (ИДК) (изготовление корпусов, крепежей, пружин, уплотнительных элементов), изготовления обмоток (ИО). В комплекс технических средств подсистемы входят устройства контроля магнитных свойств (УКМС), устройства управления технологической операцией (УУТО) (параметрами механической обработки, скорости нагрева и охлаждения, температуры нагрева при термической обработке, параметров оборудования и др.), устройства ввода-вывода (УВВ) информации, устройства моделирования технологического процесса (УМТП).

Подсистема управления технологическим процессом производства функционирует следующим образом. На этапах ИМ, ИДК изготавливаются необходимые комплектующие. На этапах сборки осуществляется сначала контроль по магнитным свойствам магнитопровода с помощью УКМС, оснащенного специальным адаптером, представляющим собой образцовую обмотку с каркасом. Контролируемые магнитопроводы поочередно помещаются в адаптер, подключенный к УКМС, с помощью которого осуществляется их контроль. УКМС сортирует магнитопроводы на n групп (если магнитопроводы состоят из отдельных деталей, то контролируются все детали отдельно, или контролю подвергается только самый важный элемент магнитопровода). На основании измеренных параметров УМТП принимает решение направить n_1 групп на термическую обработку по восстановлению магнитных свойств, n_2 групп на дальнейшую сборку, а одна группа составляет брак, не подлежащий восстановлению. После операции восстановления магнитных свойств магнитопроводы проходят повторный контроль УКМС. УМТП формирует необходимые параметры для технологической опе-

рации ИО (число витков, коэффициент заполнения и т.д.) индивидуально для каждой группы n_2 годных магнитопроводов. После операции ИО n_2 групп магнитопроводов помещаются в соответствующие n_2 групп обмоток, и проводится контроль полученной электромагнитной системы (ЭМС). По результатам контроля ЭМС принимается решение об их браке/годности. В бракованных ЭМС производится замена обмоток и снова осуществляется контроль по магнитным свойствам. По результатам контроля УМТП вносит коррективы в технологическую операцию ИО. Далее осуществляется сборка ЭТИ с последующим выходным контролем УКМС.

Разработан экспериментальный образец устройства контроля магнитных свойств с компенсацией температурной погрешности.

Структурная схема устройства контроля магнитных свойств представлена на рис. 2.

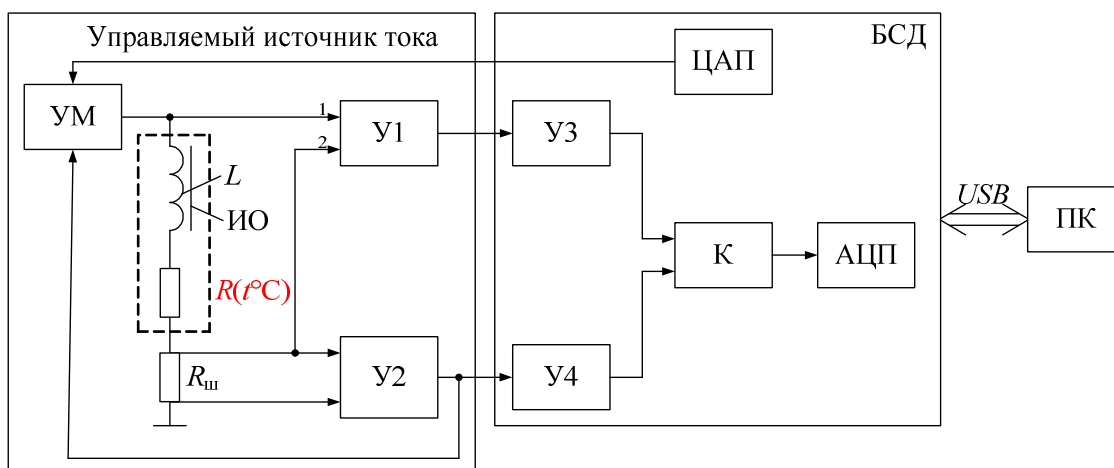


Рис. 2. Структурная схема устройства контроля магнитных свойств

В структурную схему входят: управляемый источник тока УИТ, предназначенный для создания специальной формы перемагничивающего тока в обмотке с индуктивностью L и активной составляющей сопротивления $R(t^{\circ}C)$, нанесенной на испытуемый образец ИО, которую подключают к УИТ. УИТ состоит из усилителя мощности УМ; измерительного шунта $R_{ш}$; двух измерительных усилителей У1-У2, которые измеряют напряжения, пропорциональные напряжению и току соответственно в обмотке образца; блок сбора данных БСД, предназначенный для аналого-цифрового преобразования напряжений У1-У2 и генерации управляющего напряжения для УИТ, что задает форму перемагничивающего тока, причем БСД состоит из цифроаналогового преобразователя ЦАП; аналого-цифрового преобразователя АЦП; коммутатора К; двух предварительных усилителей У3-У4; персональный компьютер ПК.

Внешний вид устройства для контроля магнитных свойств ЭТИ приведен на рис. 3. В корпусе основного блока размещены плата сбора данных и управления АЦП, ЦАП NI USB

6211, обладающая достаточной производительностью, необходимым набором периферийных функций и УИТ. Разработанный УИТ для намагничивающей цепи обеспечивает не только режим квазистационарного магнитного поля, но и испытание в переменных магнитных полях частотой до 400 Гц, со следующими техническими характеристиками: напряжение питания 220 В, 50 Гц; ток в нагрузке до ± 5 А; форма тока в нагрузке соответствует управляющему напряжению; входное напряжение до ± 5 В.

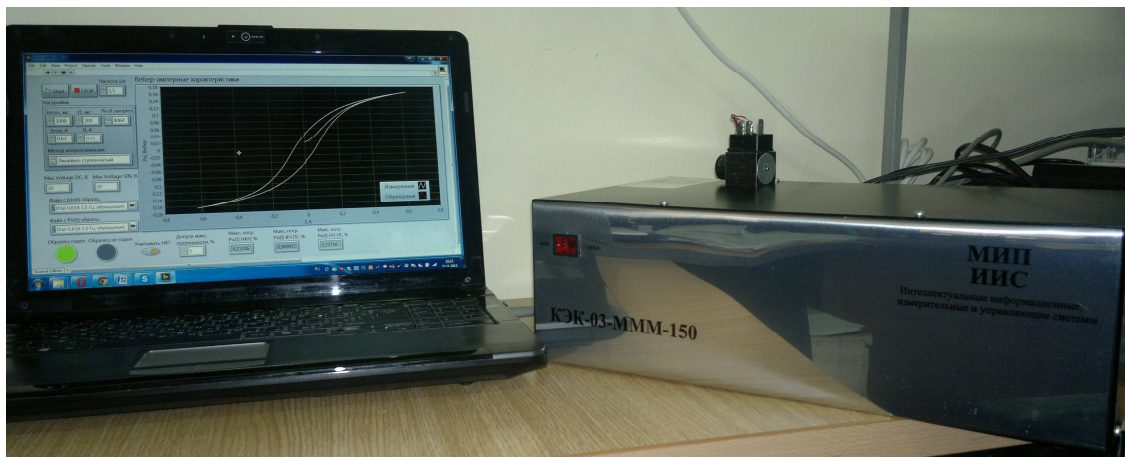


Рис. 3. Внешний вид устройства для контроля магнитных свойств ЭТИ

На рис. 4 приведена временная диаграмма намагничивающего тока. Намагничивающий ток состоит из 3 основных частей: первая полочка постоянного тока, предназначенная для определения значения активной составляющей сопротивления обмотки $R(t^{\circ}\text{C})$ испытуемого образца непосредственно до измерения магнитной характеристики – интервал времени t_I ; синусоидальный намагничивающий ток, предназначенный для измерения магнитной характеристики – интервал времени $t_{m.m.}$; вторая полочка постоянного тока, предназначенная для определения $R(t^{\circ}\text{C})$ непосредственно после измерения магнитной характеристики – интервал времени t_{II} . Определение $R(t^{\circ}\text{C})$ непосредственно до и после определения магнитной характеристики с последующей линейно-ступенчатой аппроксимацией ее значений между измерениями позволяет применять разработанный метод бессенсорного определения магнитной характеристики ЭТИ, обладающий высокой точностью за счет компенсации температурной погрешности [2]. В моменты времени t_I , t_{II} с помощью цифрового кода ЦАП задается постоянное значение тока на выходе УИТ, которое из-за переходных процессов в обмотке ЭТИ устанавливается не сразу. Также имеются нежелательные временные задержки, например, временная задержка $t_{зI}$ обусловлена временем затухания намагничивающего тока после t_I и временем необходимым для запуска $t_{m.m.}$.

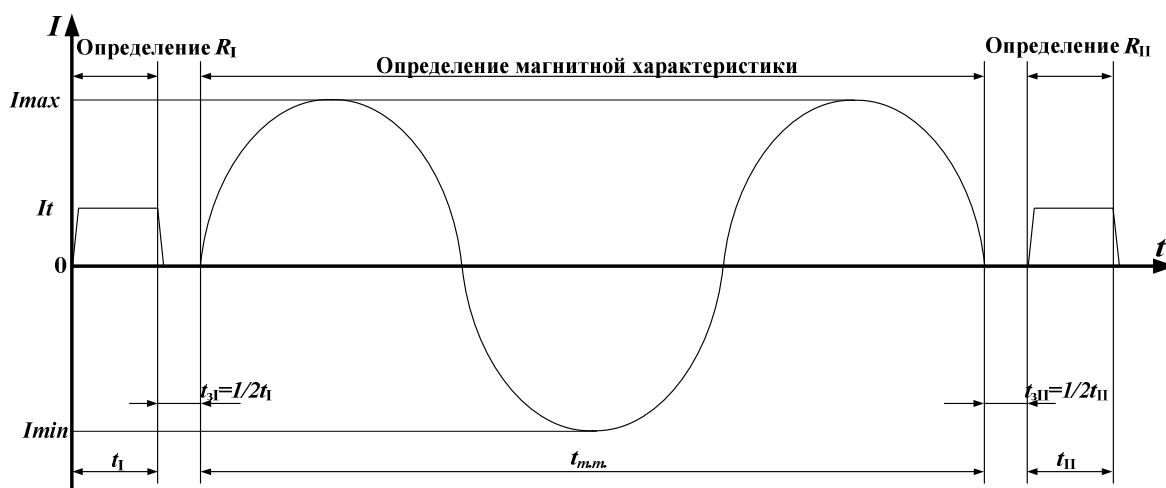


Рис. 4. Временная диаграмма намагничивающего тока

Для обработки полученной информации и принятии решения о соответствии свойств образца предъявляемым требованиям разработана и реализована программа на языке графического программирования в среде *LabVIEW 2012*. Алгоритм, заложенный в основу программы осуществляет перемагничивание в соответствии с формой тока приведенной на рис. 3. Определяется вебер-амперная испытуемого образца с помощью предложенного линейно-ступенчатого метода бессенсорного определения магнитной характеристики. Снятая магнитная характеристика – вебер-амперная испытуемого образца сравнивается с образцовой.

В качестве оценки различия образцовой и измеренной магнитных характеристик, принимается нормированное расстояние δ_k от некоторой точки на измеренной кривой до касательной к образцовой кривой, проведенной в окрестности этой точки. Такая оценка различия образцовой и измеренной магнитных характеристик имеет определенные достоинства, так как инвариантна к выбору аргумента и слабо зависит от характера кривой [1, 7].

Интерфейс программы представлен на рис. 5. Исходными данными, вводимыми оператором являются (рис. 3, 5): частота перемагничивания синусоидальным током «Частота sin»; время перемагничивания синусоидальным током « $t_{m.m.}$, мс»; продолжительность полочек постоянного тока « t_1 , мс»; общее количество измеряемых точек «N of samples»; амплитуда синусоидального тока « I_{max} , А»; амплитуда полочек постоянного тока « I_t , А»; метод аппроксимации активной составляющей сопротивления обмотки «Метод аппроксимации»; метод замыкания магнитной характеристики «Метод замыкания»; максимальная амплитуда напряжения на нагрузке на полочках постоянного тока и при синусоидальной форме перемагничивающего тока «Max Voltage DC, В» и «Max Voltage SIN, В» соответственно; путь к файлам с образцовыми значениями тока и потокосцепления для испытуемых образцов «Файл с $I_{sin}(t)$ образц.» и «Файл с $\Psi(t)$ образц.»; допуск максимальной погрешности вебер-

амперной характеристики «Допуск макс. погрешности, %». Оператор также выбирает учитывать ли при сравнении измеренной с образцовой магнитных характеристик начальную кривую намагничивания (НКН) «Учитывать НК?»

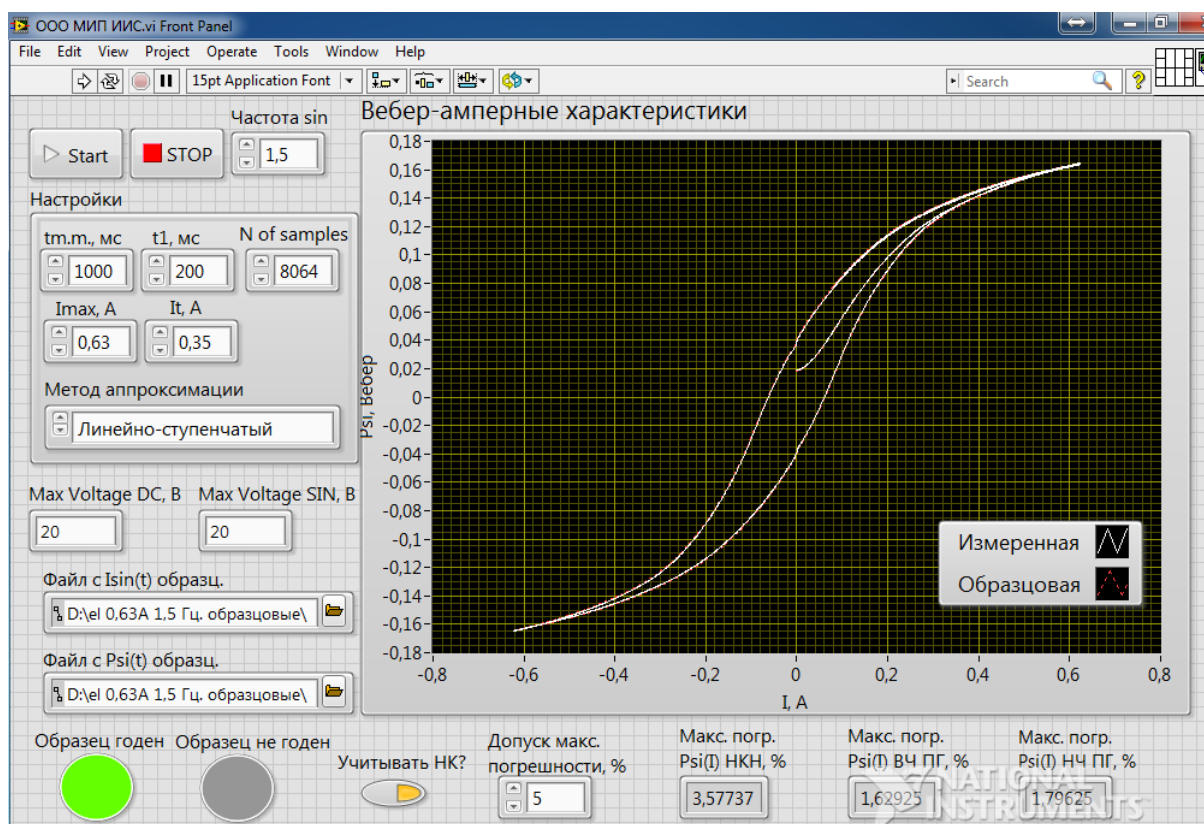


Рис. 5. Интерфейс программы управления испытаниями ЭТИ для персонального компьютера

На основании введенных данных, программа производит инициализацию параметров работы модуля АЦП/ЦАП. Основная часть программы выполняется циклически, пока не будут исследованы все образцы. Результатами работы программы являются измеренная вебер-амперная характеристика; максимальные погрешности на участках магнитной характеристики: начальной кривой намагничивания «Макс. погр. $\Psi(I)$ НКН, %»; верхней части петли гистерезиса (ПГ) «Макс. погр. $\Psi(I)$ ВЧ ПГ, %»; нижней части петли гистерезиса «Макс. погр. $\Psi(I)$ НЧ ПГ, %».

Производятся проверка, превышают ли максимальные погрешности $\Psi(I)$ допуск максимальной погрешности вебер-амперной характеристики (если оператор выбрал не учитывать начальную кривую намагничивания «учитывать НК?», рис. 5, то максимальная погрешность НКН не учитывается), на основании чего принимается решение о годности («Образец годен», рис. 5) или негодности («Образец не годен», рис. 5) испытуемого образца. Протокол контроля сохраняется в файл. Технические характеристики устройства: производительность без учета подготовительных операций: до 360 шт/ч; погрешность измерения НКН и ПГ не

более $\pm 5\%$.

Список литературы

1. Антонов, В. Г. Средства измерений магнитных параметров / В.Г. Антонов, Л.М. Петров, А.П. Щелкин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
2. Ланкин, М.В. Компенсация температурной погрешности при бессенсорном измерении магнитных характеристик ферромагнитных материалов / М.В. Ланкин, К.М. Широков // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Информационно-измерительная техника и технологии. – С. 47-52.
3. Сахавова, А.А. Применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик в автоматизированной системе бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов / А.А. Сахавова, К.М. Широков, С.Г. Январев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: www.science-education.ru/111-10234 (дата обращения: 04.10.2013).
4. Шайхутдинов, Д.В. Измерение магнитных характеристик элементов мехатронных систем в режиме последовательного резонанса / Д.В. Шайхутдинов, М.В. Ланкин, В.В. Боровой // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития.– С.177-179.
5. Шайхутдинов, Д.В. Методы и приборы экспресс-контроля магнитных параметров для промышленных систем управления / Д.В. Шайхутдинов, В.В. Гречихин, В.В. Боровой // Современные проблемы науки и образования - 2012. - № 6. - URL: <http://education.ru/106-7516> (дата обращения: 04.10.2013).
6. Шайхутдинов, Д.В. Устройство для экспресс-испытаний изделий из листовой стали / Д.В. Шайхутдинов // Контроль. Диагностика.– 2011. – №6(156). – С.55-61.
7. Широков, К.М. Алгоритм определения магнитных характеристик электро-технических изделий / К.М. Широков // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2013. – №1. – С. 70-73.

Рецензенты:

Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г.Новочеркасск.

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