

УДК 05.13.06

В.В. СЕБКО

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков, Украина

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОВМЕСТНОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрены информационные технологии применяемые при анализе структурных процессов многопараметрового вихретокового контроля параметров цилиндрических изделий. Создан безконтактный четырёхпараметровый вихретоковый метод современного измерительного контроля относительной магнитной проницаемости μ , удельной электрической проводимости σ , радиуса a и температуры t ферромагнитных цилиндрических изделий. На основании схемы включения теплового ТВД предусматривающей нагрев цилиндрического образца в процессе контроля, предложен вариант автоматизации измерительного контроля магнитных, электрических, геометрических и температурных параметров цилиндрических изделий. На основании предложенных схем включения, разработан алгоритм совместного вихретокового четырёхпараметрового контроля параметров цилиндрических изделий.

Ключевые слова: *информационные технологии, вихретоковый контроль, автоматизированная система, трансформаторный вихретоковый датчик (ТВД), измерительный контроль, ферромагнитные цилиндрические изделия, совместный контроль, универсальные функции преобразования.*

Введение

В настоящее время особенно большое внимание уделяется вопросам автоматизации процессов измерительного контроля параметров изделий, поскольку, уровень автоматизации в значительной мере определяет экономические затраты и качество управления различными технологическими процессами. При создании современных измерительных систем необходимо ориентироваться на использование специализированных приборов, что в свою очередь, вносит определенные дополнительные трудности при проектировании автоматизированных устройств контроля многих параметров изделий [1 – 3].

Широкое развитие на сегодняшний день, получили многопараметровые вихретоковые методы контроля параметров цилиндрических изделий, а также первичные трансформаторные вихретоковые датчики (ТВД), на базе которых реализуются эти методы [4-13]. Достоинством вихретоковых методов и устройств является то, что они дают возможность определять магнитные, электрические, геометрические и другие физико-химические параметры такие, например, как температура, что в свою очередь, позволяет наиболее полно судить о свойствах контролируемого объекта.

Результаты научных трудов [4 – 13], позволяют проектировать, конструировать и создавать автоматизированные вихретоковые установки на базе первичных вихретоковых преобразователей. При этом недостатком работ [6-10], является то, что описанные в них методы и устройства, дают низкую точ-

ность измерений параметров цилиндрических изделий, так как не учитывают температуру, при которой осуществлялся контроль электромагнитных параметров. В работе [11] рассмотрен дифференциальный двухпараметровый вихретоковый метод определения удельного электрического сопротивления ρ и температуры t цилиндрических изделий. Достоинством этой работы является то, что при реализации дифференциального вихретокового метода определения электрических и температурных параметров было использовано уточнение результатов расчета, связанное с тем, что методическая погрешность имеет величину и знак известными, что позволяло снизить погрешность измерений двух параметров изделий.

Таким образом, в работе [11] описан двухпараметровый дифференциальный вихретоковый метод определения удельного электрического сопротивления ρ и температуры t немагнитных цилиндрических изделий, который реализуется с помощью ТВД.

При этом недостатком работы является то, что ферромагнитные изделия остались без внимания, также к недостаткам работы [11] можно отнести и то, что привязка к конкретным стандартным приборам, применяемым в схеме включения ТВД, снижает точность измерений, так как использование других приборов и устройств с другими классами точности, может привести к совершенно другим погрешностям измерений электрических и температурных параметров. Несомненный интерес пред-

ставляют работы [12, 13], в которых описаны четырёхпараметровые экстремальные вихретоковые методы контроля параметров μ_r , ρ , a и t ферромагнитных изделий. Недостатком этих методов является сложность достижения экстремума мнимой части вносимой ЭДС $E_{\text{внт}}$ ТВД и фазового угла суммарной ЭДС ТВД E_{Σ} , что в свою очередь, снижает точность измерений параметров изделий, а также затрудняет автоматизацию процесса измерительного контроля четырёх параметров ферромагнитных цилиндрических изделий. Следует отметить, что на сегодняшний день, так и не разработан четырёхпараметровый вихретоковый метод определения параметров ферромагнитных цилиндрических изделий, основанный на простых алгоритмах измерительных и расчётных процедур, а также не предложен вариант автоматизации процесса измерительного контроля четырёх параметров цилиндрических изделий широкого ассортимента. В то время как потребности научно-исследовательских лабораторий и промышленных предприятий требуют решения этих важных вопросов. Таким образом, разработка новых информационных технологий, применяемых при совместном автоматизированном вихретоковом контроле параметров цилиндрических изделий, является важной научно-практической проблемой. Следует отметить, что автоматизация процесса измерений, позволяет производить многократные электромагнитные измерения за относительно короткий промежуток времени и благодаря усреднению уменьшать случайные погрешности измерений, а следовательно тем самым, дает возможность повышать точность измерений параметров цилиндрических изделий. В свою очередь, автоматизация технологических процессов или научного эксперимента не эффективна без точного определения действительных значений относительной магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ , радиуса a и температуры t ферромагнитных цилиндрических изделий.

Целью работы является разработка варианта автоматизации процесса совместного вихретокового контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия на базе теплового ТВД, при реализации бесконтактного четырёхпараметрового вихретокового метода.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создать бесконтактный четырёхпараметровый вихретоковый метод совместного контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ , радиуса a и температуры t ферромагнитного цилиндрического изделия.

2. Разработать алгоритм измерительного контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия.

дрического изделия.

3. Привести схему теплового ТВД с контролируемым цилиндрическим изделием, на основании которой будет разработан вариант автоматизации измерительного контроля четырёх параметров цилиндрических изделий.

Автоматизация процесса вихретокового контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия при реализации бесконтактного многопараметрового вихретокового метода с помощью теплового ТВД

В работах [4 – 10] получены универсальные функции преобразования $k = f(x)$ и $\varphi = f(x)$, связывающие амплитуду и фазу параметра k (удельного нормированного магнитного потока в изделии) с обобщенным магнитным параметром x [4 – 10]. На рис. 1 и 2 приведены фрагменты зависимостей $k_t = f(x_t)$ и $\varphi_t = f(x_t)$, с учётом влияния температуры контролируемого изделия. Анализ этих зависимостей говорит о том, что с ростом температуры x_t уменьшается, а, следовательно параметр k_t возрастает, в свою очередь, при возрастании температуры уменьшается параметр φ_t .

Воспользовавшись результатами работ [4 – 13], перейдём непосредственно к бесконтактному четырёхпараметровому вихретоковому методу совместного контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ , радиуса a и температуры t цилиндрического ферромагнитного изделия. На рис. 3 представлена схема теплового ТВД для контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического образца. Схема включает в себя: тепловой ТВД, который имеет две обмотки намагничивающую и измерительную, Г – генератор, Ч – частотомер, ОС – осциллограф, образцовое сопротивление – $R_{об}$, В, V_1 и V_2 – вольтметры, С – самописец, Ф – фазометр. Тепловой ТВД включает в себя: РД – рабочий датчик и ОД – опорный датчик [4 – 13]. В РД расположено греющее устройство – ГУ, внутри которого находится контролируемый ферромагнитный образец – ФО, в качестве контрольного метода для измерения температуры используются никелевые терморезисторы – НТ [4 – 13].

Параметры теплового ТВД и ферромагнитного цилиндрического образца: длина намагничивающей обмотки $l_n = 0,6$ м, число витков намагничивающей обмотки теплового ТВД $W_n = 290$, число витков измерительной обмотки теплового ТВД $W_{и} = 1048$, радиус теплового ТВД $a_d = 9 \cdot 10^{-3}$ м, намагничивающий ток $I_n = 0,11$ А, напряжённость магнитного поля $H = 58$ А/м; длина ферромагнитного образца

$l = 0,6$ м, материал ферромагнитного образца сталь А-20, плотность материала образца $\gamma_n = 7900$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda = 16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

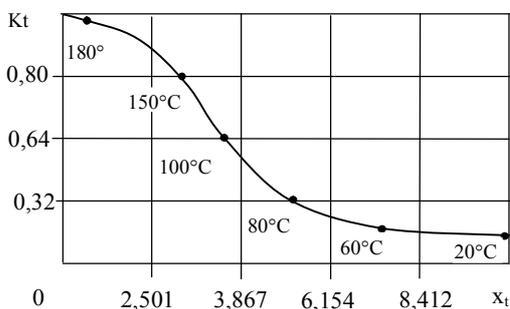


Рис. 1. Влияние температуры на термозависимые параметры k_t и x_t (фрагменты зависимостей)

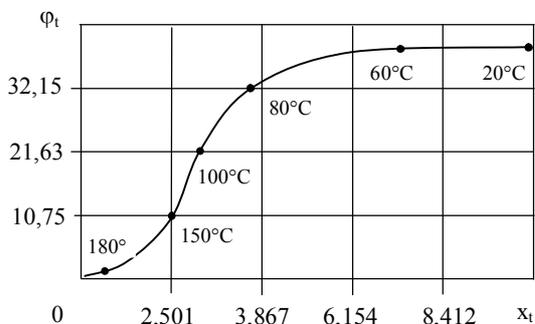


Рис. 2. Влияние температуры на термозависимые параметры φ_t и x_t (фрагменты зависимостей)

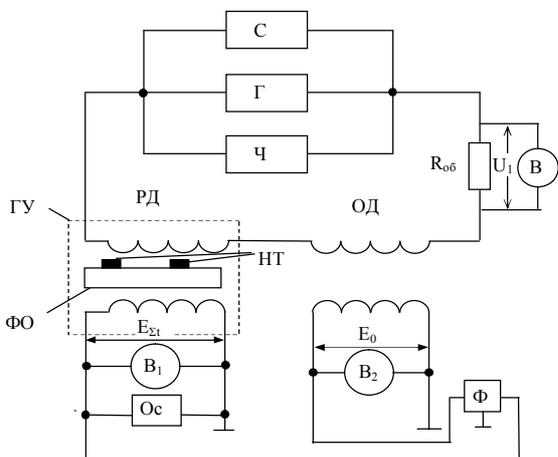


Рис. 3. Схема теплового ТВД для совместного контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия

Четыре параметра ферромагнитного цилиндрического изделия можно определить, используя две частоты f_1 и f_2 зондирующего изделия переменного магнитного поля теплового ТВД, при этом с учётом работ [4 – 13] составляется система уравнений, связывающая сигналы теплового ТВД с параметрами нагреваемого изделия

$$\begin{cases} \text{tg } \varphi_{1t} = f_1(a, \mu_{rt}, \sigma_t), \\ k_{1t} = f_2(a, \mu_{rt}, \sigma_t), \\ k_{2t} = f_3(a, \mu_{rt}, \sigma_t), \\ \frac{\rho}{\rho_1} - 1 = \frac{\alpha}{1 + \alpha t_1}(t - t_1), \end{cases} \quad (1)$$

где индекс t означает, что данная величина является термозависимой.

Алгоритм измерительного контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия следующий: сначала нужно установить с помощью генератора Γ частоту теплового ТВД f_1 , далее с помощью вольтметра B_1 , измеряем термозависимую ЭДС $E_{\Sigma t}$, затем воспользовавшись вольтметром B_2 определяем ЭДС E_0 (ТВД без изделия) [4–10], а фазовый угол φ_{0t} между ЭДС E_0 и $E_{\Sigma t}$ регистрируем с помощью фазометра Φ . Далее, зная радиус ТВД a_d , с учётом результатов работ [4 – 10], находим радиус a цилиндрического ферромагнитного изделия, зондируемого магнитным полем теплового ТВД (на частотах f_1 и f_2)

$$a = a_d \sqrt{1 - \frac{E_{\Sigma t} l}{4,44 f_1 W_n \pi a_d^2 \mu_0 I W_n}} \quad (2)$$

Зная радиус a цилиндрического ферромагнитного изделия, определим ЭДС E_1 на частоте f_2 теплового ТВД

$$E_1 = 4,44 f_2 \mu_0 N \pi (a_d^2 - a^2) \quad (3)$$

Зависимый от температуры фазовый угол φ_t , на первой и второй частотах магнитного поля, находим по формуле [4 – 6]

$$\text{tg } \varphi_t = \frac{E_{\Sigma t} \sin \varphi_{0t}}{E_{\Sigma t} \cos \varphi_{0t} - E_1} \quad (4)$$

Далее, воспользовавшись функциями преобразования на рис. 1, 2 с учётом работ [4 – 10], определяем обобщенный магнитный параметр x_t и параметр k_t , которые зависят от температуры.

Относительную магнитную проницаемость μ_{rt} нагреваемого ферромагнитного цилиндрического изделия, находим из выражения

$$\mu_{rt} = \frac{\sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_1^2 - 2E_{\Sigma t} E_1 \cos \varphi_{0t}}}{E_0 \left(1 - \frac{E_{\Sigma t}}{E_0}\right) k_t} \quad (5)$$

Удельную электрическую проводимость с учётом влияния температуры, определяем по формуле

$$\sigma_t = \frac{x_t^2 E_0 \left(1 - \frac{E_{\Sigma t}}{E_0}\right) k_t}{2\pi f_2 \mu_0 a^2 \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_1^2 - 2E_{\Sigma t} E_1 \cos \varphi_{0t}}} \quad (6)$$

Температуру ферромагнитного цилиндрического изделия, при которой найдены электромагнитные параметры μ_{rt} и σ_t , находим из выражения

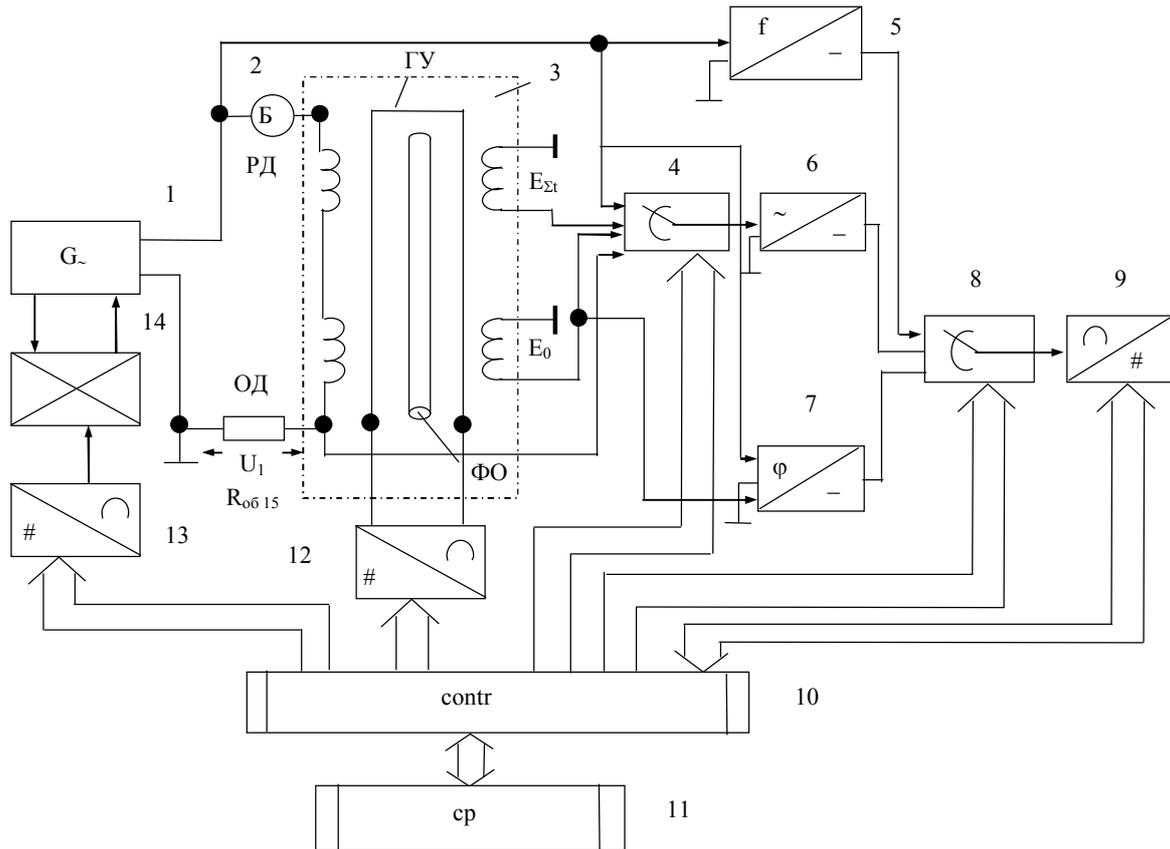


Рис. 4. Автоматизированная система управления и контроля параметров цилиндрических изделий на базе теплового ТВД.

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \times \left(\frac{2\pi f_2 \mu_0 a_{\pi}^2 \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_1^2 - 2E_{\Sigma t} E_1 \cos \varphi_{0t}}}{\rho_1 x_t^2 E_0 \left(1 - \frac{E_{\Sigma t}}{E_0} \right) k_t} - 1 \right) + t_1, \quad (7)$$

где t_1 – начальная температура, ρ_1 – удельное электрическое сопротивление при начальной температуре изделия зондируемого магнитным полем теплового ТВД, α – температурный коэффициент материала изделия.

Следует отметить, что формулы для определения параметров a , $\mu_{гт}$, σ_t и t на частоте f_2 являются аналогичными.

Рассмотрим вариант автоматизации совместного четырёхпараметрового измерительного контроля радиуса a , относительной магнитной проницаемости $\mu_{гт}$, удельной электрической проводимости σ_t и температуры t цилиндрического ферромагнитного изделия с помощью схемы на рис. 4.

Схема включает в себя: генератор переменного напряжения регулируемой частоты – 1; стабилизатор тока (барретор) – 2; ТВД – 3; первый мультиплексор (коммутатор) – 4; преобразователь частоты в

постоянное напряжение – 5; преобразователь переменного напряжения в постоянное – 6; преобразователь разности фаз в постоянное напряжение – 7; второй мультиплексор – 8; преобразователь постоянного напряжения в цифровой код (АЦП) – 9; контроллер микропроцессорный – 10; персональный компьютер (ПК) – 11; цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – 12 и 13; блок управления (драйвер) – 14; образцовый резистор $R_{об}$ – 15. Сначала необходимо преобразовать измеренные величины $E_{\Sigma t}$, E_0 и падение напряжения U_1 на образцовом сопротивлении $R_{об}$ последовательно с помощью мультиплексора – 4, которым управляет контроллер – 10. Затем поочередно преобразуемые напряжения с помощью устройства – 6, при использовании второго мультиплексора – 8, преобразуются в цифровые коды аналого-цифровым преобразователем (АЦП) – 9. После этого полученные цифровые коды вводятся через контроллер – 10 в персональный компьютер – 11. В свою очередь, информация о фазе и частоте питающего напряжения, преобразуется в постоянное напряжение устройствами – 5 и 7, а затем в цифровые коды с помощью мультиплексора – 8 и АЦП – 9. Процесс нагрева изделия для получения информации о температуре, осуществляется с помощью цифро-аналогового преобразователя ЦАП – 12, на который поступают цифровые коды с кон-

троллера – 10, а закон регулирования температуры t , определяется программой, которая вводится в персональный компьютер (ПК). Регулирование частоты генератора – 1, осуществляется также с помощью контроллера – 10 через ЦАП – 13, при использовании управляющего блока – 14 (драйвера). Параметры ферромагнитного цилиндрического изделия: радиус a , относительная магнитная проницаемость μ_r , удельная электрическая проводимость σ_t и температура t определяются по программе ПК в соответствии с полученными соотношениями, т.е. формулами (2) и (5-7). Результаты измерительного контроля параметров a , μ_r , σ_t и t выводятся на дисплей компьютера.

Таким образом, в настоящей статье рассмотрен вариант автоматизации процесса четырёхпараметрового измерительного контроля параметров ферромагнитного цилиндрического изделия, за счёт преобразования напряжений, фазы и частоты в цифровые коды и программной обработке данных персональным компьютером, предложена схема автоматизированной вихретоковой установки, которая в качестве первичного преобразователя использует тепловой ТВД.

Заключение

Таким образом, в данной статье поставлены основные задачи и определены пути решения важной научно-практической проблемы, связанной с разработкой новых информационных технологий применяемых при совместном автоматизированном контроле цилиндрических изделий. В рамках проведения исследований, создан бесконтактный четырёхпараметровый вихретоковый метод измерительного контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ_t , радиуса a и температуры t цилиндрического изделия. Приведены основные соотношения для определения геометрических, магнитных, электрических и температурных параметров цилиндрических изделий. Предложен вариант автоматизации процесса измерительного контроля четырёх параметров ферромагнитного цилиндрического изделия за счёт преобразования напряжений, фазы и частоты теплового трансформаторного вихретокового датчика (ТВД) в цифровые коды и программной обработке данных персональным компьютером. Новизна результатов работы состоит в том, что разработан бесконтактный четырёхпараметровый вихретоковый метод контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ_t , радиуса a и температуры t цилиндрического ферромагнитного изделия, основанный на простых

алгоритмах измерительных и расчётных процедур, приведена схема автоматизированной вихретоковой установки с помощью которой осуществляется реализация данного метода.

Практическое значение работы состоит в том, что, благодаря предложенному варианту автоматизации процесса измерительного контроля четырёх параметров цилиндрических изделий, повышается точность измерений магнитных, электрических, геометрических и температурных параметров контролируемых объектов в важных технологических процессах. Перспективы дальнейших исследований, состоят в создании многопараметровых вихретоковых методов контроля физико-химических параметров трубчатых и плоских магнитных и немагнитных изделий, а также в проектировании, конструировании и разработке автоматизированных электромагнитных устройств, на базе которых осуществляется реализация этих методов.

Литература

1. Таланчук П.М. Основы теории и проектирования измерительных приборов / П.М. Таланчук, В.Т. Руценко. – К.: Вища школа, 1989. – 454 с.
2. Бриндли К. Измерительные преобразователи: справочное пособие / К. Бриндли: пер. с англ. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Таланчук П.М. Засоби вимірювання в автоматичних, інформаційних та керуючих системах / П.М. Таланчук, Ю.О. Скрипник, В.О. Дубровский. – К.: Райдуга, 1994. – 664 с.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник / под ред. В.В. Клюева. – Кн. 2. – М.: Машиностроение, 1986. – 351 с.
5. Клюев В.В. Вычислительный комплекс для вихретокового многопараметрового контроля металлоизделий на базе макро-ЭВМ "Электроника С5-02" / В.В. Клюев, Ю.К. Федосенко, В.А. Коровяков // IX Всесоюзная научно-техническая конференция "Неразрушающие физические методы и средства контроля". – М-ск. – 1981. – 1Б-58. – С. 159-162.
6. Себко В.П. Проходной датчик для измерения электромагнитных характеристик проводящих объектов / В.П. Себко // Сб. науч. тр. / Вестник Харьковского политехнического института "Автоматика и приборостроение". – Х.: Изд-во при "ХПИ" издательского объединения "Вища школа". – 1982. – № 188, вып. 8. – С. 24-28.
7. Сиренко Н.Н. Многопараметровый преобразователь контроля цилиндрических токопроводов / Н.Н. Сиренко, Е. Лямпарт, О.Л. Багмет // Сб. науч. тр. / Третья Республиканская научно-техническая конференция "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике". – Х., 1988. – С. 236-237.
8. Ду Хуан Янг Дифференциальный трансформаторный электромагнитный преобразователь для

контроля магнитных и электрических параметров изделий / Янг Хуан Ду // Сб. науч. тр. / Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Х.: ХГПУ. – 1999. – Вып. 37. – С. 61-63.

9. Горкунов Б.М. Дифференциальный электромагнитный преобразователь с цилиндрическим проводящим изделием / Б.М. Горкунов, О.С. Сомхиева, Янг Хуан Ду // Збірник наукових праць II-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірвальна техніка (Метрологія 99)". – Х.: ХДНДІМ, 1999. – Т. 1. – С. 220-223.

10. Себко В.П. Погрешности трехпараметровых измерений электромагнитным преобразователем / В.П. Себко, Б.М. Горкунов, Янг Хуан Ду // Сб. науч. тр. / Вестник Восточно-украинского национального университета. – Луганск: ВУНУ. – 2002. – № 8. – С. 217-223.

11. Себко В.П. Повышение точности измерений температуры цилиндрических изделий электро-

магнитным преобразователем / В.П. Себко, О.Л. Багмет // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПИ". – 2003. – Вып. 1. – С. 28-31.

12. Себко В.В. Многофункциональное вихретоковое устройство для совместного измерения радиуса, магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры цилиндрического проводящего изделия / В.В. Себко // Технічна електродинаміка. – 2002. – Тем. випуск, Ч. 3. – С. 101-104.

13. Себко В.В. Контроль четырех параметров ферромагнитных изделий на одной частоте зондирующего продольного магнитного поля ТВД / В.В. Себко // Електротехніка і електромеханіка. – 2007. – № 1. – С. 34-36.

Поступила в редакцию 26.07.2010

Рецензент: д-р техн. наук, доц., проф. каф. «ГИС и геодезии» К.А. Метешкин, Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ СУМІСНОМУ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИХОРОСТРУМОВОМУ КОНТРОЛІ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ

В.В. Себко

Розглянуто інформаційні технології, що використовуються під час аналізу структурних процесів багатопараметрового вихорострумowego контролю параметрів циліндричних виробів. Створено безконтактний чотирипараметровий вихорострумовой метод сумісного вимірвального контролю відносної магнітної проникності μ_r , питомої електричної провідності σ , радіуса a і температури t . На основі схеми включення теплового ТВД, що передбачає нагрівання виробу у процесі контролю, запропоновано варіант автоматизації вимірвального контролю магнітних, електричних, геометричних та температурних параметрів циліндричних виробів. На основі схем включення, які було запропоновано, розроблено алгоритм сумісного вихорострумowego чотирипараметрового контролю параметрів циліндричних виробів.

Ключові слова: інформаційні технології, вихорострумовой контроль, автоматизована система, трансформаторний вихорострумовой давач (ТВД), вимірвальний контроль, феромагнітні циліндричні вироби, сумісний контроль, універсальні функції перетворення.

INFORMATION TECHNOLOGY USED IN CONSISTENT OF VORTEX-CURRENT CONTROL AUTOMATION OF CYLINDRICAL OBJECT'S PARAMETERS

V.V. Sebko

Information technology used in structural process analysis of multivariate vortex-current control of cylindrical object's parameter has been examined. Consistent measurement control using non-contact tetra-parametric vortex-current method relative to magnetic permeability μ_r , specific conductivity σ , radius a and temperature t of the ferromagnetic cylindrical object has been developed. An automated measurement control for magnetic, electrical, geometric and temperature parameters of the cylindrical object based on the thermal closed circuit TVD is proposed that foresees cylindrical object's heating in control process. An algorithm of consistent vortex-current, tetra-parametric control of cylindrical object's parameters has been developed on the basis of the proposed closed circuit.

Key words: information technology, vortex-current control, automated system, transformer vortex-current sensor (TVD), measurement control, ferromagnetic cylindrical object, consistent control, universal conversion control.

Себко Вадим Вадимович – д-р техн. наук, доц., проф. кафедри «Химической техники и промышленной экологии», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: Sebkov@mail.ru.