

УДК 681.584.311: 57.024

© С. К. Прищепов, К. И. Власкин

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ФЕРРОЗОНДОВОГО ТИПА

Выявлена неоднозначность определений "интеллектуальный датчик" как технического средства измерений. Обобщены причины и следствия различий в представлении "smart sensor" как измерительного преобразователя. Приведены основные положения Международного стандарта IEEE 1451 по классификации интеллектуальных средств измерений. Представлены данные о функциональных возможностях датчиков феррозондового типа, используемых как "smart sensor", при создании измерительных и информационных технологий.

Кл. сл.: объект измерения, измерительный преобразователь, архитектура интеллектуального датчика, феррозондовый сенсор

ВВЕДЕНИЕ

Понятие "интеллектуальный датчик" сложилось из различных словосочетаний и технических терминов в 50-х годах XX столетия, т. е. исторический период развития "smart sensor" составляет полвека. Однако единого определения интеллектуального датчика (ИД) как технического средства измерений в настоящее время не дано, а многочисленные существующие неоднозначны. Это объясняется тем, что глобальные технические открытия последних десятилетий, новые автоматизированные измерительные технологии умножают количество и разнообразие объектов измерения (ОИ), тем самым оказывают непрерывное влияние на развитие ИД: создают новые области применения; предъявляют новые, как правило, противоречивые требования; стимулируют проявление новых функций и свойств. Все это постоянно изменяет масштабы и формы представлений исследователей об ИД как о предмете современных и перспективных разработок.

С 09.1997 г. введен в действие Международный стандарт IEEE 1451 "Smart Transducer Interface Standards" [1]. В данном названии слово *transducer* является аналогом термина "измерительный преобразователь" (ИП), который определяется как "устройство, сочетающее функции восприятия проявлений ОИ с измерением, что обеспечивается содержанием измерительного тракта ИП". Техническое средство "сенсор", являясь составной частью измерительного тракта "transducer", исключено из названия стандарта IEEE 1451. Вместе с тем измерительный тракт ИП часто содержит элементы управления и логической обработки информационных сигналов и в таком случае термины "smart" и "transducer" если не синонимы, то во многом дублируют друг друга. Поэтому в текстах отечественной и иностранной литературы сино-

нимом ИП является "smart sensor" [2]. Сенсорные стандарты IEEE 1451 определяют технические спецификации (ТС) и интерфейсы ИД, обеспечивая их *интероперабельность* (функциональную совместимость) как компонентов открытых систем. Стандарт IEEE 1451 дает определение ИД: *smart sensor* — датчик с интегрированной электроникой, выполняющий одну или несколько функций: логическую (собственно интеллектуальную); принятия решений (функцию управления); функцию двусторонней связи. Стандарт IEEE 1451 в соответствии с ТС дает определение архитектуры ИД [3]:

1. Sensor — первичный преобразователь (ПП) измеряемой физической величины в информационный сигнал.
2. Усилитель.
3. Аналоговый мультиплексор (если ИД многоканальный).
4. АЦП.
5. Процессор.
6. Память.
7. ИМС последовательных коммуникаций.
8. Служебные ФБ — функциональные блоки (t° -компенсация и т. д.).

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Введение в действие Международного стандарта IEEE 1451, однако, не сократило количество определений ИД. Так, например: "ИД — средства восприятия и измерения, оснащенные микропроцессором", "ИД — измерительные устройства, выполняющие кроме обычных функций ряд других, существенно расширяющих возможности и улучшающих их технические характеристики" [2, 4]. Причины различий определений: а) многообразие ОИ; б) многообразие функций, "индивидуаль-

ность" ИД; в) гибкость структуры ИД. Не менее важная причина разночтения определений в том, что они рождались не столько в университетских и академических кругах, сколько в инженерных и коммерческих: разработкой, производством и реализацией ИД занимается множество фирм (Intel Labs, Sandia N.L., Siemens, Fujitsu, Mitsubishi, Метран, Мприбор и ряд менее известных). Определение датчика как "интеллектуальный" способствует его коммерческому успеху (включение микропроцессора в структуру стандартного сенсора увеличивает его стоимость в $2 \div 10$ раз), повышает статус фирмы-производителя [2]. Естественно, особую активность в конкурентной борьбе за принадлежность к ИД проявили разработчики датчиков прямого преобразования, у которых в (1) $f = k = \text{const}$:

$$y = f(x), \tag{1}$$

где x — измеряемая физическая величина; y — выходной информационный сигнал сенсора; f — функция преобразования.

В датчиках такого типа интеллектуальный ресурс процессора в основном растрачивается на служебные и вспомогательные функции (п. 6–8 ТС). Так, например, при адаптации к работе в загрязненной среде оптического датчика, функция f "источник—приемник" которого в нормальных условиях линейна, 65 % интеллектуального ресурса процессора отводится на защиту и очистку функциональных элементов (в том числе механическую) [5].

Если функция f датчика нелинейна (например, у манометров при больших давлениях, когда f отображается логарифмической характеристикой), для его "интеллектуализации" — линейризации f требуется всего 5 % ресурса процессора [5].

Существуют датчики, у которых f — сложная функция а) комплекса x -аргументов, б) представленная системой уравнений независимых аргументов, в) требующая для определения y данные дополнительных датчиков, г) случайно изменяющихся аргументов. Такие датчики по существу представляют собой измерительные функциональные преобразователи, необходимо требующие включения процессора в структуру сенсора, т. е. являются ИД — интеллектуальными датчиками по определению IEEE 1451 и по ТС п.1, 3–8.

Типичным представителем ИД является гироскопический датчик. Функция преобразования всего лишь одного из трех директивных углов определяется, как

$$A = \mu + \arctg \left[\sin(\phi_0 - \Delta\phi) \cdot \text{tg} \frac{\omega \cdot t + \Delta\lambda}{2} + \frac{\sin \Delta\lambda}{\cos \phi_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \Delta\lambda)} \right], \tag{2}$$

где: A — угол азимута между приборной осью Y и плоскостью географического меридиана; μ — угол между осью Y и линией узлов y (горизонтальная ось подвеса ротора гироскопа (РГ)); ω — угловая скорость вращения Земли; ϕ_0 — широта места установки гироскопического датчика, измеряемое с момента начальной выставки РГ; $\Delta\phi, \Delta\lambda$ — приращение координат по широте и долготе.

Очевидно, что для решения уравнения (2) гироскопический ИД требует ТС IEEE 1451 в полном объеме, более того, в гироскопический ИД необходимо поступают данные $\omega, t_{\text{сг}}, \Delta\phi, \Delta\lambda$ по п. 8 ТС, чтобы решить (2) в п. 5. Следует отметить, что гироскопические ИД решают формулу (2) с 30-х годов XX века, когда МП не существовали.

Типичными представителями ИД являются магнитомодуляционные датчики, в частности феррозондового (ФЗ) типа. Известно, что у ФЗ как чувствительного элемента (ЧЭ) информационный сигнал сложной формы, т. е. представляет собой спектр f_{Σ} . Информационный сигнал содержит 4 информативных составляющих: амплитуду U_{2f} , фазу, частоту $2f$, знак (+)/(-) вектора магнитного

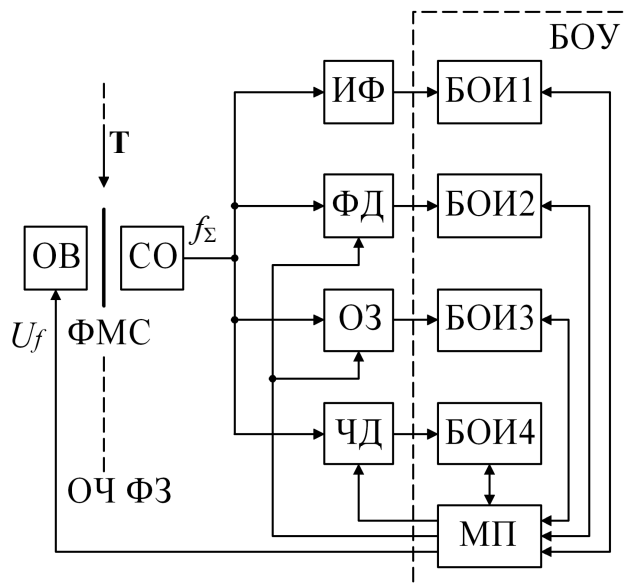


Рис. 1. ФЗ как многоканальный ИД. U_f — напряжение возбуждения ФЗ с частотой f ; ОВ — обмотка возбуждения ФЗ; СО — сигнальная обмотка ФЗ; ОЧ ФЗ — ось чувствительности ФЗ; ИФ — избирательный фильтр частоты $2f$; ФД — фазовый детектор; ЧД — частотный детектор; ОЗ — определитель знака; МП — микропроцессор; БОИ1(2, 3, 4) — блоки обработки и индикации; T — измеряемое магнитное воздействие; ФМС — ферромагнитный сердечник; f_{Σ} — спектр информационного сигнала ФЗ; БОУ — блок обработки и управления

воздействия. Следовательно, ЧЭ ФЗ — многоканальный преобразователь, в котором формирователем 4 информативных параметров является единый источник — сигнальная обмотка (СО) ФЗ (см. рис. 1).

Функция "анализатор спектра" решается феррозондовым ИД по схеме рис. 2. Феррозондовый ИД, включенный в режиме градиентомера по рис. 3, решает систему векторных уравнений

$$\begin{cases} \mathbf{T} = 0; \\ U_{2f} = \text{grad } \mathbf{A}, \end{cases} \quad (3)$$

где \mathbf{T} — вектор малого градиента, в частности нормальное магнитное поле Земли (НМПЗ); \mathbf{A} — магнитная аномалия, вектор большого градиента; U_{2f} — информационный сигнал градиентомера.

Система уравнений (3) решается ИД методом специальной организации ЧЭ ФЗ, когда особое включение ОВ и СО и расположение полуэлементов ДФМС по сравнению со схемой рис. 1 превращает их в ОВ и СО [6], т. е. МП в решении системы (3) участия не принимает.

Функция решения комплекса задач — алгоритмических и вычислительных — выполняется в мультисенсорных структурах феррозондовых ИД, когда 2 и более ФЗ образуют единый измерительный модуль, размещенный в общем корпусе ("измерительная платформа").

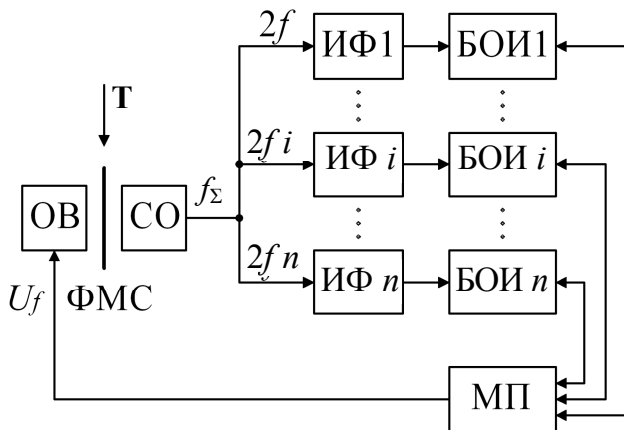


Рис. 2. ФЗ ИД как анализатор спектра. ИФ — избирательные фильтры; $2f_i$ — составляющие спектра f_{Σ} , где $i = 1, \dots, n$; U_f , ОВ, СО, ФМС, \mathbf{T} , МП, БОИ — по рис. 1

Элементами архитектуры ФЗ-измерительного модуля могут быть, согласно ТС п. 8 IEEE 1451 дополнительные ФБ, функции которых составляют неотъемлемую часть алгоритмической обработки информационных сигналов феррозондовых ЧЭ. Так, по схеме рис. 4 решается задача вычисления магнитного азимута (2-компонентный ФЗ-компас). Для выполнения функции $Z = 0$ применяется гравитационный ориентатор, автоматически удерживающий измерительную платформу ФЗ-компаса в плоскости горизонта. При этом ИД решает систему уравнений

$$\begin{cases} \mathbf{Z} = 0; \\ X = U_{2f}^{\sin} \cdot \cos \alpha; \\ Y = U_{2f}^{\cos} \cdot \sin \alpha, \end{cases} \quad (4)$$

где \mathbf{Z} — вертикальная составляющая МПЗ; U_{2f}^{\sin} , U_{2f}^{\cos} — информационные сигналы ортогональных ФЗ, размещенных на горизонтальной ($\mathbf{Z} = 0$) платформе; α — угол магнитного азимута; X , Y — горизонтальные составляющие МПЗ [7].

Мультипроцессорным ИД является 3-компонентный ФЗ ИД, в котором оси чувствительности трех ЧЭ ортогональны. В зависимости от назначения архитектура 3-компонентного ФЗ ИД может

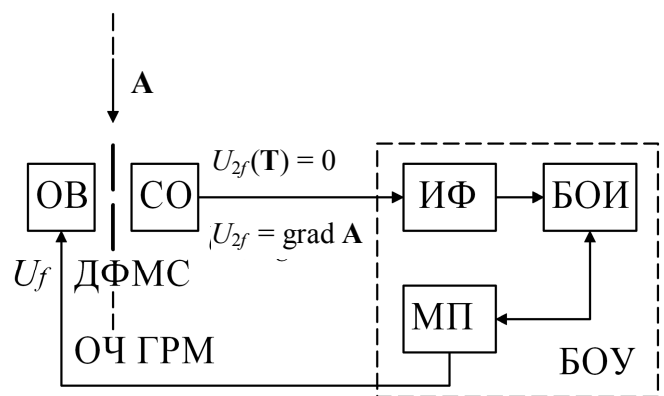


Рис. 3. ФЗ ИД в режиме градиентомера. ДФМС — дифференциальный ФМС; ОЧ ГРМ — ось чувствительности градиентомера; \mathbf{A} — вектор магнитного воздействия большого градиента; \mathbf{T} — вектор магнитного воздействия малого градиента (в частности, МПЗ); СО — обмотка возбуждения ГРМ; ОВ — сигнальная обмотка ГРМ; U_f , ИФ, ФМС, МП, БОИ, БОУ — по рис. 1

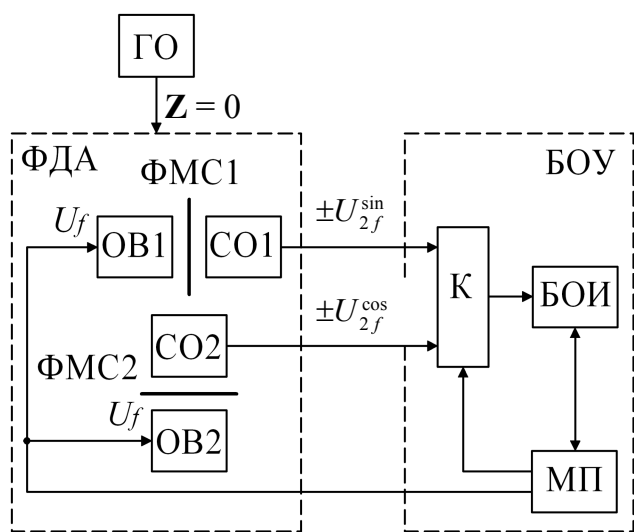


Рис. 4. Двухкомпонентный ФЗ-компас. ГО — гравитационный ориентатор; ФДА — феррозондовый датчик азимута; К — коммутатор аналоговых сигналов; $\pm U_{2f}^{sin}, \pm U_{2f}^{cos}$ — информационные сигналы ФЗ; U_f , ОВ, СО, ФМС, МП, БОИ, БОУ — по рис. 1

включать как вспомогательные ФБ, согласно п. 8 ТС IEEE 1451, так и источники дополнительных информационных сигналов по каналу последовательных коммуникаций, согласно п. 7 ТС IEEE 1451. Трехкомпонентный ФЗ ИД способен выполнять множество функций. Так, по формуле (5) решается функция вычисления магнитного азимута:

$$\alpha = \arctg \frac{-T_x \cdot \sin \phi - T_y \cdot \cos \phi}{[T_x \cdot \cos \phi - T_y \cdot \sin \phi] \cdot \cos \theta + T_z \cdot \sin \theta}, \quad (5)$$

где θ, ϕ — углы наклона и поворота измерительной платформы ФЗ ИД, данные о которых поступают в ИД извне от дополнительных датчиков, согласно п. 7, 8 ТС IEEE 1451 [8].

Функция вычисления модуля полного вектора магнитного воздействия, в частности **T**-вектора МПЗ, решается трехкомпонентным ФЗ по формуле

$$|\mathbf{T}| = \sqrt{|\mathbf{X}|^2 + |\mathbf{Y}|^2 + |\mathbf{Z}|^2}, \quad (6)$$

где **X, Y, Z** — ортогональные составляющие вектора **T**. Функция выполняется без дополнительных ФБ в архитектуре ИД, а также вне зависимости от ориентации измерительной платформы ФЗ в пространстве [9].

Функция вычисления модуля $|\mathbf{A}|$ — аномалии вектора **T** МПЗ решается трехкомпонентным ФЗ по формуле

$$|\mathbf{A}| = |\mathbf{T}| - |\mathbf{T}_0|, \quad (7)$$

где $|\mathbf{T}_0| = \text{const}$ — эквивалент, соответствующий уровню НМПЗ, содержащийся в памяти МП; $|\mathbf{T}|$ — текущее значение измеряемого МПЗ [10].

Таким образом, феррозондовые датчики являются высокоэффективными, многофункциональными средствами измерения, характеристики которых полностью соответствуют Международному стандарту IEEE 1451 и согласуются со всеми пунктами его технических спецификаций.

ВЫВОДЫ

1. Неоднозначность определений "smart sensor" осложняет проектирование и внедрение прогрессивных измерительных и информационных технологий.
2. Положения Международного стандарта IEEE 1451 способствуют систематизации понятий и определений отечественных и зарубежных интеллектуальных средств измерения.
3. Уровень решаемых задач, многообразие объектов измерения, совокупность технических характеристик и функциональных возможностей определяют принадлежность феррозондовых датчиков к основному ряду современных и перспективных "smart sensors".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: (<http://iee1451.nist.gov>).
2. Раков В.И., Хилев В.С. О системном характере изменений функций и структур датчиков // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 12. С. 50–54.
3. URL: (<http://www.smartsensorsystems.com>).
4. Ицкович Э.Л. Современные интеллектуальные датчики общепромышленного назначения, их особенности и достоинства // Датчики и системы. 2002. № 2. С. 42–47.
5. URL: (<http://www.asutp.ru>).
6. Патент РФ № 2252422, 20.05.2005.
7. А.С. СССР № 1158749, 30.05.1985.
8. Прищепов С.К. и др. Малогабаритный 3-х компонентный феррозондовый датчик азимута для инклинометрических систем // Датчики систем измерения, контроля и управления. 1996. С. 52–55.
9. Патент РФ № 2218577, 10.12.2003.
10. Патент РФ № 2274870 (С2), 20.04.2006.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Контакты: Прищепов Сергей Константинович, ugatu_iit@mail.ru

Материал поступил в редакцию 14.06.2011.

SMART FLUXGATE TYPE SENSORS

S. K. Prischepov, K. I. Vlaskin

Ufa State Aviation Technical University

The ambiguity of the definitions of "smart sensor" as a technical mean of measurement is revealed. Causes and consequences of differences in the representation of "smart sensor" as a transmitter were generalized. The main points of the international standard IEEE 1451 regarding classification of intelligent measuring instruments are presented. Data on the functionality of a fluxgate type sensor, which are used as "smart sensor" in the development of measurement and information technology, are presented.

Keywords: subject of measurement, transducer, smart sensor architecture, fluxgate sensor