
ДЕГРАДАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ СЕНСОРІВ

SENSOR'S DEGRADATION, METROLOGY AND CERTIFICATION

УДК 006.022:006.058

АДАПТАЦІЯ СТАНДАРТУ ІЕЕЕ 1451 ДЛЯ ЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ

С. Ю. Юриш

Національний Університет “Львівська політехніка”, 79013 Львів, вул. Бандери, 12
Тел./факс: +38 (32) 258-25-38, E-mail: syurish@mail.lviv.ua

Анотація

АДАПТАЦІЯ СТАНДАРТУ ІЕЕЕ 1451 ДЛЯ ЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ

С. Ю. Юриш

В статті описані розширення і адаптація стандарту ІЕЕЕ 1451 для сенсорів частотно-часової групи. Показано, що при використанні одного універсального компонента — УПЧК-1 — будь-який існуючий частотний сенсор може бути перетворений в інтелектуальний з можливістю самоідентифікації і самоадаптації. Такий підхід до проектування ІЕЕЕ 1451-сумісних сенсорів дає істотні переваги як виробникам, так і споживачам. Прогнозується збільшення ринку інтелектуальних сенсорів на 15-20 %.

Ключові слова: частотні сенсори, стандарт ІЕЕЕ 1451, інтелектуальні сенсори, інтелектуальні перетворювачі, перетворювач частота-код

Abstract

IEEE 1451 STANDARD ADAPTATION FOR FREQUENCY OUTPUT SENSORS

S. Y. Yurish

An effort to simplify the IEEE 1451 standards family extension for adding smart, plug-and-play and self-adaptation capabilities to frequency output sensors is describe in the paper. It was shown that due to the use of one universal component — the universal frequency-to-digital converter (UFDC-1), any frequency output sensor can be transformed into a smart transducer compatible to the IEEE 1451 standard. This gives strong benefits to both: customer and manufacturers, increases the level of commercial adoption of the standard in industry and smart sensors market up to 15-20 %.

Key words: frequency output sensors, IEEE 1451, smart transducers, frequency-to-digital converter

Аннотация**АДАПТАЦИЯ СТАНДАРТА IEEE 1451 ДЛЯ ЧАСТОТНЫХ ДАТЧИКОВ***С. Ю. Юриш*

В статье описаны расширение и адаптация стандарта IEEE 1451 для датчиков частотно-временной группы. Показано, что благодаря использованию одного универсального компонента — УПЧК-1 — любой существующий частотный датчик может быть преобразован в интеллектуальный с возможностью самоидентификации и самоадаптации. Такой подход к проектированию IEEE 1451-совместимых датчиков дает существенные преимущества как производителям, так и потребителям. Прогнозируется увеличение рынка интеллектуальных датчиков на 15-20 %.

Ключевые слова: частотные датчики, стандарт IEEE 1451, интеллектуальные датчики, интеллектуальные преобразователи, преобразователь частота-код

Вступ

У зв'язку з широким розвитком інтелектуальних сенсорів і засобів вимірювання, останнім часом високу популярність у галузі технологій інтелектуальних сенсорів (smart sensors) набувають стандарти сімейства IEEE 1451, робота над якими була розпочата інститутом IEEE і Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology (NIST), США) у 1993 році [1]. Основне призначення сімейства стандартів серії IEEE 1451 — це спрощення взаємодії з різноманітними перетворювачами через розвиток стандартних інтерфейсів.

Стандарт визначає способи звернення аналогових перетворювачів до електронної специфікації TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) з метою спрощення операцій налагодження і калібрування, а також визначає змішаний інтерфейс, у якому, поряд зі звичайним сигналом аналогового сенсора, використовується недорогий цифровий канал доступу до електронної специфікації TEDS, вбудованої в сенсор з метою самоідентифікації. Зберігаючи сумісність з аналоговими системами попереднього покоління, подібні сенсори забезпечують такі переваги, як спрощення конфігурування, обслуговування всієї системи і підвищення ступеня цілісності даних.

Частотні сенсори також згадувалися в деяких документах та публікаціях, присвячених сімейству стандартів IEEE 1451, але і дотепер відсутні реальні результати як у процесі стандартизації, так і розробки IEEE 1451-сумісних сенсорів з частотним виходом. Крім того, таблиці електронної специфікації для частотних

сенсорів повинні відображати можливість самоадаптації сучасних інтелектуальних сенсорів з частотними виходами.

Така ситуація виникла через залежність похибки квантування перетворювачів частота-код від способу вимірювання частоти, і тому дотепер не існує стандартних перетворювачів частоти в код подібно до стандартних АЦП.

Сучасні частотні сенсори різноманітних електричних і неелектричних величин мають широкі частотні діапазони від декількох сотих Гц до декількох МГц, а також низьку відносну похибку 0,01 % або краще [2]. Їх частка на сучасному світовому ринку сенсорів постійно збільшується і досягнула вже 15 % [3]. Ось чому адаптація і розширення сімейства стандартів IEEE 1451 на сенсори з частотним виходом являє собою актуальну задачу сучасної стандартизації та створення інтелектуальних сенсорів.

Сімейство стандартів IEEE 1451 і сенсори частотно-часової групи

Призначення стандарту IEEE 1451 — це формулювання рекомендацій з розробки протоколів і інтерфейсів інтелектуальних сенсорів, а також узгодження з форматом даних електронної специфікації TEDS. Реалізація цього стандарту дозволить істотно знизити питомі витрати, що припадають на один канал, зв'язані зі збором даних, їхньою перевіркою і аналізом у багатоканальних промислових і лабораторних вимірювальних системах. Усі члени сімейства стандарту IEEE 1451 взаємно доповнюють один одного. Вони можуть використо-

вуватися незалежно або спільно один з одним. Так, наприклад, сенсор на базі стандарту IEEE 1451.4, який визначає протокол і змішаний інтерфейс для аналогових сенсорів, може бути використаний з перетворювачами, які використовують інтерфейси для цифрових комунікацій з розподіленими системами за допомогою сенсорних мереж [4]. Практично всі члени сімейства стандарту IEEE 1451 можуть бути адаптовані і розширені для використання з частотними сенсорами. На рис. 1 показано все сімейство стандартів інтелектуальних сенсорів, адаптованих для роботи з частотним виходом. При цьому замість стандартного модуля АЦП використовується модуль перетво-

рювача частота — код (ПЧК). Природно, що для роботи відповідно до стандарту IEEE 1451 до модулю ПЧК пред'являються підвищені вимоги. А саме: програмована похибка квантування, безнадлишковий час перетворення, широкий діапазон вимірюваних частот, висока точність перетворення і багатофункціональність — здатність перетворювати не тільки частоту, а й період, тривалість імпульсу, фазовий зсув, шпаруватість, коефіцієнт заповнення, часовий інтервал, відношення і різниці частот і періодів, а також інші частотно-часові параметри сигналів. Іншими словами, ПЧК повинен базуватися на сучасних, поліпшених методах вимірювання частоти.

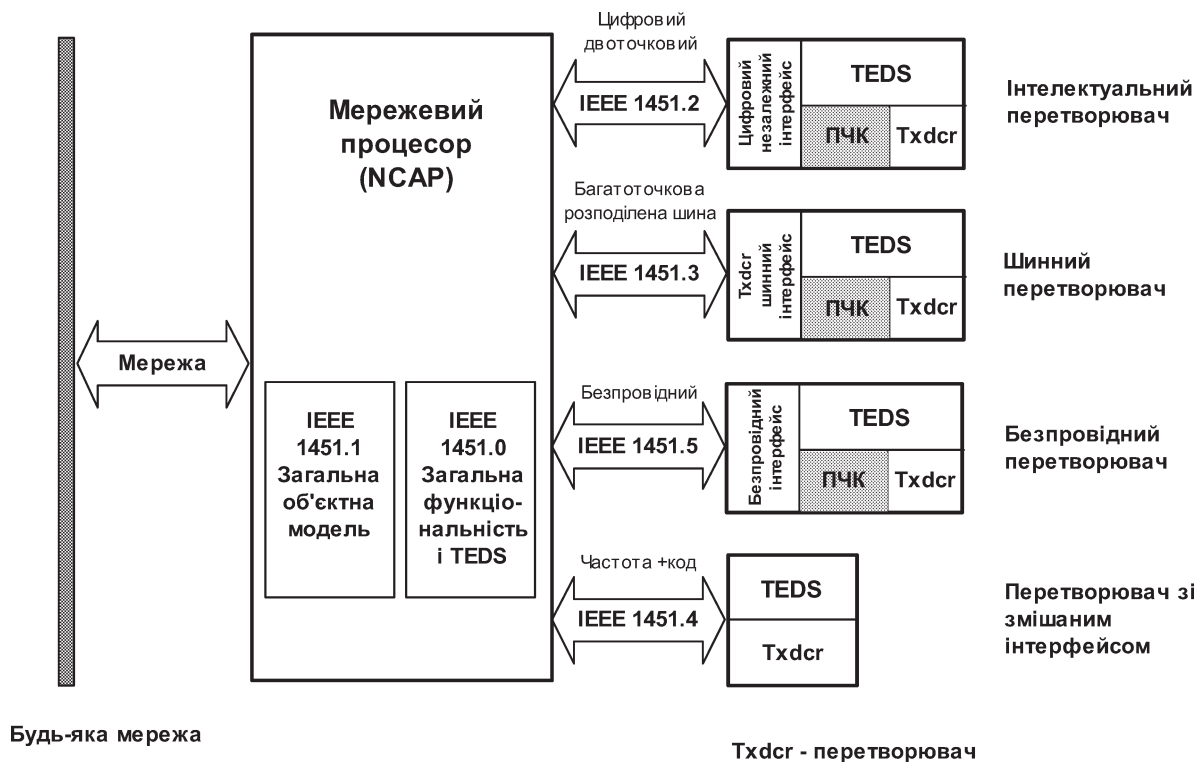


Рис. 1. Сімейство стандартів IEEE 1451.

На сьогоднішній день таким вимогам відповідає розроблений і впроваджений автором інтегральний універсальний перетворювач частота-код (УПЧК-1), що базується на чотирьох нових запатентованих способах вимірювання частотно-фазочасових параметрів сигналів [5-7]. УПЧК-1 має програмовану похибку квантування від 1 до 0,001 %, постійну у всьому діапазоні вимірюваних частот: від 0,05 Гц до 7,5 МГц (120 МГц з попереднім діленням вхідної частоти). Час перетворення перетворювача є безнадлишковим і визначається

необхідною похибкою квантування. Таким чином, в УПЧК-1 з самого початку закладена можливість самоадаптації, тобто програмованої зміни похибки квантування, що впливає на час перетворення, і навпаки, зміна часу перетворення за рахунок зміни похибки квантування, причому для кожного вимірювання окремо, якщо така необхідність виникає. УПЧК-1 придатний для роботи практично зі всіма існуючими промисловими частотними сенсорами і у відповідності з усіма стандартами сімейства IEEE 1451.

Модуль інтелектуального перетворювача (Smart Transducer Interface Module — STIM) аналогового сигналу може бути побудований на мікроконтролері MicroConverter™ від фірми Analog Device (www.analog.com), а саме ADuC810/ 812/ 816. Пристрій містить всі основні компоненти інтелектуального перетворювача STIM на одному кристалі, а саме: АЦП, вбудований мікроконтролер і флеш-пам'ять. На відміну від мікросхем MicroConverter™, УПЧК-1 замість АЦП містить програмований двоканальний перетворювач різноманітних частотно-часових параметрів електричних сигналів, а вбудований мікроконтролер базується на RISC-архітектурі замість мікропроцесорного ядра, сумісного з системою команд сімейства мікроконтролерів Intel 8052. Крім того, УПЧК-1 випускається у 28- вивідному корпусі на відміну від пристроїв сімейства

MicroConverter™, які випускаються у 52-вивідному корпусі.

Стандарт IEEE 1451.2 для частотних сенсорів

Стандарт IEEE 1451.2 описує незалежний цифровий двоточковий інтерфейс (ТІІ — Transducer-Independent Interface) [8] і протоколи комунікацій для підключення модуля STIM з цифровим виходом до мікропроцесорного мережевого адаптера NCAP. Він також включає визначення електронної специфікації TEDS, що забезпечує самоідентифікацію перетворювача і дозволяє зберігати інформацію про характеристики перетворювача безпосередньо в ньому самому. Фізичне представлення стандарту IEEE 1451.2 з частотними сенсорами показано на рис.2.

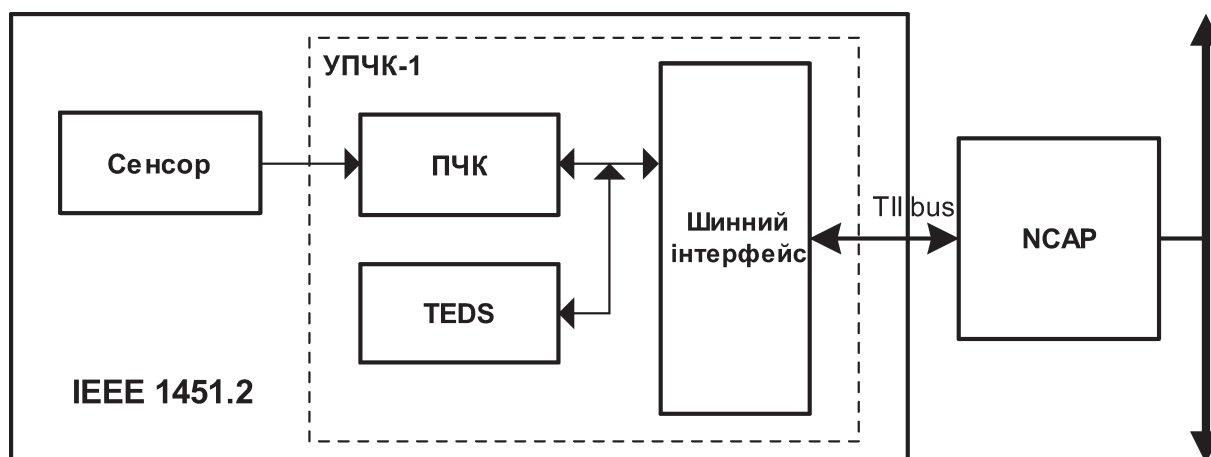


Рис. 2. Фізичне представлення стандарту IEEE 1451.2 з частотними сенсорами.

STIM може включати сенсори (Сенсор STIM), виконавчі механізми (Актуатор STIM), або і те, і інше (Сенсор/Актуатор STIM). Модуль STIM безпосередньо містить TEDS, логіку, що реалізує інтерфейси сенсорів, і будь-який перетворювач або формувач сигналу. Він також містить у собі адресну логіку і цифрову електроніку для перетворення зчитаних сигналів (у випадку розширення сімейства IEEE 1451 і адаптації для роботи з частотними сенсорами — це ПЧК). Адресна логіка використовується при комунікаціях між STIM і NCAP. Мережевий процесор NCAP логічно розташовується між мережею і STIM та забезпечує мережеві комунікації, обмін даними з STIM, перетворення інформації і виконання прикладних задач. До

його функцій також відноситься подача живлення на STIM. Мережевий процесор NCAP, як правило, містить контролер і розширений мережевий інтерфейс для підтримки інших вузлів. Після того, як інформація з TEDS прочитана, процесор знає, як швидко він може обмінюватися даними з STIM, як багато каналів має останній і який формат даних кожного з перетворювачів, що входять в інтерфейсний модуль. Він також знає, у яких фізичних одиницях виконуються вимірювання і як коректно перетворити дані, скажемо, у систему СІ.

NCAP ініціює процес вимірювання або керування за допомогою запуску STIM і обробляє сигнали квітуння від останнього при завершенні функціонування. NCAP може вико-

ристовуватися як контролер вузла в багатовузловій мережі. Він може також обмінюватися даними з іншими NCAP.

Незалежний інтерфейс ТП являє собою 10-ти розрядну шину, побудовану на базі протоколу послідовного синхронного інтерфейсу SPI, який широко використовується для різних сенсорів. Аналогічно SPI, ТП — інтерфейс також має 8-ми розрядну шину даних [9].

УПЧК-1 підтримує інтерфейс SPI, перетворює частотний сигнал у цифровий і може містити таблицю електронної специфікації сенсора (TEDS) у внутрішній флеш-пам'яті. Такий підхід дозволяє створювати IEEE 1451-сумісні інтелектуальні сенсори і перетворювачі з можливістю самоадаптації при мінімально можливих апаратних витратах. УПЧК-1 може бути виконаний разом із сенсором на одному кристалі (при використанні кремнієвих КМОП-інтегральних технологій), а також у вигляді вбудованого мікро модуля при використанні гібридних технологій.

У багатьох сенсорних системах використовується також альтернативна архітектура з'єднання інтелектуальних сенсорів і сенсорних мереж, які, в свою чергу, керуються системами більш високого рівня [9]. При такому підході кожний сенсорний модуль повинен містити УПЧК-1. Переваги такого підходу полягають в тому, що обробка вимірювального сигналу переважно виконується самим сенсором, а потім

інформація передається до інших модулів більш високої ієрархії за допомогою стандартних шин, наприклад, I²C, яку також підтримує УПЧК-1. Така архітектура виправдовує себе і при побудові безпроводних сенсорних мереж.

Таблиця електронної специфікації (TEDS) частотних сенсорів

Вбудовані специфікації TEDS є найбільш популярними компонентами і ключовими елементами всього сімейства стандартів IEEE 1451. Технологія TEDS усуває необхідність використання калібрувальних таблиць сенсора, оскільки всі необхідні параметри, такі як масштабні коефіцієнти, калібрувальна інформація, а також інформація про виробника, можуть зберігатися в EEPROM пам'яті УПЧК-1, що, безсумнівно, спростить конфігурацію сенсора і усуне можливі джерела помилок. Використання TEDS спрощує процес вимірювань і робить його більш ефективним, надійним і швидким.

Однак, структура TEDS для частотних сенсорів повинна також містити специфічні параметри, а саме: діапазон частот і відносну похибку квантування. Такі дані можуть розташовуватися в розширеній частині таблиці. Приклад таблиці електронної специфікації (TEDS) частотного сенсора тиску з частотним виходом показаний у таблиці 1.

Таблиця 1

Можлива структура IEEE 1451.4 TEDS таблиці електронної специфікації сенсора тиску з частотним виходом

Структура TEDS	Приклад сенсора тиску з частотним виходом	
Базова таблиця TEDS	Ідентифікатор виробника ID	19
	Модель ID	5117
	Літера версії	A
	Порядковий номер	00639F
Стандартна і розширена таблиця TEDS (поля змінюються у відповідності до типу сенсора)	Дата калібрування	8 лютого 2005
	Діапазон вимірювання	1000 psia
	Мінімальна частота на виході сенсора	30 кГц
	Максимальна частота на виході сенсора	42 кГц
	Зведена відносна похибка, %	0.01 %
	Похибка квантування	0.001 %
	Температурна чутливість	± 0.005 %/°C
	Час відгуку	3 мс
Експлуатаційне поле	Розташування сенсора	B35-2
	Калібрування дійсне до	17 вересня 2009

Завдяки адаптивним можливостям УПЧК-1 і інтелектуальним сенсорам на його основі, похибка квантування може динамічно змінюватися в залежності від алгоритму вимірюван-

ня, забезпечуючи тим самим можливість самоадаптації сенсора, наприклад, якщо вимірювана величина — тиск — змінюється різко (при функціонуванні сучасних газопроводів).

У цьому випадку, відповідно до алгоритму вимірювання, доцільно встановити похибку квантування 1 %, зробивши її більше, ніж похибка самого сенсора, зменшивши, таким чином, час вимірювання до мінімально можливого, що дозволить системі управління швидко прийняти рішення для запобігання аварійної ситуації. При нормальному режимі похибка квантування повинна бути зменшена до 0,001 %, щоб нею можна було знехтувати у порівнянні з похибкою самого сенсора.

Все сказане також справедливо і для так званих віртуальних TEDS, що зберігаються не в самих сенсорах, а існують у вигляді окремих файлів для конкретних моделей сенсорів, до яких звертається вимірювальна система при конфігурації вимірювальних каналів і оцінці загальної похибки системи.

IEEE 1451.4 змішаний інтерфейс для частотних сенсорів

Стандарт IEEE 1451.4 був прийнятий наприкінці 2004 року. З того часу різними світовими виробниками було розроблено та випускається більш ніж 3200 різноманітних сенсорів та вимірювальних систем згідно цьому стандарту [10].

Відповідно до стандарту IEEE 1451.4 інтелектуальний TEDS сенсор включає змішаний інтерфейс для аналогового (вимірювального) і послідовного цифрового (для доступу до інформації, записаної в TEDS таблиці) сигналів. При використанні частотних сенсорів замість аналогових, мультимпровідний інтерфейс другого класу може мати структуру, показану на рис.3.

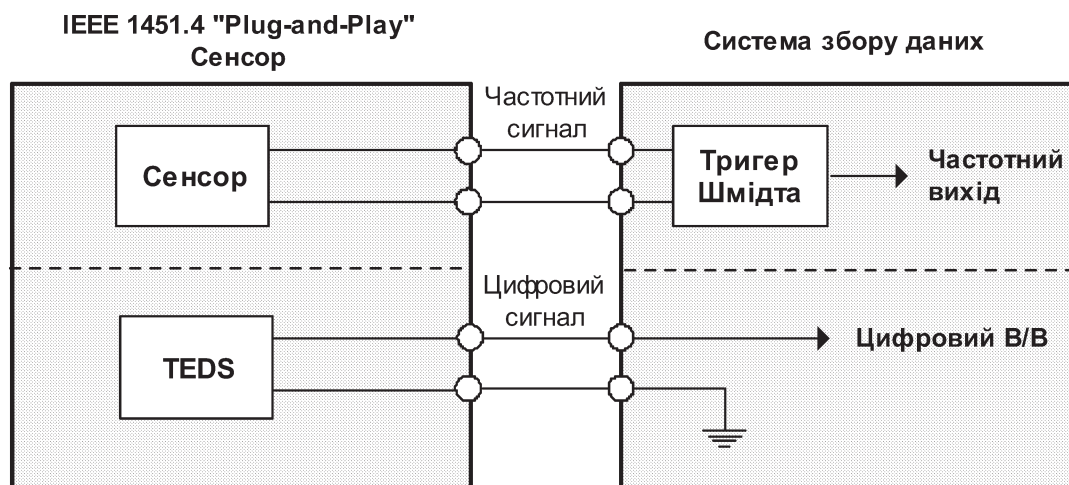


Рис. 3. Мультимпровідний інтерфейс другого класу для частотних сенсорів

У запропонованій архітектурі цифрова частина змішаного інтерфейсу аналогічна стандартному інтерфейсу другого класу. Аналогова ж частина замінена квазіцифровою (частотною). Інтелектуальні частотні сенсори з таким інтерфейсом вимагають сумісну зі стандартом IEEE 1451.4 систему збору даних частотних сенсорів або вимірювальну систему. Конфігурація таких систем є досить трудомісткою задачею, оскільки такі системи можуть містити до тисячі різних сенсорів. Близько 20 % загальної вартості розробки більшості систем — це витрати на конфігурацію і налагодження апаратної частини. Однак, як було показано раніше, на сьогоднішній день відсутні системи збору даних частотних сенсорів, здатних працювати із широким діапазоном доступних, сучасних, прецизійних промислових

сенсорів з частотним виходом [11]. Сумісна зі стандартом IEEE 1451.4 система збору даних частотних сенсорів також повинна базуватися на нових вимірювальних технологіях. УПЧК-1 може також використовуватися для побудови таких систем, забезпечуючи при цьому мінімально можливі апаратні витрати і високі метрологічні характеристики. Розроблений інтегральний перетворювач має два вимірювальних канали і може працювати у 16-ти вимірювальних режимах. Крім частоти УПЧК-1 може вимірювати період, шпаруватість, коефіцієнт заповнення, фазовий зсув між двома імпульсними послідовностями, часовий інтервал між старт- і стоп-імпульсами, тривалість імпульсу і паузи, різниці і відношення двох частот або періодів, швидкість обертання і число імпульсів [5-7].

Переваги адаптації і використання стандарту IEEE 1451 у промисловості

Наявність доступного на ринку УПЧК-1 дозволяє розширити використання стандарту IEEE 1451 на різні сенсори частотно-часової групи. Практично будь-який доступний промисловий частотний сенсор може бути використаний у відповідності зі стандартом IEEE 1451.4. УПЧК-1 не тільки перетворює частотно-часові параметри сигналів у цифровий код і реалізує комунікаційні функції відповідно до популярних, широко використовуваних для різних сенсорів інтерфейсів RS-232, SPI і I²C, але також може зберігати таблицю електронної специфікації сенсора у вбудованій флеш-пам'яті.

Разом з такими перевагами сенсорів, сумісних зі стандартом IEEE 1451, як самоідентифікація, простота конфігурації, калібрування й експлуатації, користувач також одержує розширення інтелектуальних можливостей сенсорів, а саме самоадаптацію, а також усі переваги частотного сигналу як інформативного параметра сенсора. У свою чергу, виробники різних сенсорів одержують унікальну можливість випускати IEEE 1451-сумісні сенсори з мінімальними апаратними витратами. Відпадає також необхідність думати про точність і методи вимірювання частотно-часових параметрів. Один компонент — УПЧК-1 — виконує три основні функції інтелектуального перетворювача: перетворення частотно-часових параметрів в код, збереження таблиці електронної специфікації TEDS і комунікаційні функції. УПЧК-1 може бути легко інтегрований в будь-який існуючий частотний сенсор завдяки інтегральним або гібридним технологіям. На його базі також можуть бути створені різні системи збору даних і інформаційно-вимірювальні системи, сумісні зі стандартом IEEE 1451. Завдяки цьому виробники інтелектуальних сенсорів отримують додатково 15-20 % світового сенсорного ринку, який до появи УПЧК-1 не був залучений до процесу стандартизації. Розробка IEEE 1451-сумісних сенсорів стає швидкою, недорогою та ефективною. Крім того, виробники сенсорів можуть використовувати УПЧК-1 для виробництва традиційних цифрових сенсорів з виходами відповідно до RS-232, SPI і I²C інтерфейсів.

Висновки

Проста адаптація і розширення стандарту IEEE 1451 для роботи з сенсорами частотно-часової групи дозволить виробникам інтелектуальних сенсорів швидко налагодити випуск недорогих IEEE 1451-сумісних інтелектуальних сенсорів, перетворювачів і систем збору та обробки даних. Такий підхід до проектування вимагає використання тільки одного універсального компонента — УПЧК-1, який може виконувати три основні функції інтелектуального перетворювача: перетворення частотно-часових параметрів в код, збереження таблиці електронної специфікації TEDS і комунікаційні функції відповідно до популярних сенсорних інтерфейсів.

УПЧК-1 може бути вбудований також у будь-які існуючі частотні сенсори за допомогою інтегральних або гібридних мікроелектронних технологій.

Згідно аналізу, який був виконаний міжнародною асоціацією IFSA (International Frequency Sensor Association) у 2005 році, частина світового ринку сенсорів частотно-часової групи складає 15-20 % [3]. Оскільки дотепер випускалися тільки аналогові інтелектуальні сенсори у відповідності до стандарту IEEE 1451, то можна прогнозувати з великою імовірністю, що частка інтелектуальних сенсорів частотно-часової групи також буде складати приблизно 15-20 %.

Література

1. Standardization. IEEE 1451 Smart Transducer Interface at Sensors Web Portal (<http://www.sensorsportal.com/HTML/standard.htm>)
2. Kirianaki N.V., Yurish S.Y., Shpak N.O., Deynega V.P. Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors. — Chichester, UK: John Wiley & Sons. — 2001. — 280 p.
3. Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Myshkin I.L. World sensors and MEMS markets: analysis and trends // Sensors and Transducers Magazine. — 2005. — V.62, № 12. — P.456-461.
4. Potter D. IEEE P1451.4's plug-and-play sensors // Sensors Magazine. — 2002. — №12.
5. Universal frequency-to-digital converter (UFDC-1). Specification and application note. — 2004. (http://www.sensorsportal.com/HTML/E-SHOP/PRODUCTS_4/UFDC_1.htm)
6. Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Pallas-Areny R. Universal frequency-to-digital converter for quasi-dig-

- ital and smart sensors: specification and applications //Sensor Review. — 2005. — V.25, №2. — P.92-99.
7. Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Pallas-Areny R. Low-cost precision universal programmable frequency-to-digital converter //Proceedings of IFAC workshop on programmable devices and systems (PDS'2004) / Cracow, Poland — 2004. — P.70-75.
 8. Johnson R.N. Building plug-and-play networked smart transducers //Sensors Magazine. — 1997. — P.40-61.
 9. Zhou J., Mason A. Communication buses and protocols for sensor networks //Sensors. — 2002. — №2. — P.244-257.
 10. National Instruments and Leading Sensor Vendors Release More Than 3,200 TEDS Smart Sensor Products (<http://news.thomasnet.com/companystory/468384>)
 11. Кирианак Н.В., Юриш С.Ю. Информационно-измерительная система сбора и обработки сигналов частотных датчиков //Датчики и системы. — 2004. — №12. — С.2-5.