

УДК 621.317:006.354

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ И АРХИТЕКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СООБЩЕНИЕ 1

В настоящем сообщении рассматриваются вопросы разработки концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов. Дано определение понятию «архитектура».

Показана зависимость архитектуры средств измерений от физического принципа измерений, метода измерений, решаемой измерительной или метрологической задачи, математической модели объекта измерений, системных требований к создаваемому средству измерений и существующих стандартов. Приведены конкретные варианты архитектур сенсоров и измерительных каналов.

Констатируется, что архитектура измерительного канала должна быть выбранной такой, чтобы обеспечить заданное качество измерений или измерительного преобразования физических величин.

Главный смысл концепции построения состоит в строгом выполнении требований технического задания на разработку измерительной системы или прибора или их составных частей (сенсоров, измерительных каналов и т.д.) с позиции системного подхода, использования максимального числа стандартизированных блоков и элементов, а также существующих стандартов. Установлено и приведено двенадцать концепций создания сенсоров.

Ключевые слова: концепция, архитектура, измерительные системы, приборы

V.T. KONDRATOV

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

WORKING OUT OF THE CONCEPT OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE MEASURING SYSTEMS AND DEVICES FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF THE CONDITION PHYSICAL AND BIOLOGICAL OBJECTS THE MESSAGE 1

Abstract — In the present message questions of working out of the concept of construction and architecture of measuring systems and devices for the diagnostics of a condition of physical and biological objects are considered. Definition is made of concept «architecture».

Dependence of architecture of measuring apparatuses on a physical principle of measurements, method of the measurements, solved measuring or metrological problem, mathematical model of object of measurements, system requirements to a created measuring apparatus and existing standards is shown. Concrete variants of architecture of sensor controls and measuring channels are resulted.

It is ascertained, that the architecture of the measuring channel should be chosen such to provide the set quality of measurements or measuring transformation of physical quantities.

The main sense of the concept of construction consists in strict performance of requirements of the technical task on working out of measuring system or the device or their components (sensor controls, measuring channels etc.) from a position of the system approach, use of the maximum number of the standardized blocks and elements, and also existing standards. It is established and resulted twelve concepts of creation of sensor controls.

Keywords: the concept, architecture, measuring systems, devices.

Введение

В нижеприведенном и последующих сообщениях рассматриваются вопросы разработки концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов. В литературе эти вопросы рассмотрены не достаточно полно ввиду большого разнообразия толкования данных понятий, сложности формулирования той или иной концепции и сложности сравнения архитектур измерительных систем, приборов, их основных функциональных блоков и операционных систем. Рассмотрение концепций построения и архитектур измерительных систем и приборов начнем с определений.

Что такое концепция? Концепция (от латинского «conceptio» — понимание, система), — определенный способ понимания, трактовки каких либо явлений, основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; ведущий замысел, конструктивный принцип различных видов деятельности [1].

Под концепцией построения измерительных систем и приборов мы будем понимать генеральную точку зрения, характеризующую научную доктрину и современную стратегию действий по осуществлению проектов по экспресс-диагностики состояния биологических и физических объектов на основе общенаучной методологии системного подхода, современных методов измерений, программно-технического обеспечения проектов с использованием современных средств вычислительной техники: микропроцессоров, микроконтроллеров (МК), микроконверторов, аналого-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей и т.д.

Архитектурой измерительных систем и приборов называется их обобщенное формализованное описание, включающее описание сенсоров, измерительных каналов, АЦП и ЦАП, микроконтроллеров, микрокон-верторов и микропроцессоров, функциональных (пользовательских) возможностей

программирования, системы команд управления коммутационным, измерительным и вычислительным процессами, системы адресации, организации операционных систем, оперативной и постоянной памяти и т.д.

По большому счету архитектура систем и приборов не предусматривает анализ внутренних связей, а отображает только их особенности, состав, общие и специальные требования к ним, функции программно-технических средств. Для лучшего понимания концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов, анализа и обобщения полученной информации, будем представлять составные функциональные блоки измерительных систем и приборов в виде структурных или функциональных схем.

Объект исследований — концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов.

Предмет исследований — концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс-диагностики

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с современной концепцией построения и архитектурой измерительных систем и приборов.

Результаты исследований

Что определяет архитектуру измерительных систем и приборов?

Архитектуру измерительных систем и приборов определяют:

архитектуры первичных измерительных преобразователей, линий связи, мер и стандартных образцов свойств и состава веществ и материалов;

архитектуры формирователей физических величин, коммутаторов и переключателей (аналоговых мультиметров), архитектура мультиметров цифровых сигналов;

архитектуры измерительных каналов (ИК) (со структурой разомкнутого типа или замкнутого типа с положительными, отрицательными и комбинированными обратными связями), число каналов;

архитектуры АЦП и ЦАП и их местоположение (встроенные и внешние), количество, типы, способы текущего контроля заданных значений метрологических характеристик;

конструктивно-технологические решения сенсоров, линий связи, АЦП, ЦАП и ИК (с экранированием, с термостатированием, водонепроницаемые, ударопрочные, теплопрочные и т.п.);

архитектура микропроцессоров, микроконтроллеров и микроконверторов и интерфейсов связи с периферийными устройствами;

способы, схемы и особенности включения микропроцессоров, микроконтроллеров и микроконверторов, способы обмена информацией между ними, конфигурации, платформы и т.д.;

стандарты связи микропроцессоров, микроконтроллеров и микроконверторов с периферийными устройствами;

алгоритмы программно-технического обеспечения функционирования измерительных систем и приборов (прикладное и системное), в том числе: а) процессом измерительного преобразования физических величин, аналого-цифрового преобразования, запоминания, предварительной обработки; б) процесса обработки данных (в реальном времени или по окончании измерений); в) обеспечение сервисных задач (визуализации данных и результатов обработки, сигнализации, напряжения питания, значений входных измеряемых величин, контроль параметров измерительного канала с сенсором, его метрологической надежности и т.д.); г) управлением состояния сенсора и/или ИК (значениями параметров); д) управление работой исполнительных механизмов (актуаторами, коммутаторами и т.п.), е) режимами работы и т.п.; способы и стандарты синхронизации всех функциональных блоков во времени; способы привязки к календарному и реальному времени.

На архитектуру измерительных систем и приборов влияет и характер входных величин (независимо от их физической природы), который отражается в следующих признаках [2]:

количество величин;

поведение во времени: неизменное или изменяющееся;

расположение в пространстве: сосредоточенное или распределенное;

представление величин: дискретное или непрерывное;

энергетический признак: активность, пассивность;

характер помех, суммирующихся с измеряемой физической величиной: независимые и зависимые шумы и помехи.

Рассмотрим более подробно все аспекты, определяющие архитектуру измерительных систем и приборов.

Аспекты, определяющие архитектуру измерительных систем и приборов

1. **Первичные измерительные преобразователи** — сенсоры электрических или неэлектрических величин.

Архитектура сенсоров зависит от: используемого принципа преобразования физических величин направленного и ненаправленного действия, наличия приписываемой объекту измерений математической модели, вида функции преобразования сенсора, достигаемых технических и метрологических характеристик, способов включения сенсоров, количества сенсоров для преобразования физических величин одной или разной физической природы, пространственно-временной структуры расположения сенсоров (сосредоточенной или распределенной в пространстве); конструктивного исполнения

(водовлагодонепроницаемые, ударопрочные, теплопрочные и т.п.); конструктивно-технологических методов защиты от воздействия внешних дестабилизирующих факторов (экранирование, термостатирование, герметизация) и т.д.

Приведем несколько примеров. При реализации оптических методов измерений важно установить оптимальную по соотношению «цена/точность» архитектуру оптико-электронного преобразователя.

В качестве примера на рис. 1 приведена структурная схема оптико-электронного преобразователя цифрового рефрактометра [3], архитектура которого зависит от способа объединения двух потоков оптического излучения, поступающих на фотороуприемник с выхода генератора оптического излучения и с выхода кюветы с исследуемой жидкостью. На рис. 1 введены следующие обозначения: 1 — генератор оптического излучения, 2 — фокусирующая линза, 3 — первая вогнутая линза, 4 — диафрагма, 5 — полупрозрачная пластинка, 6 — первое отражающее зеркало, 7 — второе отражающее зеркало, 8 — третье отражающее зеркало, 9 и 10 — первая и вторая треугольные призмы, 11 и 12 — первая и вторая прямоугольные оптические призмы (составляющие призмы Аббе), 13 — кювета с плоскопараллельными стенками, 14 — серый клин, 15 и 16 — первая и вторая составные плоскопараллельные пластины, 17 — прямоугольная оптическая призма, 18 и 19 — вторая и третья вогнутые линзы, 20 — фотоприемник с усилителем.

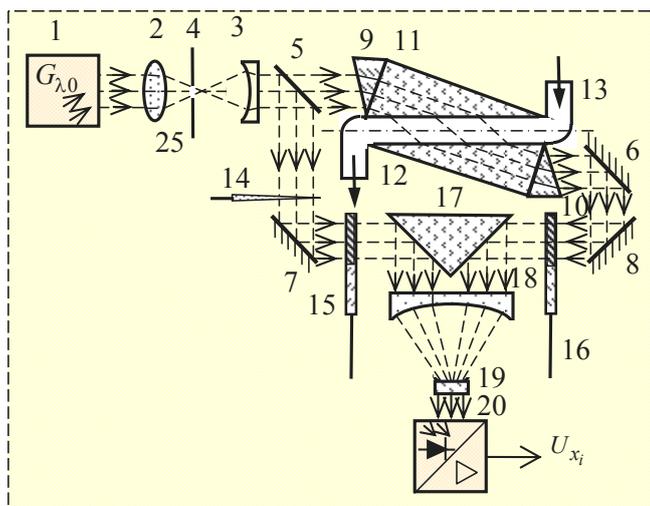


Рис. 1. Структурная схема оптико-электронного преобразователя цифрового рефрактометр

Управление перемещением серого клина 14 и составных плоскопараллельных пластин 15 и 16 осуществляется по команде с микроконтроллера (на рис. 1 не показано). Коэффициент преломления определяется согласно уравнению измерений

$$n_D = \frac{\lambda_0}{k \cdot h_0 \cdot \cos\psi} \varphi_x, \quad (1)$$

где λ_0 — длина волны когерентных потоков оптического излучения, на которой осуществляется измерения; ψ — угол падения потока оптического излучения, заданный с высокой точностью; h_0 — толщина (прослойка) исследуемого вещества; φ_x — фазовый сдвиг между двумя сведенными потоками оптического излучения; k — коэффициент пропорциональности ($k = 4\pi$). Работа цифрового рефрактометра подробно описана в работе [3].

Второй способ объединения двух потоков оптического излучения, поступающих на фотороуприемник с выхода генератора оптического излучения 1 и с выхода кюветы 13 с исследуемой жидкостью, приведен на рис. 2. В этом случае архитектура оптико-электронного преобразователя цифрового рефрактометра упрощается, содержит на три оптических элемента меньше, чем приведенная на рис. 1, сохраняя выбранный метод измерения коэффициента преломления.

Следовательно, архитектура оптико-электронного преобразователя зависит от принципа измерений и способа организации оптической части преобразователя и его связи с фотоприемником 17.

На рис. 3 приведена структурная схема оптико-электронного преобразователя цифрового радиометра с каналом визуализации объекта исследований, где [4]: 1 — зеркальная оптическая система; 2 и 3 — первая и вторая шторки; 4 — черное тело (источник инфракрасного излучения с нормованной по значению мощностью); 5 и 6 — первая и вторая полупрозрачные пластинки; 7 — отражающее зеркало; 8 — диафрагма; 9 — термостат с фотоприемником 10; 11 — микрообъектив; Φ_x и Φ_0 — исследуемый и опорный потоки оптического излучения, РУ — ручное управление.

В данном случае архитектура оптико-электронного преобразователя усложняется требованием обеспечения наведения радиометра на объект измерений. Поэтому дополнительно введен канал визуализации, который образуют оптические элементы 11, 7, 6, 5 и 1.

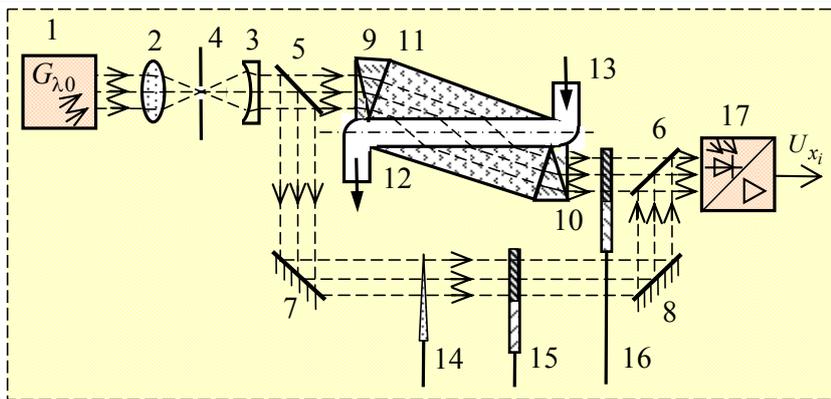


Рис. 2. Структурная схема опто-электронного преобразователя цифрового рефрактометра

В основу метода положено измерение мощности потока инфракрасного излучения от нагретого объекта, которая связана с температурой по закону Стефана-Больцмана:

$$\Phi_x = \tau \cdot S \cdot R_T = \tau \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_x^4 = k_x \cdot T_x^4, \quad (1)$$

де Φ_x — мощность потока инфракрасного излучения объекта измерений; τ — коэффициент прозрачности атмосферы (определяется экспериментально); S — площадь объекта исследований (определяется экспериментально); ε — относительная излучающая способность объекта (выбирается из справочной технической литературы); $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$ — постоянная излучения; R_T — интегральная плотность излучения; T_x — температура объекта измерений; $k_x = \tau \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \sigma$ — коэффициент пропорциональности.

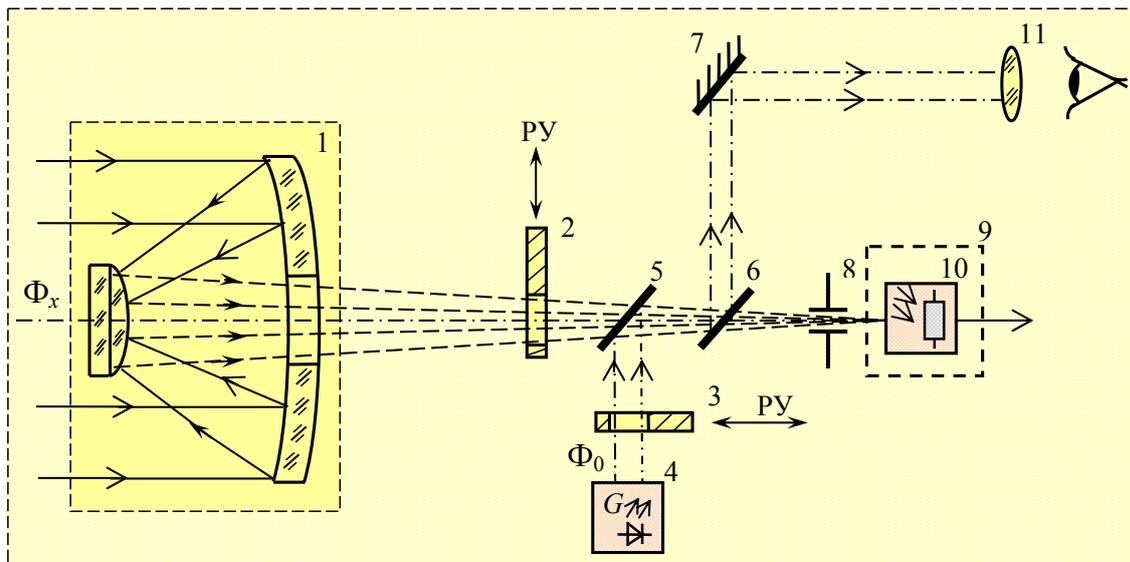


Рис. 3. Структурная схема опто-электронного преобразователя цифрового радиометра

О действительном значении температуры судить согласно уравнению избыточных измерений

$$T_x = T_0 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{k_x \cdot k_{\Pi}} \cdot \sqrt[4]{\frac{U_3 - U_1}{U_3 - U_2}}}. \quad (2)$$

где U_1 , U_2 и U_3 — напряжения, пропорциональные мощности потоков оптического излучения сформированных определенным образом; T_0 — нормированная по значению температура, определяемая при нормированной по значению мощности потока оптического излучения Φ_0 ; k_{Π} и k_x — коэффициенты пропорциональности.

При разработках приборов для медицины и физиологии требования к архитектуре сенсоров могут существенно отличаться от требований к сенсорам промышленного назначения. Рассмотрим некоторые варианты архитектуры опто-электронных преобразователей для изучения явления фотосинтеза хлорофилла в листьях растений и изучения процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека.

Явление фотосинтеза характеризуется изменением во времени процесса флуоресценции хлорофилла, которое возникает после облучения адаптированных к темноте листов растения в течение заданного интервала времени потоком ультрафиолетового оптического излучения заданной длины волны.

Переходной процесс сопровождается изменением интенсивности флуоресценции за время облучения и называется эффектом Каутского (Kautzky). Он отображается кривой Каутского [5, 6].

На рис. 5 наведена структурная схема оптоэлектронного преобразователя прибора для определения явления фотосинтеза хлорофилла в листьях растений (кривой Каутского). Здесь 1 — термостат, 2 — нагревательный элемент; 3 — объект исследований (листок растения); 4 — сенсор температуры; 5 — оптический фильтр; 6 — источник ультра-фиолетового оптического излучения; 7 — фотоприемник [5, 6]. Исследования ученых показали, что повышение температуры выше 40 °С приводит к появлению термоиндукции хлорофилла. Для исключения влияния данного эффекта на процесс флуоресценции хлорофилла во времени исследования необходимо проводить в диапазоне температур от 30 °С до 40 °С. При других температурах окружающей среды необходимо осуществлять термостатирование объекта исследований (листка растений). В противном случае результаты исследований будут недостоверны.

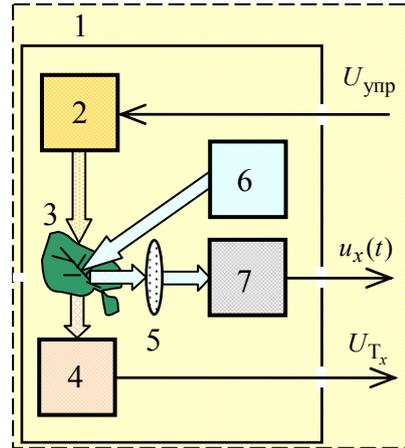


Рис. 5. Структурная схема оптоэлектронного преобразователя

Конструктивно термостатировать только листок растения не представляется возможным. Поэтому архитектура оптоэлектронного преобразователя предусматривает термостатирование как листка 3 растения, так и фотоприемника 7, оптического фильтра 5 и сенсора температуры 4 (см. рис. 5). Последний используется для контроля температуры внутри термостата 1 и расположен в непосредственной близости к объекту исследований 3.

Наличие термостата 1, выполненного, например, в виде некоторого полугерметичного корпуса, обеспечивает защиту объекта исследований и от непосредственного действия воды, и от механических повреждений.

В целом данная архитектура оптоэлектронного преобразователя обеспечивает выигрыш в точности измерений [6].

При медицинских исследованиях архитектура сенсоров зависит от медицинских требований, выполнение которых обязательно для разработчиков аппаратуры. Так, например, при решении задачи создания цифрового измерителя параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека и параметров кривой микрогемодинамики была разработана архитектура сенсорной головки, в состав которой вошли два генератора оптического излучения (ГОИ1 и ГОИ2) с длинами волн λ_1 и λ_2 , фотоприемник (ФП), два управляемых источника тока (УИТ1 и УИТ2), триггер управления (Тг) и манжета (М) (см. рис.7).

Заметим, что неинвазивный метод определения параметров процессов микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека предусматривает формирование потоков красного и инфракрасного излучения с длинами

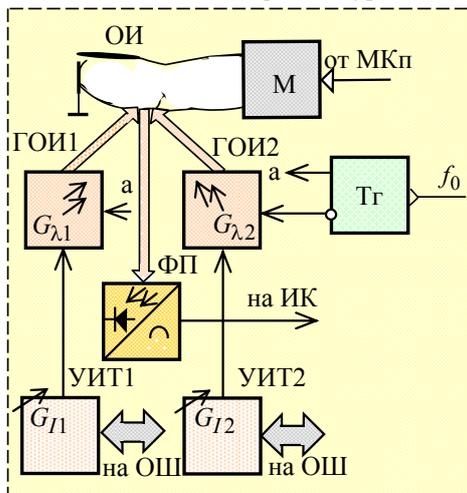


Рис. 6. Сенсорная головка цифрового измерителя параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека и параметров кривой микрогемодинамики

волн λ_1 и λ_2 , поочередное воздействие ими на те или иные пальцы правой и/или левой руки человека в течение заданного интервала времени $\Delta t_{\Sigma} = (60 - 120) \text{ с}$, в течение которого осуществляется поглощение потоков оптического излучения не окисленным гемоглобином крови и меланином [7]. При этом процесс измерения мощности потоков оптического излучения осуществляется при практически мгновенном передавливании сосудов пальца граничным давлением P_T в пределах 100 мм. рт. ст. – 500 мм. рт. ст., с целью перекрытия пути крови через сосуды (артерии и вены) пальцев (микроциркуляторных русел) и после снятия давления. Для создания локального давления используется манжета, как неотъемлемая часть сенсорной головки.

Архитектура сенсорной головки предусматривает: управление мощностью генераторов оптических излучений, управление процессом передавливания сосудов пальца, поочередное (с частотой f_0) воздействие потоков оптического излучения разной мощности и разных длин волн и контроль за состоянием микроциркуляторного русла. Даже заземление кончика пальца дало возможность уменьшить воздействие элек-тромагнитных помех на входные цепи фотоприемника.

Для исследований механических свойств сосудистой системы человека было разработано

техническое решение цифрового измерителя, в котором использована сложная по архитектуре сенсорная головка (см. рис. 7).

На рис. 7 введены следующие обозначения: 1 — стетоскоп; 2 — воздуховод; 3 — дифференциальный индуктивный сенсор механических колебаний сосудов человека; 4 — согласующий трансформатор; 5 — мембрана из магнитомягкого материала; 6 — переменный резистор; 7 — опора демпфера; 8 — усилитель переменного тока; 9 — токоуправляемый демпфер; 10 — согласующий усилитель напряжения с парафазным выходом; 11 — компаратор напряжения, формирующий короткие импульсы, соответствующие моментам времени перехода через нуль низкочастотного сигнала (для последующего определения фазового сдвига сигналов); 12 — усилитель тока.

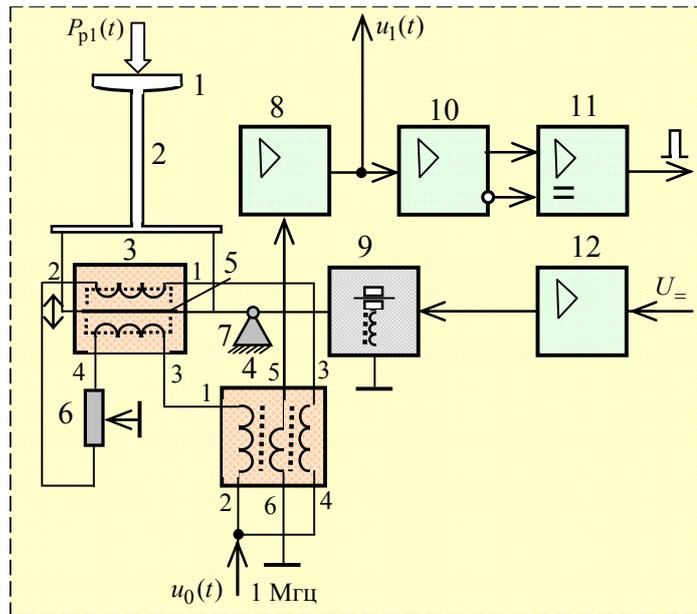


Рис. 7. Функциональная схема сенсорной головки

Его особенностью является использование токоуправляемого демпфера 9 для исключения дрейфа нуля выходного сигнала и согласующего трансформатора 4, образующего, совместно с дифференциальным индуктивным сенсором механических колебаний мостовую схему включения чувствительного элемента (мембраны 5).

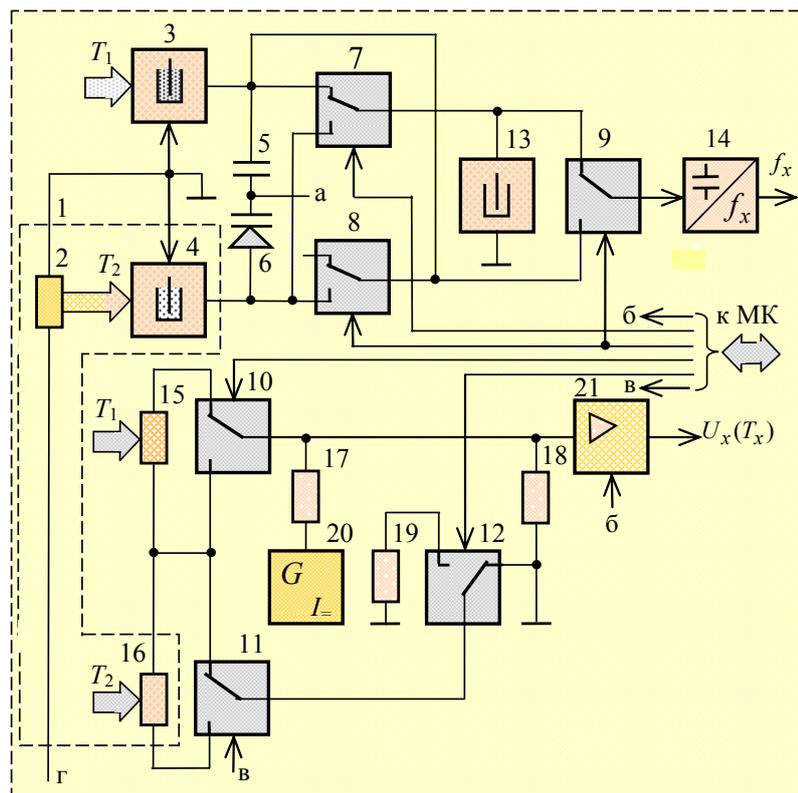


Рис. 8. Первичный измерительный преобразователь влажности сыпучих материалов с цифровыми выходами

Это позволило увеличить чувствительность к механическим пульсациям сосудов человека малой амплитуды и осуществить гальваническую развязку постоянного и переменного сигналов.

При преобразовании пульсаций крупных артерий и вен возникла необходимость модернизации сенсора

с целью уменьшения дрейфа нуля. Для этой цели архитектура дифференциального индуктивного сенсора была дополнена блоком демпфирования 9, связанного с ЦАП МК через согласующий усилитель тока 12.

Предложенная архитектура сенсорной головки (рис. 7) позволила увеличить чувствительность, расширить динамический диапазон преобразуемых пульсаций сосудов и уменьшить дрейф нуля.

При косвенных и избыточных измерениях архитектура первичных измерительных преобразователей усложняется за счет использования нескольких сенсоров, разных принципов измерения ряда однородных или разнородных физических величин.

Рассмотрим архитектуру первичного измерительного преобразователя (рис. 5) цифрового измерителя влажности сыпучих материалов, описанного в работе [8]. На рис. 8 приведена функциональная схема первичного измерительного преобразователя, где: 1 — термостат; 2 — резистивный нагреватель; 3 и 4 — первый и второй емкостные (рабочие) сенсоры влажност-и; 5 — стабильный конденсатор; 6 — варикап;

7, 8, 9, 10, 11 и 12 — первый, второй, третий, четвертый пятый и шест-той автоматические переключатели; 13 — третий (пассивный) емкостной сенсор влажности; 14 — преобразователь «ем-кость – частота»; 15 и 16 — первый и второй сенсоры температуры; 17, 18 и 19 — первый, второй и третий резисторы; 20 — источник стабильного тока; 21 — согласующий усилитель.

Первичный измерительный преоб-разователь влажности сыпучих материа-лов состоит из соединенных определен-ным образом двух активных емкостных сенсоров (3 и 4), одного пассивного емкостного сенсора (10), преобразователя «емкость – частота» (14), двух резистив-ных датчиков температуры (15 и 16), ге-нератора тока 20, согласующего усили-теля 21, элементов управления (варика-па 6, автоматических переключателей 7 – 12) и резисторов 17 – 19.

Такая архитектура позволяет ре-шить задачу измерения влажности сыпучих материалов с учетом температуры окружающей среды и ее влияния на результат измерений. Достигнутые результаты подробно описаны в работе [8].

Следовательно, архитектура сенсоров зависит от многих факторов, которые необходимо учитывать при решении поставленной измерительной или метрологической задачи. К числу этих факторов относятся и дополнительные требо-ваний по учету условий эксплуатации измерительной системы или прибора. Доказательством тому являются вышепри-веденные примеры архитектур сенсоров разного принципа работы и применения.

Использование поисковых систем и рекомендаций по выбору сенсоров, предоставляемых производи-телями, в сочетании с фундаментальными знаниями о типовых архитектурах сенсоров, могут помочь разработ-чику правильно выбрать архитектуру сенсора для решения поставленной задачи.

В ряде случаев решение измерительных или метрологических задач зачастую требует разработку новых сенсоров, учитывающих особенности объекта измерений и решаемой задачи в целом. В данном случае целесооб-разно, на наш взгляд, придерживаться определенных принципов и концепции создания таких сенсоров. Так, напри-мер, при создании сенсоров целесообразно использовать принцип подобия, принцип симметрии, принцип бритвы Оккама, принцип конгруэнтности, принцип преемственности знаний, принцип целесообразности и другие.

В основу концепции построения сенсоров должно быть положены: а) глубокие знания и понимание сущности выбранного физического эффекта или явления, на базе которых будут созданы новые сенсоры, их достоинства и недостатки, в частности, зависимость физического эффекта или явления от действия внешних факторов окружающей среды и простота их физического воспроизведения; б) системный подход к выбору материала чувствительного и конструктивных элементов сенсора со свойствами, обеспечивающими формирование такой функции преобразования, которая точно описывается аналитическим выражение известного или заданного видов (квадратичной или кубической параболой, логарифмической функцией и т.д.); в) выбор материала чувствительного элемента сенсора с нормировано изменяемыми свойствами; г) простота конструктивно-технологических решений и реализации, а также другие аспекты.

В связи с развитием стратегии избыточных измерений, установлены новые требования к выбору концепции построения сенсоров и к их архитектуре. Во-первых, необходимо знать, какой закон положен в основу выделения измерительной информации об объекте измерений, т.е. приписана ли объекту измерений математическая модель. Во-вторых, нет острой необходимости в создании сенсоров с линейной функцией преобразования, которые, зачастую, не могут обеспечить высокую чувствительность преобразования. Высокочувствительными, как правило, являются полупроводниковые сенсоров с функцией преобразования второго и более высоких порядков. В-третьих, все сенсоры должны создаваться с расширенными функциональными возможностями: 1) при линейной функции преобразования — с нормировано изменяемыми значениями чувствительности и смещения нуля; 2) при нелинейной функции преобразования — с нормировано изменяемыми значениями всех параметров функции преобразования, но прежде всего, линейной составляющей. При этом нет необходимости в обнаружении и выработке ответной реакции сенсора на изменения во внешних условиях посредством самодиагностики, самокалибровки и адаптации. Интеллектуальность заложена в методах и уравнениях избыточных измерений. В-четвертых, априори должны быть сведения о архитектуре и структуре используемых линии связи, измерительного канала (разомкнутого или замкнутого типа, виды обратных связей), аналого-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей. В-пятых, конструкция сенсора должна предусматривать введение дополнительного чувствительного элемента, реа-гирующего только на воздействия внешних дестабилизирующих факторов, но не измеряемой физической вличины, а также введение образцовой меры или стандартного образца (СО) состава и свойств материалов и веществ с соот-ветствующими актюаторами и манипуляторами, обеспечивающими подключение меры или СО к сенсору. В-шес-тых, архитектура сенсора должна предусматривать использование микро- и нанотехнологий, стандартного интер-фейса связи с измерительным каналом. В-седьмых, конструкция сенсора должна быть универсальной и направлена, в первую очередь, на удобства пользователя и оперативной возможности его замены сенсором другого изготовителя.

Системное понимание указанных требований позволит в каждом конкретном случае выработать основную точку зрения и руководящую идею, т.е. разработать концепцию построения и архитектуру тех или иных сенсоров.

На основе вышеизложенного и анализа первоисточников, можно выделить следующие концепции

пост-роения сенсоров:

- 1) методологическая концепция системного подхода и информативной избыточности;
- 2) концепция открытого доступа ко входу сенсора (— возможность измерительного преобразования с той же точностью не только исследуемой физической величины, но и других однородных физических величин, поочередно воз-действующих на вход сенсора, т.е.создание сенсоров с прерываемой функцией связи с объектом);
- 3) концепция создания наносенсоров с гибкой функцией преобразования, например, наподобии функции рас-пределения Кондратова – Вейбулла [9];
- 4) концепция создания чувствительных элементов сенсоров на основе наноразмерных структур и современных нанотопологий их получения [10];
- 5) концепция открытого доступа к управлению параметрами гибкой функции преобразования сенсора с целью нормированного дискретного изменения значений его параметров;
- 6) концепция создания структурно-избыточных наносенсоров с конструированием их функций преоб-разования из кирпичиков «элементарных функций» заданного вида [11], полученных в результате использования наноразмерных структур с известными свойствами;
- 7) концепция метрологического самоконтроля измерительного канала с сенсором [12];
- 8) концепция многофункциональности сенсора (создание многопараметровых сенсоров генераторного типа, полупроводниковых мультисенсоров типа, например, электронный глаз, электронный нос, интеллектуальных сенсоров, сенсоров совмещенных параметров и др.);
- 9) концепция микроминиатюризации сенсоров, например, с использованием технологий создания микроэлектромеханических систем (МЭМС) и микрооптоэлектромеханических систем (МОЭМС) и других [13, 14]);
- 10) концепция функциональной и системной интеграции (концепция системного объединения сенсора с его функциональными возможностями и программно-технических средств, направленная на обеспечение более высокого качества работы сенсора по преобразованию свойств и представлению полученной информации);
- 11) концепция беспроводных «мультисенсорных преобразователей» — новая концепция мультисенсорного решения интеллектуальных первичных измерительных преобразователей, которые включают в одном корпусе множество чувствительных элементов (или сенсоров) и средства для слияния сенсорных данных. Направлена на создание сенсорных узлов и использование в сенсорных сетях [15 – 18].
- 12) концепция построения цифровых сенсоров со встроенными интерфейсами. В качестве примера приведем ИМС LM82. Данная ИМС представляет собой цифровой температурный датчик с двухпроводным последовательным интерфейсом и обеспечивает измерение напряжения и температуры удалённого диода, используя дельта-сигма АЦП с цифровым датчиком превышения рабочей температуры [19].

2. Линии связи

Линии связи предназначены для образования каналов связи между пространственно распределенными сенсорами, исполнительными устройствами и средствами обработки информации. В одной линии связи может быть образовано от одного до нескольких тысяч каналов — все зависит от типа интерфейса, передающего и приемного устройств и среды передачи. Каналы в линии связи образуются путем частотного, временного или кодового уплотнения линии. На рис. 9 приведена классификация линий (каналов) связи по данным работы [20].

Линии связи различаются между собой по физической природе сигнала, передающего информацию (кабельные, ультразвуковые, инфракрасные и радиолнии), по типу (например, проводная, коаксиальная или оптоволоконная), по способу организации связи сенсоров с измерительным каналом (радиальный, магистральный и др.), по способу передачи данных в прямом и обратном направлениях, по способу организации связи с удаленными сенсорами и исполнительными устройствами; техническими и метрологическими характе-ристиками, а также по конструктивно-технологическими методами защиты от воздействия внешних дестабилизирующих факторов.

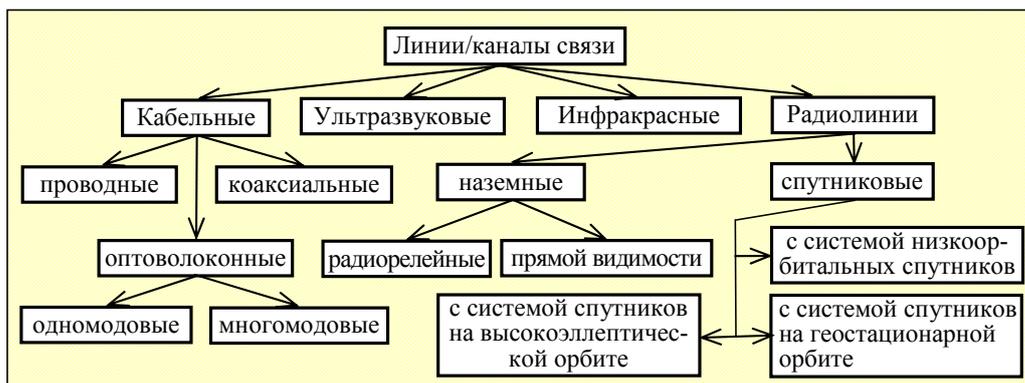


Рис. 9. Классификация линий связи

В измерительных системах чаще всего применяются три основных типа кабеля [20]: кабели на основе скрученных пар медных проводов, коаксиальные кабели с медной жилой и оптоволоконные кабели.

Скрученная пара проводов называется *витой парой*. Витая пара существует в экранированном и неэкранированном вариантах. В первом случае пара медных проводов помещается в изоляционный экран, а во втором экранирующая оболочка отсутствует. Скручивание проводов позволяет компенсировать наводки от внешних помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю. Однако, еще не в полной мере решена проблема повышения энергетической эффективности и помехоустойчивости передачи информации с помощью витой пары и проблема исключения влияния сопротивлений проводов линии связи на результат измерений. Первая решается путем использования экранирующей медной оплетки, а вторая — использованием различных методов компенсации влияния сопротивления или методов избыточных измерений.

Коаксиальный кабель имеет несимметричную конструкцию. Он состоит из внутренней медной жилы и экранирующей медной оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Коаксиальные кабели разных типов отличаются между собой характеристиками и областями применения. Важно правильно обеспечить согласование волнового сопротивления коаксиального кабеля в входным сопротивлением измерительного канала.

Оптоволоконный кабель состоит из тонких (5-60 микрон) волокон, по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля. Он лучше других типов кабелей обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и их защиту от воздействия внешних помех и наводок.

При использовании оптоволоконного кабеля должны быть приняты меры по уменьшению потерь оптического излучения в местах стыковок его с другими оптическими элементами или при переключениях направления передачи оптических сигналов.

Все эти различия, требования и многообразие способов организации связи и определяют архитектуру линии связи и всей измерительной системы или прибора в целом.

3. Меры и стандартные образцы свойств и состава веществ и материалов

Архитектура средств воспроизведения и формирования однородных и нормированных по значению физических величин отличается между собой природой воспроизводимой физической величины, принципами и способами воспроизведения физических величин заданного и нулевого размеров, количеством используемых мер и СО, способами одновременного воспроизведения физических величин двух и более нормированных размеров, способами подключения; требованиями к техническим и метрологическим характеристикам и способами их обеспечения, способами защиты мер и СО от воздействия внешних дестабилизирующих факторов, принципами конструктивно-технологического исполнения мер и СО.

4. Формирователи физических величин

Формирователи физических величин (ФФВ) — устройства, обеспечивающее масштабное преобразование или воспроизведение однородных (и сопряженных) физических величин, преимущественно направленного действия, размеры которых отличаются между собой на нормированное значение. Им могут быть attenuаторы, делители напряжения, полосовые фильтры, фильтры верхних и нижних частот, усилители и другие преобразователи, параметры которых могут быть нормированно изменены. Между собой ФФВ отличаются выполняемыми функциями, техническими и метрологическими характеристиками, конфигурацией, схемотехническим решением, конструктивным исполнением, конструктивно-технологическими методами защиты от влияния внешних дестабилизирующих факторов и т.д. Все это определяет и архитектуру ФФВ.

В качестве примера на рис. 10 приведен ФФВ цифрового измерителя влажности [21], где ЕСВ — линейный емкостной сенсор влажности типа НСН-1000 компании Honeywell, Кл — ключ, АП — автоматический переключатель, СО — стандартный образец опорного конденсатора. Управление ключом и автоматическим переключателем осуществляется от микроконтроллера по определенной программе.

ФФВ обеспечивает поочередное подключение к преобразователю «емкость – напряжение» (на рис. 6 не показан) трех электрических емкостей C_1 , C_2 и C_3 с размерами $\{C_1\} = \{C_x\}$,

$\{C_2\} = \{C_0\}$ и $\{C_3\} = \{C_x\} + \{C_0\}$ с целью измерительного преобразования их в соответствующие напряжения.

Конденсатор с емкостью C_1 подключается к преобразователю «емкость – напряжение» при положениях автоматического переключатель АП и ключа Кл, указанных на рис. 10. Второй конденсатор емкостью C_2 подключается по команде с микроконтроллера МК при положении АП, противоположном указанному на рис. 10. Третий конденсатор емкостью C_3 подключается к преобразователю «емкость –

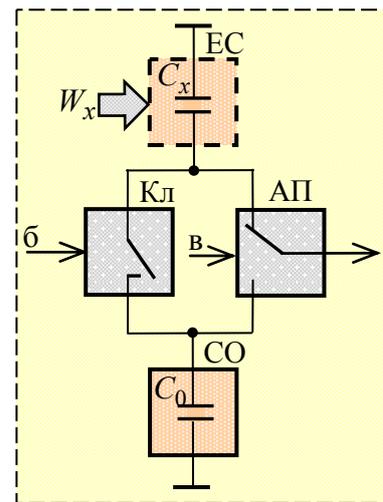


Рис. 10. Формирователь физических величин

напряжение» при замкнутом положении ключа Кл и положении АП, противоположном указанному на рис. 10. Формирование физической величины C_3 с размером $\{C_3\} = \{C_x\} + \{C_0\}$ осуществляется путем параллельного включения конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 . При необходимости можно осуществить последовательное соединение конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 , и таким образом сформировать физическую величину с новым размером.

Аналогично решается задача формирования физических величин в цифровом омметре [22] при использовании резистивных сенсоров (см. рис. 11, а и б). Первый ФФВ, приведенный на рис. 11, а, обеспечивает формирование третьей физической величины (электрического сопротивления) путем последовательного соединения резисторов R_x и R_0 с помощью автоматических переключателей АП1 и АП2. Другой ФФВ (см. рис. 11, б) дает возможность формирования новой физической величины путем параллельного соединения резисторов R_x и R_0 . Возможны архитектуры ФФВ, содержащие согласующий усилитель или делитель напряжения. При этом возможно получение сопротивлений $R_{x1} = k_0 R_x$ и $R_{x2} = R_x / k_0$, и т.д., где k_0 — нормированный по значению коэффициент пропорциональности

5. Коммутаторы и переключатели (аналоговые мультиплексоры)

Коммутаторы и переключатели электрических и/или оптических сигналов — устройства с несколькими сигнальными входами, одним выходом и один или несколькими управляющими входами. Они предназначены для передачи сигнала с одного из входов на выход. Выбор желаемого входа осуществляется подачей соответствующей комбинации управляющих сигналов. Архитектура указанных функциональных элементов известна. Однако на практике приходится сталкиваться с необходимостью создания из стандартных архитектур новой, более сложной архитектуры, обеспечивающей выполнение системы функций.



Рис. 11. Функциональная схема ФФВ

Архитектура нестандартных коммутаторов и переключателей электрических и/или оптических сигналов определяется особенностями их схмотехнической реализации, требованиями по обеспечению заданных технических и метрологических характеристик, видом и количеством коммутируемых сигналов (аналоговых и/или цифровых) и их разрядностью, способом подключения одного или нескольких объектов измерений к сенсору, видом сигнала управления (аналоговый или цифровой), способом управления и синхронизации; особенностями включения и конструктивного исполнения; конструктивно-технологическими методами защиты от воздействия внешних дестабилизирующих факторов и т.п.

На рис. 12 в качестве примера приведена функциональная схема автоматического переключателя с нестандартной архитектурой.

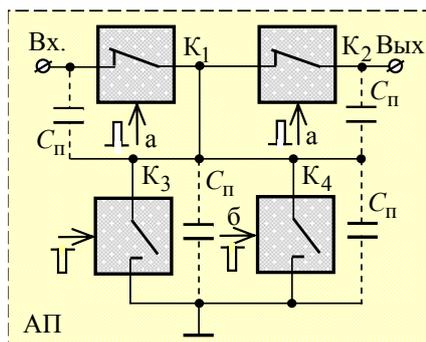


Рис. 12. Схема физической реализации автоматического переключателя

Он выполнен на одной интегральной микросхеме матрицы ключей K_1, \dots, K_4 соединенных, как показано на рис. 12. Управление ключами осуществляется прямоугольными импульсами логического нуля и логической единицы. Приведенная архитектура автоматического переключателя обеспечивает качественную развязку сигналов между входом и выходом при их отключенном состоянии.

Выходная паразитная емкость составного ключа равна удвоенному значению паразитной емкости C_{Π} [21].

6. Мультиплексор цифровой

Мультиплексор — ИМС с несколькими сигнальными цифро-выми входами, одним цифровым выходом и одним или несколькими цифровыми управляющими входами. Он предназначен для передачи многоразрядных цифровых сигналов с входа на выход.

Выбор желаемого многоразрядного цифрового сигнала осуществляется подачей на вход ИМС соответствующей комбинации уп

равляющих цифровых сигналов. Между собой мультиплексоры отличаются техническими и метрологическими характеристиками, типом корпусов (конструктивным исполнением), схемотехническими решениями и производителями.

Архитектура цифровых мультиплексоров в большинстве случаев стандартная. Нестандартные мультиплексоры

собираются из стандартных микросхем. Особенности их схемотехнической реализации, связаны с обеспечением заданных технических и метрологических характеристик, видом и количеством коммутируемых цифровых сигналов и их разрядностью, способом управления и синхронизации, особенностями подключения к иным цифровым функциональным блокам, конструктивно-технологическими методами защиты от воздействия внешних дестабилизирующих факторов и т.п.

7. Измерительный канал

Напомним о существовании четырех видов преобразований, используемых в измерительной технике.

Первичное преобразование, осуществляемое сенсором, — это преобразование величин одной физической природы в величины другой, обычно электрической, природы. Функция преобразования сенсоров в общем случае является нелинейной. Сам сенсор предназначен для восприятия, чувствования и преобразования свойств объекта измерений посредством, например, ощущений, осязаний, обоняний, взаимодействия полей одной или разной физической природы между собой или с веществом и материалом.

Вторичное преобразование — измерительное преобразование величин одной и той же физической природы (чаще электрической) с целью выделения информативного параметра сигнала и его предварительной обработки для получения выходной величины с заданной точностью. В измерительном канале используются от одного до нескольких вторичных преобразователей. Обычно функцию преобразования измерительного канала

устанавливают (формируют) линейной, но в общем случае она является нелинейной.

При описании вторичного преобразования используются такие фундаментальные понятия метрологии, как: уравнение величин, уравнение преобразования, функция преобразования и др.

Третичное преобразование — аналого-цифровое преобразование аналоговых сигналов, полученных в результате вторичного измерительного преобразования с заданным качеством (точностью, быстродействием и т.д.) с целью получения вещественных и метрологических чисел.

Третичное преобразование — это независимая операция, осуществляющая преобразование «пространства физических величин в пространство вещественных или метрологических чисел». В этом случае используются такие фундаментальные понятия метрологии, как: вещественные и метрологические числа, числовое значение величины, размер величины, погрешность преобразования, метрологические числа (априори установленной разрядности и неопределенности), причем не как абстрактные понятия, а как аспекты, тесным образом связанные с измерениями физических величин.

Четвертичным преобразованием называется преобразование цифровых кодов полученной совокупности числовых значений преобразованных величин (вещественных или метрологических чисел) в конечный результат измерений по уравнениям числовых значений, соответствующих одному уравнению прямых измерений или нескольким уравнениям избыточных измерений.

В этом случае используется такое фундаментальное понятие метрологии, как уравнение числовых значений.

Метрологической особенностью данного преобразования является требование обеспечения высокой точности и быстродействия обработки вещественных и метрологических чисел, которая зависят от используемых способов и алгоритмов вычислений, способов усреднения вещественных чисел, способов представления метрологических чисел, программно-алгоритмического обеспечения операций умножения многоразрядных чисел, извлечения квадратного корня и т.д., от числа машинных тактов преобразования, от разрядности данных, тактовой частоты и т.п.

Приведем несколько определений понятию «измерительный канал».

Определение 1 (классическое)

Измерительный канал — совокупность технических средств измерительной системы, которая выполняет законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата измерения,

выраженного числом или соответствующим ему кодом [23].

Данное определение справедливо для измерительных систем и приборов, реализующих методы прямых измерений. В определении некорректно использовано понятие «совокупность технических средств».

В средствах избыточных измерений измерительный канал не осуществляет законченную функцию, а выполняет только функцию поочередного измерительного преобразования некоторой совокупности однородных физических величин. Результат измерений выражается не вещественным, а метрологическим числом.

Предлагается следующее определение понятия «измерительный канал» для средств избыточных измерений.

Определение 2

Измерительный канал (с сенсором и цифровым выходом) — это конечная совокупность функциональных блоков и исполнительных устройств (управления и/или коммутации), находящихся в определенных связях и отношениях друг с другом и с окружающей средой, выполняющий функцию восприятия, как минимум, искомой физической величины и/или физической величины, воспроизводимой мерой (или СО) и три функции измерительного преобразования величин: первичное, вторичное и третичное, направленные на получение числового значения результата измерительного преобразования упомянутых величин в виде цифровых кодов заданной разрядности.

В состав ИК могут входить измерительные преобразователи, согласующие усилители, автоматические переключатели, дискретизаторы сигналов по времени и по уровню, устройства, осуществляющие управление процессом преобразования (в частности, управление параметрами функции преобразования), устройства синхронизации, интерфейсы связи и др.

Функциональные блоки и устройства управления (исполнительные механизмы) осуществляют: согласование выходного сопротивления (импеданса) сенсора с входным сопротивлением (импедансом) усилителя выходного сигнала сенсора; вторичное измерительное преобразование входного сигнала (масштабное преобразование, квадратичное преобразование, логотрическое преобразование, синхронное детектирование, амплитудную, фазовую или частотную модуляцию, дискретизацию, коммутационно-модуляционное преобразование, сравнение, логарифмирование, интегрирование, вычитание сигналов и т.д.) и получение выходного сигнала измерительного канала в аналоговом или цифровом виде, удобном для последующего отображения или обработки.

Ниже, на рис. 13, ..., рис. 22 приведены разные варианты структурных и функциональных схем ИК систем и приборов разной степени сложности.

Так, например, на рис. 13 приведена функциональная схема ИК уравнивания со статической характеристикой, где: УВ — устройство вычитания; ИП — измерительный преобразователь; ИМ — исполнительный механизм (двигатель); АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ОП — обратный преобразователь.

Архитектура ИК предусматривает наличие обратного преобразователя ОП и устройства вычитания УВ. Она представляет классический вариант построения ИК уравнивания.

На рис. 14 приведена функциональная схема ИК с временным разделением входных воздействий, управляемой чувствительностью и мерой. Она может быть использована как при прямых, так и при избыточных измерениях.

Данная архитектура содержит первичный и вторичный измерительные преобразователи и позволяет осуществить прямое преобразование значения входной физической величины в цифровой код. Однако решение задачи повышения точности измерений может быть достигнуто только при реализации методов избыточных измерений.

При удаленном расположении объекта измерений и, соответственно, сенсоров от измерительной системы,

передача данных осуществляется с использованием передающих устройств (рис. 15), — при однонаправленной передаче данных, или приемо-передающих устройств (рис. 16), — при двунаправленной передаче данных (информативных и управляющих сигналов). В этом и состоит отличие архитектуры измерительных каналов.

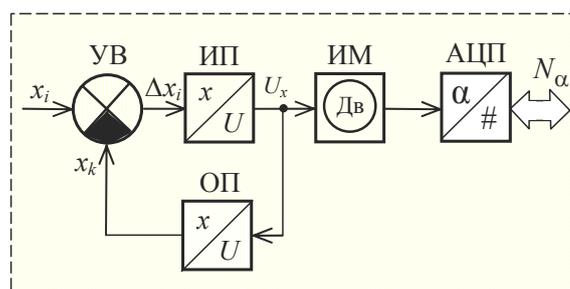


Рис. 13. Функциональная схема ИК уравнивания со статической характеристикой

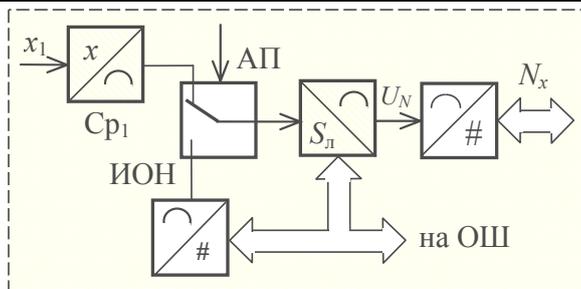


Рис. 14. Функциональная схема ИК с управляемой чувствительностью и мерой

В первом случае для связи цифрового сенсора ЦС с передатчиком используется интерфейс ИФ, а во втором случае он отсутствует. Все определяется требованиями к решаемой задаче и возможностями сенсора.

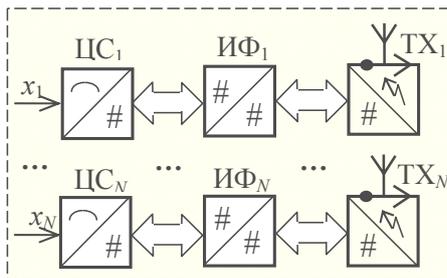


Рис. 15. Функциональная схема системы цифровых ИК с передатчиками, где: ЦС — цифровой сенсор; ИФ — интерфейс; TX — передающее устройство

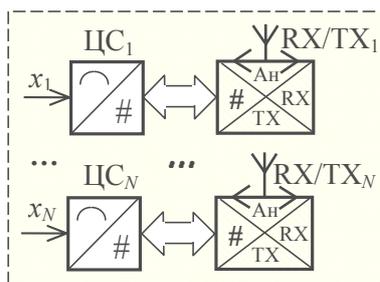


Рис. 16. Функциональная схема системы ИК с прямо-передатчиками (RX/TX)

При разработке измерительной системы, например, для диагностики состояния технологических процессов, сенсоры соединяются с измерительными преобразователями с помощью длинных (одно- или многопроводных) линий связи. На рис. 17 приведена структурная схема N ИК с разными сенсорами (Cp), которые соединены с измерительными преобразователями (ИП) с помощью длинных линий (ДЛ). К АЦП указанные каналы подключаются поочередно посредством коммутатора каналов (КК), управляемого микроконтроллером.

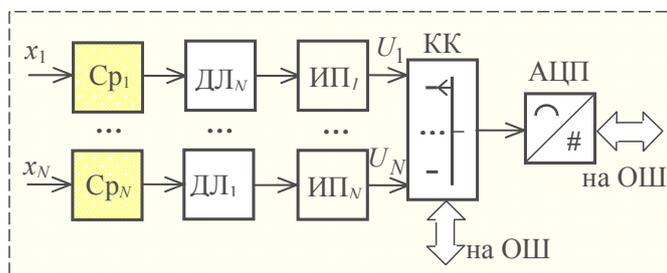


Рис. 17. Функциональная схема системы ИК с пространственным разделением каналов

Различают ИК с однокантным и многокантным режимами работы, без модуляции и с модуляцией зондирующих сигналов, с периодическим преобразованием сигналов, с одновременным использованием разного вида модуляции (по амплитуде, частоте и по фазе), с работой на постоянном или переменном токе, с обычным или дифференциальным входом, с преобразованием спектра входного сигнала, с двойным преобразованием измерительного сигнала, каналы, предназначенные для реализации методов прямых или избыточных измерений.

Возможна предварительная цифровая обработка и восстановление аналогового сигнала.

Измерительные каналы могут использоваться как по отдельности, так и входить в состав

измерительных систем. Все это откладывает свой отпечаток и на архитектуру ИК измерительной системы и прибора.

Рассмотрим еще несколько примеров структурных и функциональных схем ИК.

Если необходимую информацию несут сигналы малого уровня, то в этом случае часто используют периодическое преобразование этих сигналов, усиление, синхронное детектирование, выделение постоянной составляющей и аналого-цифровое преобразование.

На рис. 18 приведена функциональная схема измерительных каналов с периодическим преобразованием входных сигналов где: АП — автоматический переключатель, ИУ — измерительный усилитель, СД — синхронный детектор, ФНЧ — фильтр нижних частот, КК — коммутатор каналов и АЦП. Сенсоры на данной схеме не показаны. Данная архитектура присуща многим ИК.

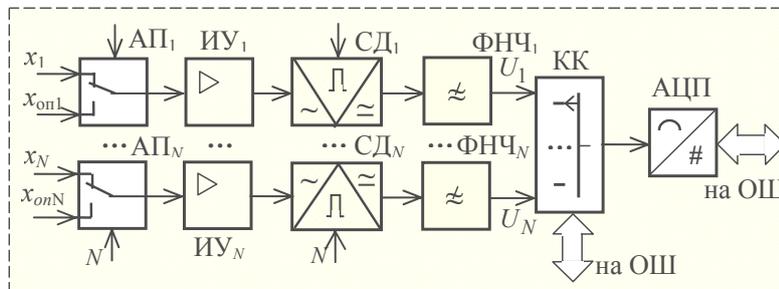


Рис. 18. Функциональная схема измерительных каналов с периодическим преобразованием сигналов

При разработках архитектур измерительных систем и приборов для медицины, биологии и физиологии особое внимание следует уделять архитектуре опико-электронных каналов средств измерений, реализующих методы оптических измерений. Во-первых, она должна учитывать приписываемую объекту измерений адекватную математическую модель для решения задачи уменьшения потерь в оптических сигналах, прошедших через исследуемые жидкие или газообразные оптически прозрачные вещества, а во-вторых, — метод измерений, обеспечивающий автоматическое исключение погрешностей и получение действительного значения концентрации веществ в бинарных растворах.

На рис. 19 в качестве примера приведена функциональная схема ИК цифрового измерителя концентрации веществ в бинарных растворах, реализующего метод избыточных измерений [24], где ОЭП — опико-электронный преобразователь, ИОИ — источник оптического излучения, ПП — полупрозрачная пластинка, ФЛ1 и ФЛ2 — первая и вторая фокусирующие линзы, СК — составная кювета, РК — рабочая камера, КС — камера сравнения; СР1 та СР2 — первый и второй сенсоры уровня, ФПр — фотоприемник, УТ — усилитель тока, СУ — согласующий усилитель, ТЭП — термоэлектрический преобразователь, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, ПКП — преобразователь «код-перемещение», ЗП1 та ЗП2 — заливные патрубки, СП1 та СП2 — сливные патрубки, «а» и «б» — выходы сигналов сенсоров уровня СУ1 и СУ2.

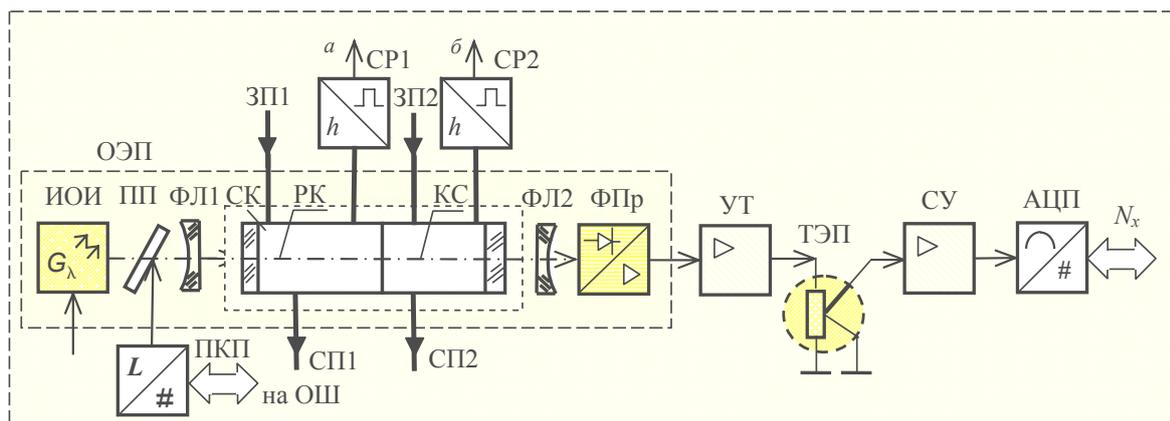


Рис.19. Функциональная схема ИК цифрового измерителя концентрации

Согласно рис. 19, опико-электронный ИК обеспечивает тройное преобразование потока оптического излучения, прошедшего через рабочую кювету РК и кювету сравнения КС. Вначале, с помощью опико-электронного преобразователя ОЭП, осуществляется преобразование потока оптического излучения с выхода кюветы сравнения КС в электрический сигнал с помощью фотоприемника ФПр. Затем осуществляется преобразование мощности полученного сигнала в постоянное напряжение с помощью термоэлектрического преобразователя ТЭП. После этого постоянное напряжение преобразуется посредством аналого-цифрового преобразователя АЦП в цифровой код. Причем, согласно [24], с помощью исполнительных механизмов (на рис. 19 не показаны), осуществляется поочередная подача рабочей и

образцовой жидкости в РУ и КС через заливные патрубки ЗП1 и ЗП2 и их слив, в определенные моменты времени, через сливные патрубки СП1 и СП2.

Благодаря этому и соответствующему программному обеспечению реализуется временное разделение каналов преобразования оптических сигналов.

Если на рис. 19 приведена функциональная схема опико-электронного ИК одноканального прибора, то на рис. 20 — функциональная схема многоканальной измерительной системы, где G — цифруправляемый генератор оптического излучения, ФЛ — фокусирующая линза, ИО — исследуемый объект, МО — микрообъектив, Ус — усилитель, СД — синхронный детектор, ФНЧ — фильтр нижних частот.

В рассматриваемом случае архитектура каналов во многом идентична. Различия состоят в длине волны оптического сигнала, генерируемого генератором оптического излучения, в спектральной чувствительности фотоприемников к рабочим длинам волн и в концентрациях исследуемых веществ в бинарных растворах.

Можно констатировать, что архитектура измерительных систем и приборов для медицины, биологии и физиологии более сложные в реализации, чем в приборах иного назначения, хотя есть и исключения. Во многом все определяется приписываемой объекту измерений математической моделью.

Выше были рассмотрены вопросы построения архитектуры каналов средств измерений неэлектрических величин. Рассмотрим еще пример разработки архитектуры ИК цифрового фазометра, как наиболее сложного прибора для измерения электрических величин.

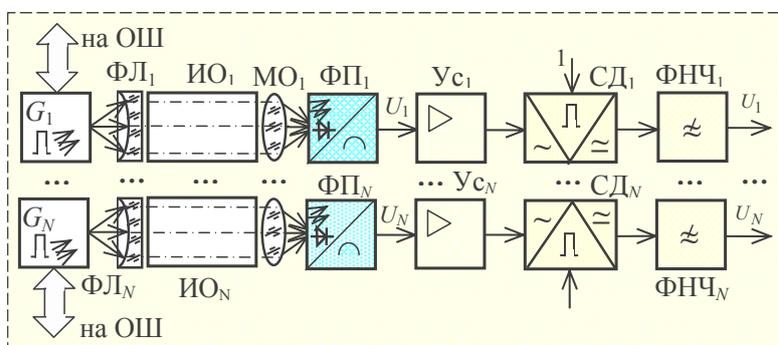


Рис. 20. Функциональная схема опико-электронного измерительного канала многоканальной измерительной системы

На рис. 21 приведена функциональная схема ИК цифрового фазометра с аналого-цифровыми преобразователями «время – код», в качестве которых использованы счетчики импульсов.

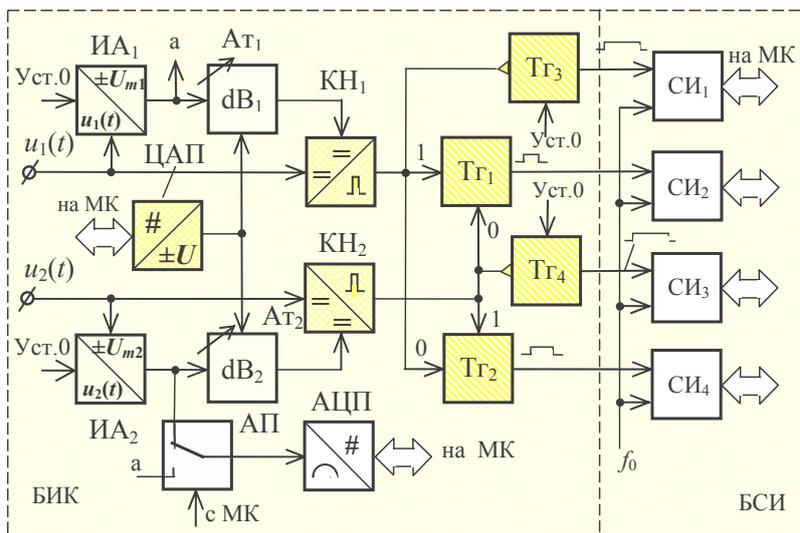


Рис. 21. Функциональная схема ИК цифрового фазометра с аналого-цифровым преобразованием

На рис. 21 использованы следующие обозначения: БИК — блок ИК; ИА₁ и ИА₂ — первый и второй измерители амплитуд; ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь; АТ₁ и АТ₂ — первый и второй управляемые аттенюаторы; КН₁ и КН₂ — первый и второй компараторы напряжения; АП — автоматический переключатель; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; Тр₁, Тр₂, Тр₃, Тр₄ — триггеры; БСИ — блок счетчиков импульсов; СТ₁, СТ₂, СТ₃, СТ₄ — первый, второй, третий и четвертый счетчики импульсов.

Архитектура каналов разработана в соответствии с реализуемым методом измерений [25], предполагающим предварительное измерение амплитудных значений сравниваемых по фазе сигналов. Последнее осуществляется дополнительным введением в каналы измерителей амплитуд ИА₁ и ИА₂. Для

решения задачи автоматического исключения амплитудно-фазовой погрешности в каждый канал дополнительно введены не только ИА₁ и ИА₂, но и аттенюаторы АТ₁ и АТ₂, обеспечивающие формирование опорных уровней из выходных сигналов ИА₁ и ИА₂.

Особенностью архитектуры является возможность использования счетчиков импульсов, входящих в состав мик-роконтроллера, если их разрядность соответствует требуемой. В этом случае отпадает необходимость в БСИ (см. рис. 21).

Описанное многообразие возможных способов организации связи между сенсорами и функциональными блоками измерительного канала диктуют необходимость совершенствования системотехнических принципов организации измерительных систем и приборов, особенно с распределенной архитектурой.

Концепция построения ИК может быть выражена большинством признаков, которые были приведены выше для концепция построения сенсоров. В расширенном виде они будут изложены в следующем сообщении.

Выводы

Рассмотрены вопросы разработки концепции построения и архитектуры первичных измерительных преобразователей, формователей физических величин и измерительных каналов приборов для экспресс-диагностики состояния физических и биологических объектов.

Дано определение понятиям «концепция» и «архитектура».

Перечислены функциональные блоки и элементы измерительных систем и приборов, являющиеся необъемлемой частью их архитектуры.

Выделены признаки входных сигналов, влияющие на архитектуру измерительных систем и приборов, что расширило наши представления о реальных архитектурах.

Приведен ряд архитектур нестандартных первичных измерительных преобразователей. Это дало возможность сделать вывод о необходимости строгого соблюдения требований технического задания по их схемотехнической и конструктивно-технологической реализации, по выбору структур первичных измерительных преобразователей, обеспечивающих максимальное отношение точность/цена, требований по расширению функциональных возможностей при сохранении требуемой точности преобразования.

Отмечено многообразие и роль линий связи при разработке архитектуры измерительной системы или прибора, обеспечивающие достижение заданных метрологических характеристик. Существующие различия, требования и многообразие способов организации связи и определяют архитектуру линии связи и всей измерительной системы или прибора в целом.

При этом необходимо строго соблюдать существующие стандарты связи сенсоров и измерительных каналов.

Архитектура средств воспроизведения и формирования однородных и нормированных по значению физических величин отличается между собой природой воспроизводимой физической величины, принципами и способами воспроизведения физических величин заданного и нулевого размеров, количеством используемых мер и стандартных образцов, способами одновременного воспроизведения физических величин двух и более нормированных размеров, способами подключения; требованиями к техническим и метрологическим характеристикам и способами их обеспечения, способами защиты мер и стандартных образцов от воздействия внешних дестабилизирующих факторов, принципами конструктивно-технологического исполнения мер и стандартных образцов.

В связи с развитием стратегии избыточных измерений были установлены и перечислены новые требования к выбору концепции построения сенсоров и к их архитектуре.

Установлено, что, в связи с развитием методов избыточных измерений, архитектура измерительных систем и приборов существенно меняется по причине введения в нее формователей физических величин. Последние включают в себя сенсоры, меры или СО, набор автоматических переключателей, зачастую построенные по нестандартным схемам, аналоговые мультиплексоры, актюаторы, оптические элементы и т.п. Главная задача — осуществить высокоточное формирование рядов физических величин и их преобразование в электрический сигнал.

Даны определения четырем видам преобразований физических величин: первичному, вторичному, третичному и четвертичному, которые широко используются в измерительной технике. От их числа также зависит архитектура измерительных систем и приборов.

С позиции системного подхода приведено определение понятия «измерительный канал». Показано существующее многообразие измерительных каналов со структурами открытого и закрытого типов, их различные функциональные возможности. В любом случае архитектура измерительного канала должна обеспечить заданное качество измерений или измерительного преобразования физических величин.

Главный смысл концепции построения состоит в строгом выполнении требований технического задания на разработку измерительной системы или прибора или их составных частей (сенсоров, измерительных каналов и т.д.) с позиции системного подхода, использования максимального числа стандартизированных блоков и элементов.

Література

1. 1 Понятие открытой системы. Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
2. Классификация и общие принципы построения и применения информационных измерительных систем. Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=464837>
3. Кондратов В.Т., Гарбарук Н.С. Интерференційний спосіб надлишкових вимірювань показника заломлення оптично-прозорих матеріалів та речовин. Патент України на винахід № 84632, Бюл. № 21, 2008.
4. Кондратов В.Т., Макогон О.В. Радіометричний спосіб надлишкових вимірювань температури об'єктів. Патент України на винахід № 85425 С2, Бюл. №2, 2009.
5. В.А.Романов, В.Т.Кондратов, Ю.А. Брайко, А.В. Мильченко, Р.Г. Имамутдинова. Повышение точности измерения параметров процесса флуоресценции хлорофилла в листьях растений. / В.А. Романов, В.Т. Кондратов, Ю.А.Брайко, А.В.Мильченко, Р.Г. Имамутдинова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2013. — № 1. — С. 170 – 176.
6. Романов В.О, Кондратов В.Т., Брайко Ю.О, Мильченко А.В. Спосіб визначення параметрів явища фотосинтезу хлорофілу у листях рослин (кривої Каутського). Патент України на винахід № 100642 С2. Бюл. № 1, 2013.
7. Кондратов В.Т. Проблемы неинвазивного измерения параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека и пути их решения / В.Т.Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2012. — № 2. — С. 160 – 128.
8. Кондратов В.Т. Цифровой вимірювач вологості зерна та інших сипких матеріалів. Патент України на винахід № 91245, Бюл. № 13, 2010.
9. Кондратов В.Т. Новая эра развития теории метрологической надежности – функция распределения Кондратова – Вейбулла, ее разновидности, свойства и функциональные возможности/В.Т.Кондратов //Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – №2. — С. 21 – 22.
10. Булыгина Е.В., Макачук В.В., Панфилов Ю.В., Оя Д.Р., Шахнов В.А. Наноразмерные структуры: классификация, формирование, исследование. Режим доступа: <http://kaf-fiz-1586.narod.ru/MGTU/nano.pdf>
11. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений: основные измерительные операции /В.Т.Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010.– № 1. — С. 140 – 156.
12. ГОСТ Р 8.734-2011 ГСИ (Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля). Группа Т85. Дата введения 2012.09.01.
13. MEMS датчики движения Bosch Sensortec нового поколения. Часть 1. Режим доступа: <http://innovationsinsightmag.com/articles/mems-datchiki-dvizheniya-bosch-sensortec-novogo-pokoleniya-chast-1>.
14. Компоненты и технологии. Мобильные МЭМС-датчики инерции. Режим доступа: http://embedded.comunities.intel.com/servlet/JiveServlet/previewBody/7567-102-1-2938/AVclubMagazine_Dec-Russia.pdf.
15. Л.Фостер. Нанотехнологии. Режим доступа: <http://books.google.com.ua/books?id=jcK6AAAAQBAJ&pg=PT436&lpg=PT436&dq=%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8+%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2&source=bl&ots=phhH4TG360&sig=5NdRktKFMkblAR4FRhQ0DCx2PVo&hl=ru&sa=X&ei=k3IIVNnyFKf9yWPTw4KoDQ&ved=0CDEQ6AEwAg#v=onepage&q=%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2&f=false>
16. Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN/ Б.С.Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 160 с.: ил. Режим доступа: http://books.google.com.ua/books?id=Xc8nAwAAQBAJ&pg=PA28&lpg=PA28&dq=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D0%B8%D1%8F+%C2%AB%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85+%D1%83%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B2%C2%BB&source=bl&ots=de5N09k_H_&sig=458eRDgjKIL2kwiB0vuxOnrGig&hl=ru&sa=X&ei=FGoJVK7MNYPZPMafgcAK&ved=0CFsQ6AEwBg#v=onepage&q=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%C2%AB%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%83%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B2%C2%BB&f=false
17. Цветков А.А., Остапенко Г.Ф. Совместная обработка сигналов в сенсорных сетях при реализации задач слежения за подвижными объектами. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92466/1/Untitled2.pdf>.
18. Шостко И.С., Соседка Ю.Э. Способы снижения энергетических затрат в беспроводных сенсорных сетях. Режим доступа: http://open-archive.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/964/1/PICST_13-223.pdf

19. Удалённый диод и встроенный цифровой термодатчик с двухпроводным интерфейсом. Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/National_Semi/sensor/Thermal_Management/lm82.htm
20. Классификация линий связи. Режим доступа: http://supervideoman.narod.ru/5_1.htm.
21. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач избыточных измерений физико-математической моделью. Сообщение 2 / В.Т.Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013.– № 2. – С. 239-250.
22. Кондратов В.Т. Теория и методы избыточных измерений / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2012. — № 3. — С. 14 – 22.
23. Измерительные каналы. Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter4_1.aspx.
24. В.Т. Кондратов, В.Б. Сітар. Пристрій для вимірювання концентрації речовин. Деклараційний патент № 68679 А Україна. Бюл. № 8, 2004.
25. Кондратов В.Т. Способ измерения фазового сдвига электрических сигналов. А.С. СССР № 949536, Бюл. № 29, 1982.

References

1. Ponjatie otkrytoj sistemy. Rezhim dostupa: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
2. Klassifikatsija i obshchie printsipy postroenija i primenenija informatsionnykh izmeritelnykh sistem. Rezhim dostupa: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=464837>
3. Kondratov V.T., Grabaruk N.S. Interferentsijnyj sposib nadlyshkovykh vymiryuvan pokaznyka zalomlennja optychno-prozorykh materialiv ta rehovyn. Patent Ukrainy na vynakhid № 84632, Byul. № 21, 2008.
4. Kondratov V.T., Makogon O.V. Padiometrichnyj sposib nadlyshkovykh vymiryuvan temperatury objektiv. Patent Ukrainy na vynakhid № 85425 C2, Byul. №2, 2009.
5. Romanov V.A., Kondratov V.T., Brajko Yu.A., Milchenko A.V., R.G. Imamutdinova. Povyszenie tochnosti izmerenija parametrov protsessa phluoresentsii khlorofilla v listjakh rastenij. / V.A. Romanov, V.T. Kondratov, Yu.A. Brajko, A.V. Milchenko, R.G. Imamutdinova // Vymiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2013. — № 1. — S. 170 – 176.
6. Romanov V.A., Kondratov V.T., Brajko Yu.A., Milchenko A.V. Sposib vyznachennja parametriv javyscha photosintezu khlorophilu u lystjakh poslyn (kryvoji Kautskogo). Patent Ukrainy na vynakhid № 100642 C2. Byul. № 1, 2013.
7. Kondratov V.T. Problemy neinvazivnogo izmerenija parametrov protsessa mikrotsirkuljatsii krovi v paltsakh konechnostej cheloveka I puti ikh reshenija / V.T. Kondratov // Vymiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2012. — № 2. — S. 160 – 128.
8. Kondratov V.T. Tsfirovoj vymiryuvach vologosti zerna ta inshikh syppykh materialiv. Patent Ukrainy na vynakhid № 91245, Byul. № 13, 2010.
9. Kondratov V.T. Novaja era razvitija teorii metrologicheskoy nadezhnosti: funktsija raspredelenija Kondratova – Weibull, ee raznovidnosti, svojstva i funktsionalnye vozmozhnosti / V.T. Kondratov // Zakonodatelnaja i prikladnaja metrologija. – 2009. – №2. — S. 21 – 22.
10. Buljgina E.V., Makarchuk V.V., Panfilov Yu.V., Oja D.R., Shakhnov V.A. Nanorazmernye struktury: klassifikatsija, formirovanije, issledovanie. Rezhim dostupa: <http://kaf-fiz-1586.narod.ru/MGTU/nano.pdf>.
11. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh izmerenij: psonovnye izmeritelnye operatsii / V.T. Kondratov // Visnyk Khmel'nitskogo natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky. – 2010.– № 1. — S. 140 – 156.
12. GOST R 8.734-2011 GSI (Datchiki intellektualnye i sistemy izmeritelnye intellektualnye. Metody metrologicheskogo samokontrolja). Grupa T85. Data vvedenija 2012.09.01.
13. MEMS gatchiki dvizhenija Bosch Sensortec novogo pokolenija. Chast 1. Rezhim dostupa: <http://innovationsinsightmag.com/articles/mems-datchiki-dvizheniya-bosch-sensortec-novogo-pokoleniya-chast-1>.
14. Komponenty I tekhnologii. Mobilnyje MEMS-datchiki inertsi. Rezhim dostupa: http://embedded.communities.intel.com/servlet/JiveServlet/previewBody/7567-102-1-2938/AVclubMagazine_Dec-Russia.pdf;
15. Foster L. Nanotekhnologii. Rezhim dostupa: <http://books.google.com.ua/books?id=jcK6AAAAQBAJ&pg=PT436&lpg=PT436&dq=нанотехнологии> создания сенсоров&source=bl&ots=phhH4TG360&sig=5NdRktKFMkblAR4FRhQ0DCx2PVo&hl=ru&sa=X&ei=k3IIVNnyFKf9yWPTw4KoDQ&ved=0CDEQ6AEwAg#v=onepage&q=нанотехнологии создания сенсоров&f=false
16. Goldshtejn B.S. Seti svjazi post-NGN / B.S. Goldshtejn, A.E. Kucherjavjy. — SPb.: BKhV-Peterburg, 2014. — 160 s.: il. Rezhim dostupa: http://books.google.com.ua/books?id=Xc8nAwAAQBAJ&pg=PA28&lpg=PA28&dq=концепция+«сенсорных+узлов»&source=bl&ots=de5N09k_H_&sig=458eRDGjKIL2kwiB0vuxOnrGig&hl=ru&sa=X&ei=FGoJVK7MNYPZPMafgcAK&ved=0CFsQ6AEwBg#v=onepage&q=концепция+«сенсорных+узлов»&f=false
17. Tsvetkov A.A., Ostapenko G.F. Sovmestnaja obrabotka signalov v sensorykh setjakh pri realizatsii zadach slezhenija za podvizhnyimi objektami. Rezhim dostupa: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92466/1/Untitled2.pdf>.
18. Shostko I.S., Sosedka Yu.E. Sposoby snizhenija energeticheskikh zatrat v besprovodnykh sensorykh setjakh. Rezhim dostupa: http://open-archiv.kture.kharkov.ua/bitstream/123456789/964/1/PICST_13-223.pdf
19. Udalennyj diod I vstroennyj tsifrovoj termodatchik s dvukhprovodnym interfejsom. Rezhim dostupa: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/National_Semi/sensor/Thermal_Management/lm82.htm
20. Klassifikatsija linij svjazi. Rezhim dostupa: http://supervideoman.narod.ru/5_1.htm.
21. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh izmerenij: reshenije metrologicheskikh zadach izbytochnykh izmerenij phizicheskikh velichin nenapravlenogo dejstvija s pripisyvaemoj obektu izmerenij matematicheskoy modelju. Soobschenie № 2.2 / V.T. Kondratov // Vianykh Khmel'nitskogo natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky. – 2013.– № 2. — S. 239-250.
22. Kondratov V.T. Teorija i metody izbytochnykh izmerenij / V.T. Kondratov // Vymiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2012. — № 3. — S. 14 – 22.
23. Izmeritelnye kanaly. Rezhim dostupa: http://www.bookasutp.ru/Chapter4_1.aspx.
24. Kondratov V.T., V.B. Sitar. Prystrij dlja vymiryuvannja kontsentratsii rehovyn. Deklaratsiinyj patent № 68679 A Ukraina. Byul. № 8, 2004.
25. Kondratov V.T. Sposob izmerenija fazovogo sdviga elkticheskih signalov. A.S. SSSR № 949536, Byul. № 29, 1982.

Рецензія/Peer review : 19.8.2014 р.

Надрукована/Printed : 1.10.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. І.В. Троцишин