

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ И АРХИТЕКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭКСПРЕСС–ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СООБЩЕНИЕ 3

В настоящей работе рассматриваются вопросы разработки концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов. Особое внимание уделено вопросам расширения функциональных возможностей сенсоров и измерительных каналов, разновидностям структур измерительных систем и приборов, существующим требованиям и общим принципам построения, основным этапам создания измерительных систем и приборов, а также существующим тенденциям их развития, платформам и стандартам на современные измерительные системы и приборы.

Показана зависимость архитектуры приборов и систем от принципа измерений, выбранного метода преобразования электрических сигналов и величин, от технических требований по решению поставленной задачи, а также от требований существующих стандартов на измерительные системы и приборы.

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 3

Abstract — In the present paper questions of working out of the concept of construction and architecture of measuring systems and devices for the rapid diagnosis of a condition of physical and biological objects are considered.

Particular attention is paid to the issues of extending the functionality of sensors and measuring channels, varieties structures of measuring systems and devices, the existing requirements and general principles of the main stages of the creation of measurement systems and instruments, as well as current trends in their development and standards for modern measuring systems and devices.

Dependence of architecture of devices and systems on a principle of the measurements, the chosen method of transformation of electric signals and quantities, from technical requirements for the solution of the problem, and also from requirements of existing standards of measuring systems and devices is shown.

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

Введение

В предыдущем сообщении были рассмотрены вопросы разработки концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс-диагностики состояния физических и биологических объектов с учетом архитектуры АЦП и ЦАП, микроконтроллеров и т.п.

В частности, были рассмотрены три наиболее популярные архитектуры АЦП, которые, с учетом областей их применения, вносят определенный вклад в архитектуру измерительных систем и приборов.

Рассмотрены микроконтроллеры с ядром Cortex-M0/M3/M4 компании NXP Semiconductors N.V. и их архитектура. Отмечено, что правильный выбор микроконтроллеров, выполненных на ядре Cortex с ARM-архитектурой, — залог успешной разработки архитектуры.

Показано, что на сегодня существует три профиля архитектур АРМ, используемых при создании микроконтроллеров:

«А» (application) — для устройств, требующих высокой производительности (смартфоны, планшеты);

«R» (real time) — для приложений, работающих в реальном времени;

«M» (microcontroller) — для микроконтроллеров (МК) и недорогих встраиваемых устройств.

Архитектура микроконтроллеров семейства STM32, выполненных на ядре ARM Cortex-M0/M3/M4, во многом определяется их применением. В частности различают: МК с беспроводной связью; МК с батарейным питанием; МК для весьма дешевых приложений; МК общего назначения; высокопроизводительные МК; МК комбинированных сигналов и с набором инструкций DSP и FPU; высокопроизводительные МК с DSP и FPU.

Отмечено, что в интерфейсе стандартизации подлежат состав и тип линий связи, электрические и временные параметры сигналов, форматы передаваемой информации, команды и состояния, алгоритмы функционирования, а также конструктивное исполнение соединений. В измерительных системах и приборах широко используются интерфейсы RS-232, RS-485 и др.

При создании архитектуры измерительной системы или прибора и их программного обеспечения необходимо учитывать требования к разделению программного обеспечения и его идентификации, к структуре программного обеспечения, к влиянию программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений, требования по защите программного обеспечения и данных, специальные требования к программному обеспечению и т.д. Большинство современных операционных

систем представляют собой хорошо структурированные модульные системы, способные к развитию, расширению и переносу на новые платформы. Какой-либо единой архитектуры операционной системы не существует, но существуют универсальные подходы к структурированию операционных систем.

На сегодняшний день наиболее перспективной является концепция микроядерной архитектуры операционных систем. Их новая архитектура основана на том, что в привилегированном режиме работает только очень небольшая часть операционной системы, называемая микроядром. Все остальные высокоуровневые функции ядра оформляются в виде приложений, работающих в пользовательском режиме.

Операционные системы, основанные на концепции микроядра, в высокой степени удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к современным операционным системам, поскольку обладают переносимостью, расширяемостью, надежностью и создают хорошие предпосылки для поддержки распределенных приложений. Основным недостатком микроядерной архитектуры является снижение производительности.

В настоящем сообщении рассматриваются примеры архитектур измерительных систем и приборов в целом, их особенности, обусловленные измеряемой неэлектрической величиной, принципом измерений, структурой сенсоров и измерительных каналов и т.п., а также используемые платформы измерительных систем и приборов.

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

Предмет исследований — концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс-диагностики состояния физических и биологических объектов.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с современной концепцией построения и архитектурой измерительных систем и приборов для экспресс-диагностики состояния физических и биологических объектов.

Результаты исследований

15. Расширение функциональных возможностей сенсоров

Расширение функциональных возможностей сенсоров достигается за счет:

а) изменения способов восприятия измеряемых свойств (без и с использованием концентраторов энергии, — при оптических измерениях, например, с помощью линз; при электрических измерениях, — с помощью концентраторов магнитного или электрического поля; при теплофизических измерениях — с помощью тепловых трубок и т.д.);

б) использования сенсоров с нелинейной функцией преобразования, т.е. высокочувствительных сенсоров;

в) использования управляемого процесса измерительного преобразования величин разной физической природы;

г) реализации разных принципов измерений и использования сенсоров с управляемыми параметрами;

д) измерительного преобразования не только искомой, но и ряд однородных физических величин заданного или неизвестного размеров;

е) введения разного типа обратных связей (с помощью обратных преобразователей типа «напряжение (ток) — физическая величина» и масштабных преобразователей физических величин — аттенюаторов, ослабителей и т.п.);

ж) изменения способа подключения сенсора к измерительному каналу;

з) согласования импеданса сенсора с импедансом электронной схемы измерительного канала;

и) замены метода линеаризации функции преобразования сенсора, например, метода аппроксимации на метод наименьших квадратов или за счет использования метода независимой линеаризации (метод наилучшей прямой [1], за счет использования метода избыточных измерений, учитывающего вид функции преобразования сенсора и обеспечивающего получение линейной зависимости результата измерений от измеряемой физической величины;

к) замены метода прямых измерений на метод избыточных измерений, при условии наличия меры или стандартного образца состава и свойств веществ и материалов (повышает точность и расширяет диапазон значений измеряемых величин;

л) правильного выбора интерфейса связи сенсора с измерительным каналом;

м) выбора способа передачи данных по двух, трех, четырех или шестипроводной линии связи;

н) идентификации шумов и выбора соответствующего способа уменьшения их действия или борьбы с ними;

о) выбора способа включения чувствительного элемента сенсора;

п) модуляции входного сигнала сенсора;

р) использования активного и пассивного сенсоров и дифференциальной схемы их включения;

с) использования экранирования и экранирования от действия электрических и магнитных полей [2];

т) использования правильного заземления сенсора и интерфейса;

у) использования развязки по цепи заземления и исключения паразитных контуров заземления;

ф) термостатирование соединений — для исключения шумов Зеебека [2];

х) использования мер для повышения метрологической надежности сенсора.

16. Разновидности структур измерительных систем и приборов

Известны следующие типы структур измерительных систем и приборов:

1. Структуры с централизованной архитектурой и с распределенной;
2. Структуры разомкнутого и замкнутого типов;
3. Структуры с неуправляемыми и управляемыми параметрами функции преобразования сенсора и/или измерительного канала и с выделенными исполнительными механизмами, мультиплексорами и коммутаторами ИК;
4. Структуры традиционных и виртуальных измерительных приборов с активными сенсорами;
5. Структуры традиционных и виртуальных измерительных приборов с пассивными сенсорами и автономными источниками электроэнергии;
6. Структуры с разными способами организации связи сенсоров с измерительным каналом (радиальный, магистральный и др.);
7. Структуры с аналоговыми и цифровыми каналами передачи измерительной и управляющей информации;
8. Структуры с комбинированными способами и каналами передачи измерительной и управляющей информации;
9. Структуры с использованием различного типа линий связи сенсора с измерительным каналом;
- 9.1 Структуры измерительных систем и приборов с одно- и многопроводными линиями связи;
- 9.2 Структуры измерительных систем и приборов с беспроводной связью (электромагнитной, оптической и др.);
10. Структуры измерительных систем и приборов с разными режимами обмена информацией (синхронный, асинхронный и т.д.).

Ниже, на рис. 1, ..., рис. 6, в качестве примера приведены наиболее интересные, на наш взгляд, и сложные структурные схемы цифровых измерительных приборов для исследований свойств физических и биологических объектов.

На рис. 1 приведена функциональная схема цифрового рефрактометра, где 1 — генератор оптического излучения, 2 — фокусирующая линза, 3 — первая вогнутая линза, 4 — диафрагма, 5 — полупрозрачная пластинка, 6, 7 и 8 — первое, второе и третье отражающие зеркала, 9 и 10 — первая и вторая треугольные призмы, 11 и 12 — первая и вторая прямоугольные оптические призмы (составляющие призмы Аббе), 13 — ювета с плоскопараллельными стенками, 14 — серий 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, 21, 22, 23 — первый, второй и третий преобразователи «код — перемещение», 24 — микропроцессор, 25 — оперативное запоминающее устройство, 26 — база данных, 27 — цифровое отсчетное устройство, 28 — общая шина.

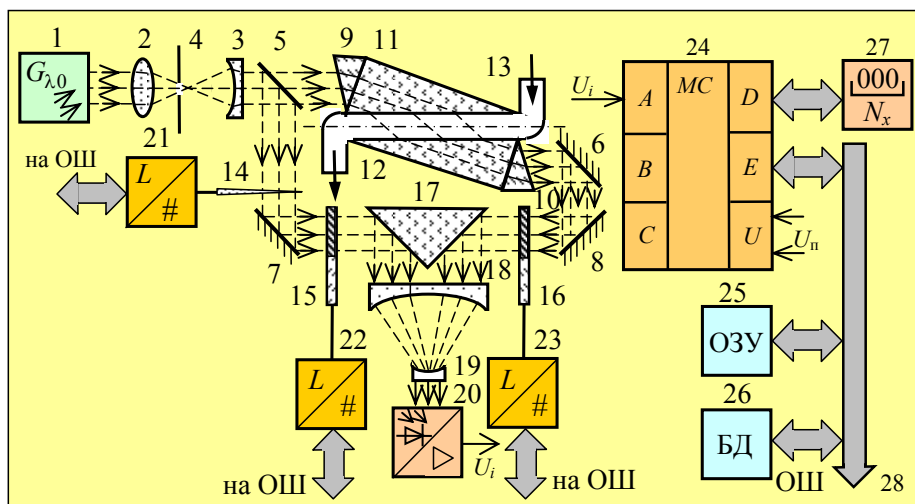


Рис. 1. Цифровой рефрактометр

Коэффициент преломления жидкости 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, заданий с высокой точностью; h_0 — толщина (прослойка) исследуемого вещества; φ_x — фазовый сдвиг между двумя сведенными потоками оптического излучения; k — коэффициент пропорциональности ($k = 4\pi$).

Особенностью технического решения является реализация оптического метода избыточных измерений, который предполагает временное разделение оптических каналов. Результаты измерений

заносятся в базу данных 26. Управление процессом измерений и работой исполнительных механизмов, а также обработка данных осуществляется с помощью микропроцессора 24. Цифровой рефрактометр и реализуемый им метод избыточных измерений подробно описаны в работах [3-5].

На рис. 2 приведена функциональная схема цифрового измерителя влажности воздуха [6, 7], где 1 — источник оптического излучения; 2 и 3 — первый и второй преобразователи «напряжение – перемещение»; 4 и 5 — первый и второй серый клин; 6, 7, 8 — первая, вторая и третья оптические линзы; 9 — электродвигатель; 10 — обтураторный диск (с отверстиями); 11 — параболическое зеркало; 12 и 13 — первый и второй иммерсионные фотоприемники; 14 — отражательное зеркало; 15 — сенсор температуры; 16 — микроохладитель; 17 — преобразователь «температура-код»; 18 — полупрозрачная пластина; 19 — формирователь синхриимпульсов; 20 — фотодиод; 21 — светодиод; 22 — автоматический переключатель; 23 — избирательный усилитель; 24 — синхронный детектор; 25 — база данных; 26 — цифровое отсчетное устройство; 27 — микроконтроллер.

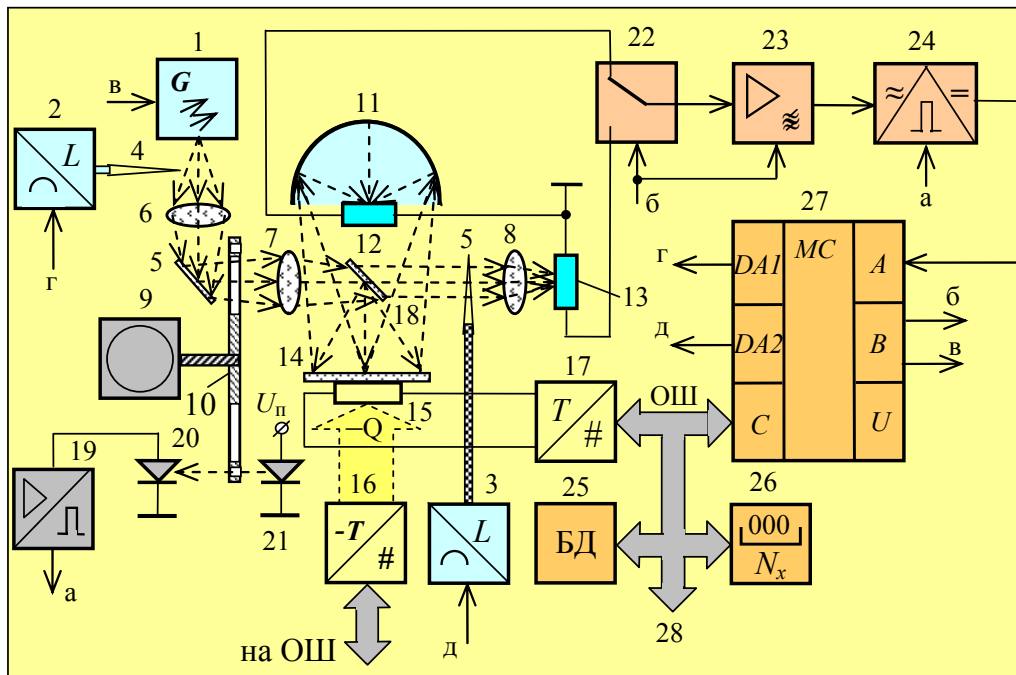


Рис. 2. Функциональная схема цифрового измерителя влажности воздуха [6, 7]

Цифровой измеритель влажности реализует оптический метод избыточных измерений, который и предопределяет архитектуру прибора. Особенности архитектуры данного технического решения является использование обтураторного диска 10, вращаемого электродвигателем 9, для осуществления модуляции потока оптического излучения, генерируемого источником оптического излучения 1. В качестве сенсоров используется два иммерсионных фотоприемника 12 и 13 и один сенсор температуры 15. Для уменьшения оптических потерь, в оптическом тракте используется параболическое зеркало 11, фокусирующее частично поглощенный поток оптического излучения на фотоприемник 12. Управление процессом измерения и перемещения серых клиньев 4 и 5 осуществляется с помощью сигналов, формируемых микроконтроллером 27 в определенные моменты времени.

Цифровой измеритель влажности воздуха является устройством замкнутого типа. Его структур не предполагает подключение дополнительных измерительных каналов без внесения соответствующих изменений в его программно-аппаратное обеспечение. Работа цифрового измерителя влажности воздуха подробно описана в работах [6, 7].

На рис. 3 приведена структурная схема цифрового измерителя влажности сыпучих продуктов [8], где 1 — термостат; 2 — резистивный нагреватель; 3 и 4 — первый и второй емкостные (рабочие) сенсоры влажности; 5 — стабильный конденсатор; 6 – варикап; 7, 8 и 9 – первый, второй и третий автоматические переключатели; 10 — третий (пассивный) емкостной сенсор влажности; 11 — преобразователь «емкость – частота», 12 — усилитель-формирователь; 13 — преобразователь «частота – код»; 14 и 15 — первый и второй сенсоры температуры; 16, 17 и 18 — четвертый, пятый и шестой автоматические переключатели; 19, 20 и 21 — первый, второй и третий резисторы; 22 — источник стабильного тока; 23 — усилитель; 24 — аналого-цифровой преобразователь; 25 и 26 — первый и второй цифроаналоговые преобразователи; 27 — цифровое отсчетное устройство; 28 — клавиатура; 29 — общая шина; 30 — микроконтроллер.

Цифровой измеритель влажности сыпучих продуктов реализует диэлькометрический метод избыточных измерений, который обеспечивает повышение точности измерений. Кроме канала измерения влажности в измеритель дополнительно введен канал измерения температуры окружающей среды и температуры емкостного сенсора с сыпучим продуктом. В измерителе осуществляется временное разделение измерительных каналов. Канал измерения влажности (емкости) включает в себя: два емкостных

сенсора 3 и 4 с образцовым и исследуемым сыпучими продуктами, соответственно, третий незаполненный емкостной сенсор 10; стабильный конденсатор 5 и варикап 6; автоматические переключатели 7, 8 и 9, преобразователь «емкость – частота» 11, формирователь импульсов 12 и преобразователь «частота – код» 13. Конструктивно емкостные сенсоры выполнены идентичными по размерам и начальной емкости. Канал измерения температуры содержит первый и второй сенсоры температуры 14 и 15, автоматические переключатели 16, 17 и 18, усилитель 23, аналого-цифровой преобразователь 24, генератор постоянного тока 22 и резисторы 19, 20, 21.

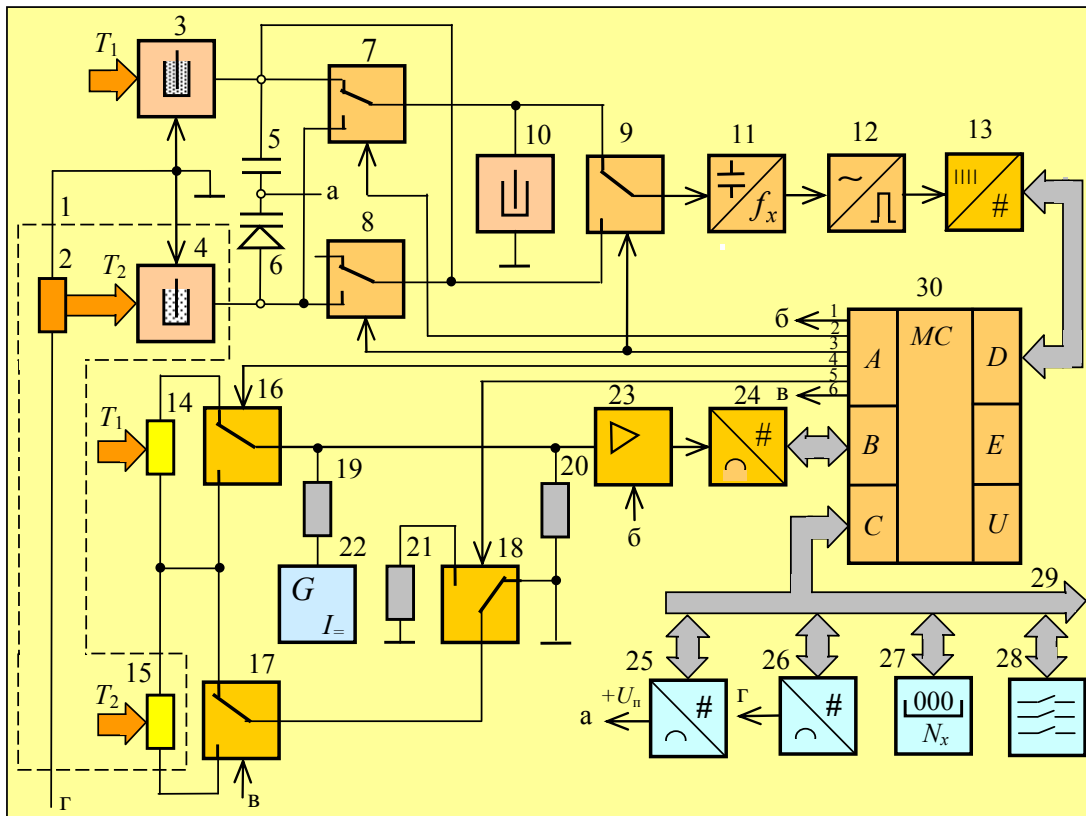


Рис. 3. Структурная схема цифрового измерителя влажности сыпучих продуктов [8]

Особенностью реализуемого метода измерений является приведение результата измерений влажности к единой температуре, например, 20⁰С. Автоматическое управление процессом измерений и работой функциональных блоков осуществляется с помощью микроконтроллера 30. Подробно работа цифрового измерителя влажности сыпучих продуктов описана в работе [8].

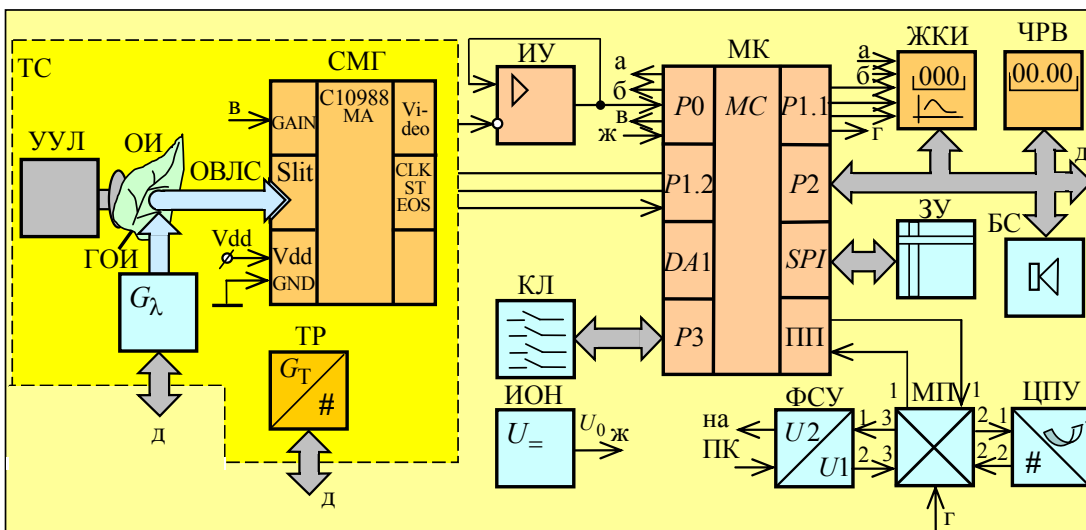


Рис. 4. Функциональная схема цифрового флуоресцентметра концентрации хлорофилла в листьях растений

На рис. 4 приведена функциональная схема цифрового флуоресцентметра концентрации хлорофилла в листьях растений, где ТС — термостат; ОИ — объект измерений (листок растения), УУЛ — устройство удержания листка; ГОИ — цифруправляемый генератор оптического излучения; ОВЛС —

оптоволоконная линия связи; ТР — терморегулятор; СМГ — спектрометрическая головка; ИУ — инвертирующий усилитель; КЛ — клавиатура; ИОН — источник опорного напряжения; МК — микроконтроллер; ЖКИ — жидкокристаллический индикатор; ЧРВ — часы реального времени; ЗУ — запоминающее устройство; БС — блок сигнализации; ФСУ — формирователь сигнала управления, МП — мультиплексор; ЦПУ — цифровое печатающее устройство, ОШ — общая шина.

Особенностью флуороспектрометра является использование ультракомпактного мини-спектрометра фирмы Namamatsu серии MS, созданного ею в связи с реализацией концепции создания миниатюрных и недорогих спектрометрических сенсоров для встраиваемых приложений. На сегодня уже созданы миниатюрные спектрометры типа С10988МА и С11708МА, отличающиеся спектральным разрешением и диапазоном. Подробная информация о принципе действия спектрометрических сенсоров изложена, например, в работе [9]. Второй особенностью является использование волоконно-оптической линии связи ВОЛС объекта измерений ОИ с СМГ. Наличие микроконтроллера МК обеспечивает работу всех функциональных блоков по априори заданной программе и обеспечение передачи данных в отдаленный компьютер или на цифropечатающее устройство ЦПУ.

На рис. 5 приведена функциональная схема цифрового измерителя механических свойств сосудистой системы человека, где СС — стетоскоп; ВВ — воздуховод; ДИС — дифференциальный индуктивный сенсор механических колебаний сосудов человека; ММ — мембрана из магнетомягкого материалу; ТР — трансформатор; ГСС — ко-доуправляемый генератор синусоидальных сигналов; P1 и P2 — первый и второй резисторы; K1, ..., K5 — первый, ..., пятый конденсаторы; ШП — шумоподавляющий усилитель-преобразователь «напряжение-ток-напряжение»; СУ — согласующий усилитель; КН1 и КН2 — первый и второй компараторы напряжений; УГИ — управляемый генератор импульсов; МК — микроконтроллер, КЛ — клавиатура, ЖКИ — жидкокристаллический индикатор, БС — блок сигнализации, ФСУ — формирователь сигнала управления, МП — мультиплексор, ЧРВ — часы реального времени; ЦПУ — цифровое печатающее устройство, ОЗУ — оперативное запоминающее устройство, ОШ — общая шина.

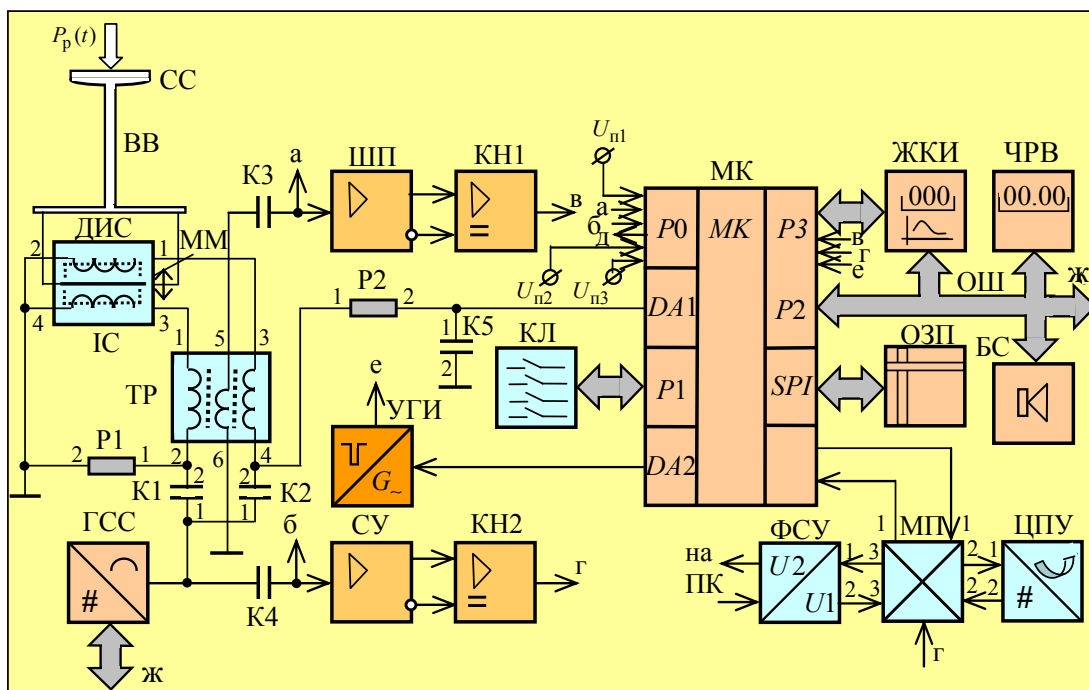


Рис. 5. Функциональная схема цифрового измерителя механических свойств сосудистой системы человека

Устройство реализует метод прямых измерений. В основу положено преобразование скорости изменения механических свойств крупных сосудов человека в фазовые сдвиги сигналов фиксированной частоты с последующим преобразованием их в коды чисел и построением функциональной зависимости механических осцилляций во времени.

Принцип измерений и определил необходимость построения цифрового измерителя по двухканальной схеме. Особенностью архитектуры цифрового измерителя является использование и соединение между собой и с другими элементами схемы дифференциального индуктивного сенсора ДИС механических колебаний сосудов человека и согласующего трансформатора ТР. В измерительном канале использован специальный шумоподавляющий усилитель-индуктивный преобразователь типа «напряжение-ток-напряжение» (ШП), обеспечивающий существенное уменьшение уровня шумов на его выходе и высокоточное определение моментов перехода через нуль синусоидального сигнала с помощью компаратора КН1. В опорном канале используется чисто синусоидальный сигнал опорной частоты, генерируемый ГСС. В этом канале используется обычный согласующий усилитель СУ. Наличие микроконтроллера МК обеспечивает работу всех функциональных блоков (ГСС, БС, МП, ЖКИ, ЧРВ, УГИ и др.) по априори

заданной программе. Он же осуществляет передачу данных в удаленный компьютер и на цифropечатающее устройство ЦПУ. На данное техническое решение подана заявка на патент Украины.

На рис. 6 приведена функциональная схема цифрового измерителя параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека, где ФИС1 и ФИС2 — первый и второй формирователи информативного сигнала, которые состоят из: первого и второго измерительных каналов ИК1 и ИК2; первого и второго управляемых источников тока УИТ1 и УИТ2; первого и второго генераторов потоков оптического излучения ГОИ1 и ГОИ2; фото-приемника ФП; заземленных электродов ЗЭ1 и ЗЭ2. ФИС2 включает в себя и управляемый делитель напряжения УДН.

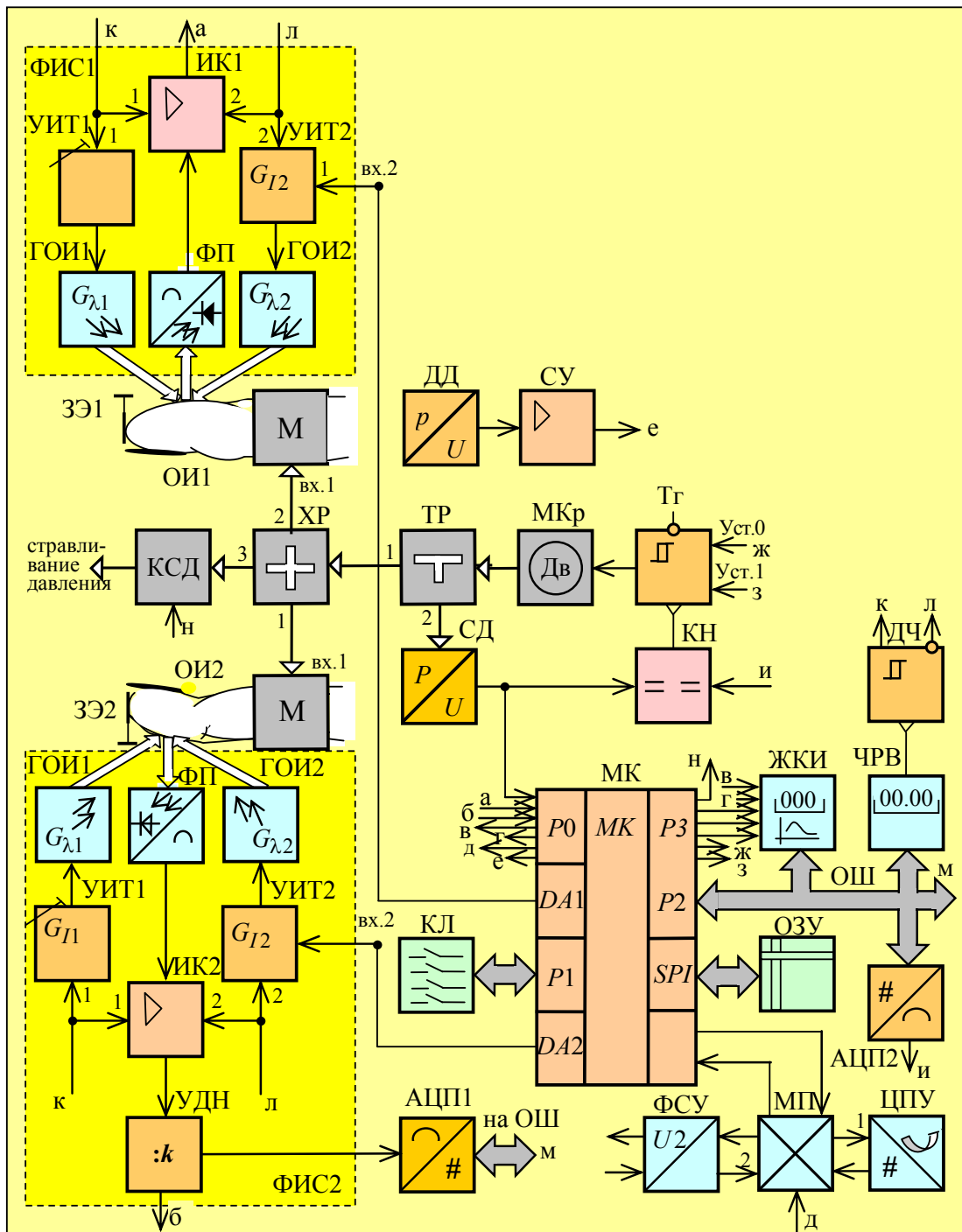


Рис. 6. Функциональная схема цифрового измерителя параметров микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека и параметров кривой микрогемодинамики [9]

Функциональная схема цифрового измерителя параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека также включает в себя объекты исследований (пальцы человека) ОИ1 и ОИ2; манжету М; клапан стравливания давления воздуха КСД; крестовину КР; тройник ТР; микрокомпрессор МКр; триггер Тг; датчик дыхания ДД; согласующий усилитель СУ; сенсор давления СД; компаратор напряжения КН; микроконвертор МК; клавиатуру КЛ; — первый и второй цифроаналоговые преобразователи ЦАП1 и ЦАП2; делитель частоты ДЧ; часы реального времени ЧРВ;

жидкокристаллический индикатор ЖКИ; оперативное запоминающее устройство ОЗУ; общую шину ОШ; мультиплексор МП; цифровое печатающее устройство ЦПУ и формирователь сигнала управления ФСУ.

При этом блоки ФП, ГОИ1 и ГОИ2 являются составными частями сенсорных блоков С1 и С2 формирователей информативного сигнала ФИС1 и ФИС2 соответственно.

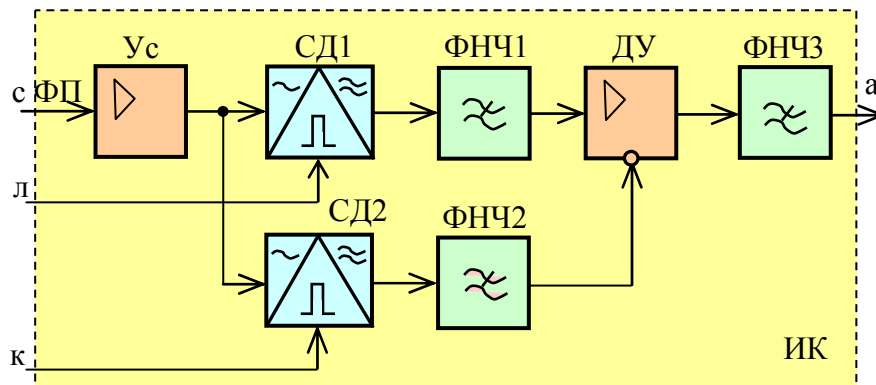


Рис. 7. Функциональная схема измерительного канала

Цифровой измеритель параметров процесса микроциркуляции крови содержит два независимых симметричных канала (см. рис. 7), — для сравнения показателей микроциркуляции одноименных пальцев левой и правой рук, реже — для двух пальцев одной руки. На рис. 6 приведена функциональная схема измерительного канала (ИК), где Ус — усилитель; СД1 и СД2 — первый и второй синхронные детекторы; ФНЧ1, ФНЧ2 и ФНЧ3 — первый, второй и третий фильтры нижних частот; ДУ — дифференциальный усилитель.

В основу принципа измерений положено свойство поглощения интенсивности потоков оптического излучения определенной длины волны не окисленным гемоглобином крови конечностей человека и меланином, входящим в состав тканей конечностей. Для его реализации осуществляют облучение пальцев конечностей двумя потоками оптического излучения, каждый из которых имеет определенную длину волны и интенсивность. Измерительная информация выделяется путем преобразования в электрических сигнал разности интенсивностей отраженные от кости и поочередно прошедших через капилляры и меланин потоков оптического излучения заданных длин волн. При этом имеет место пережатие капилляров пальцев конечностей (см. рис. 5, ОИ1 и ОИ2) с помощью наложенных на них манжет М. Отметим, что нагнетание давления в манжетах М осуществляется с помощью микрокомпрессора МКр. С помощью ИК осуществляется синхронное детектирование электрического сигнала, полученного с выхода фотоприемника (ФП1 или ФП2), с последующим выделением, с помощью фильтра нижних частот, сигнала ФНЧ3, характеризующего процесс микроциркуляции крови в конечностях человека. Принцип и метод измерений и предопределили архитектуру цифрового измерителя параметров процесса микроциркуляции крови в пальцах конечностей человека. Работа прибора подробно описана в статье [10].

Благодаря наличию микроконтроллера МК, обеспечивается работа всех функциональных блоков (УИТ1 и УИТ2, АЦП, МКр, КСД, ЖКИ, ЧРВ, УГИ и др.) по априори заданной программе. Он же осуществляет передачу данных в удаленный компьютер и на цифropечатающее устройство ЦПУ.

Общим аспектом в приведенных структурах измерительных приборов является использование не одного, а нескольких сенсоров. Это обусловлено как сложностью решаемой измерительной задачи, так и зависимостью измеряемой физической величины от влияющих факторов, — температуры, давления, влажности и т.п. (рис. 2, рис. 3, рис. 6). Такие приборы называются многофункциональными и становятся похожими на измерительные системы с сосредоточенной структурой. В них используется несколько независимых измерительных каналов, распределенных в пространстве, — по числу измеряемых физических величин, временное разделение измерительных каналов или пространственно-временное разделение (см., например, рис. 2, рис. 3, рис. 5, рис. 6 и рис. 7). Функции управления работой измерительного прибора, получением и обработкой данных осуществляется с помощью микроконтроллера (см. рис. 1, рис. 3, рис. 4, рис. 5), микропроцессора (рис. 2).

16. Требования к измерительным системам и приборам

На сегодня можно выделить следующие требования к измерительным системам и приборам, которые следует учитывать при выборе их архитектуры:

1. Модульность, гибкость, возможность модернизации;
2. Открытость к аппаратурным и программным средствам (операционная система открытого типа), расширение функциональных возможностей;
3. Комплексная микроминиатюризация;
4. Минимальные затраты времени на измерения;
5. Высокая функциональная и метрологическая надежность;
6. Формализованное представление измерительной информации, воспринимаемой пользователем;
7. Визуализация результатов измерений, обработки и систематизации данных.
8. Стандартизация, соответствие требованиям международным стандартам.

Рассмотрим каждое из приведенных требований к измерительным системам.

Одна из важнейших проблем, возникающих при создании измерительных систем, заключается в резком увеличении стоимости этой системы с ростом ее сложности. Это объясняется тем, что сложные измерительные системы изготавливаются, как правило, в единичных экземплярах, а это не позволяет делать их дешевыми.

Согласно [11], основным методом решения данной проблемы является деление измерительной системы на *модули*. Главная цель — сделать каждый модуль коммерчески эффективным изделием, которое могло бы изготавливаться несколькими независимыми фирмами-производителями и в больших количествах. В результате стоимость сложных измерительных систем и приборов будет существенно уменьшена.

В этой связи возникает проблема аппаратной и программной совместимости модулей. Для достижения совместимости интерфейсы, крейты, модули и выполняемые ими функции должны быть стандартизованы.

Другим требованием является открытость систем к аппаратным и программным средствам, расширение их функциональных возможностей. Что понимается под открытыми системами? «Открытая система — это система, которая состоит из компонентов, взаимодействующих друг с другом через стандартные интерфейсы» [12]. Такое определение открытых систем приведено в руководстве, изданном Французской ассоциацией пользователей UNIX (AFUU) в 1992 году. Более точное определение таково: «Открытой называется модульная система, которая допускает замену любого модуля на аналогичный модуль другого производителя, имеющийся в свободной продаже по конкурентоспособным ценам, а интеграция системы с другими системами (в том числе с пользователем) выполняется без преодоления чрезмерных проблем» [11].

Продукт разработки идеологии взаимодействия нескольких вычислительных и/или измерительных систем получил название архитектуры открытых систем.

Открытость вычислительной или измерительной системы можно рассматривать на разных уровнях иерархии аппаратного и программного обеспечения системы и ее функциональных блоков. Открытыми, например, могут быть [11]: физические интерфейсы, протоколы обмена, методы контроля ошибок, системы адресации, форматы данных, типы организации сети, интерфейсы между программами, диапазоны изменения аналоговых сигналов, пользовательские интерфейсы, языки программирования контроллеров, управляющие команды модулей ввода-вывода, языки управления базами данных, операционные системы, средства связи аппаратуры с программным обеспечением; конструктивные элементы (шкафы, стойки, корпуса, разъемы, крепежные элементы); системы, включающие в себя перечисленные выше элементы.

Необходимыми условиями открытости являются: модульность; соответствие стандартам (не обязательно официальным, но обязательно общепринятым и легко доступным по цене, компенсирующей только затраты на его разработку, поддержку и распространение); наличие в свободной продаже аналогичных систем других производителей (подсистем, модулей) по конкурентоспособным ценам.

Как отмечается в [13], к системам с открытой архитектурой предъявляют также общепринятые требования: экономичности, безопасности, надежности, грубости (робастности), простоты обслуживания и соответствия условиям эксплуатации, способности к самодиагностике и наличию рекомендаций по ремонту. Система должна обеспечивать максимальное время работы без сбоя и отказа, а также минимальное время, необходимое для выполнения технического обслуживания или ремонта.

Открытая архитектура предполагает использование способа построения измерительных систем и приборов, регламентирующего и стандартизирующего только описание принципа действия и их конфигурации. Это позволяет собирать измерительные системы и приборы из отдельных узлов и деталей, разработанных и изготовленных независимыми фирмами-производителями.

Операционная система данных измерительных систем и приборов является открытой, если она доступна для анализа как пользователям, так и системным специалистам, обслуживающим вычислительную систему [14]. Нарастающая (модифицируемая, развиваемая) операционная система — система, которая позволяет вводить в ее состав новые модули, совершенствовать существующие и т.д.

Другими словами, в измерительных системах и приборах должна быть обеспечена, при необходимости, возможность легкого внесения дополнений и изменений без нарушения их целостности. Практически это достигается за счёт введения в корпус внутренних расширительных гнезд, в которые пользователь может вставлять разнообразные модули устройства, удовлетворяющие заданному стандарту. Это позволяет устанавливать конфигурацию измерительной системы в соответствии с требованиями технического задания, легко ее модифицировать и развивать. При этом каждый из функциональных модулей (модуль измерительного канала, модуль блока управления, модуль блока памяти, монитор, цифropечатающее или другое устройство) должен быть связанный с шиной определённого типа — адресной, управляющей или шиной данных [15]. Для согласования интерфейсов периферийные устройства подключаются к шине не напрямую, а через свои контроллеры (адаптеры) и порты. Контроллеры осуществляют непосредственное управление периферийными устройствами по запросам микропроцессора.

В соответствии с принципом расширяемости (открытости), развитие системы связано с расширением функций, с совершенствованием технических и программных средств. Под расширяемостью программы понимается возможность увеличения, при необходимости, объема оперативной памяти и расширения вычислительных функций отдельных модулей.

Комплексная микроминиатюризация измерительных систем и приборов ставит своей целью уменьшение физического объема и массы, материалоемкости, в том числе исключение применения

драгоценных, дефицитных и токсичных материалов, снижение стоимости, уменьшение энергопотребления, увеличение объема выполняемых электронной аппаратурой функций, повышения функциональной и метрологической надежности и экономичности измерительных систем и приборов. При этом используется комплекс конструктивных, технологических и схемотехнических методов.

В настоящее время комплексная микроминиатюризация измерительных систем и приборов развивается по следующим направлениям [16 – 18]: микромодульное конструирование, разработка и использование пленочных схем, твердых схем, схем на основе технологий молекулярной и интегральной электроники, а также на основе трехмерных гибридных технологий создания функциональных модулей.

Уменьшение времени измерения связано с повышением производительности труда или с оперативностью получения информации. Основными путями уменьшения времени измерений являются:

выбор физического принципа измерений с минимальными затратами времени на измерительное преобразование и измерение физических величин;

уменьшение затрат времени на подготовку объекта и средства измерений к самим измерениям;

полная автоматизация процесса измерений;

сокращение числа операций измерительного преобразования физических величин;

оптимизация числа многократных измерений физических величин при наличии случайных помех;

распараллеливание процессов обработки результатов промежуточных измерений.

выбор алгоритмов обработки результатов промежуточных измерений с минимальными затратами времени на выполнение операции умножения, деления, извлечения квадратного корня и т.п.;

использование дискретизации при исследованиях быстропротекающих процессов;

использование оптимальных по затратам времени алгоритмов и программ для воспроизведения стандартных форм документирования и визуализации полученных данных;

снижение затрат времени за счет повышения быстродействия срабатывания ключей и автоматических переключателей, коммутаторов, манипуляторов, актюаторов и т.п.

Надежность измерительной системы или прибора характеризует их поведение с течением времени и является обобщенным понятием, включающим в себя стабильность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность (для восстанавливаемых средств измерений) и сохраняемость.

Функциональная надежность средства измерений — свойство средства измерений выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в течение требуемого промежутка времени или времени наработки на отказ. Надежность — это комплексное свойство изделия, в которое входят: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость [19].

Функциональная надежность измерительных систем и приборов обеспечивается за счет аппаратного (дублирования измерительных каналов) и временного резервирования. Однако применение традиционных методов двойного – тройного счета применимо в том случае, когда нет слишком жестких ограничений по времени выполнения задач. В информационном процессе ошибки устраняются с помощью информационной избыточности, например, путем помехоустойчивого кодирования информации.

Метрологическая надежность — это способность измерительных систем и приборов сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации [20]. Метрологическая надежность обеспечивается за счет использования сенсоров и измерительных каналов со стабильными функциями преобразования, за счет применения схемотехнических и конструктивных методов их стабилизации, за счет использования методов измерений, инвариантных к воздействию внешних дестабилизирующих факторов на сенсор и измерительный канал, например методов избыточных измерений и т.д.

Огромную роль в формализованном представлении измерительной информации играет визуализация [21]. Визуализация не только поддерживает обработку структурированных данных, но и является ключевым средством представления схем так называемых неструктурированных данных, например текстовых документов, т.е. Text Mining [22, 23]. Визуализация является одним из наиболее перспективных направлений анализа данных, в т.ч. Data Mining. Кроме того, визуализации может служить источником информации для пользователя, не требуя теоретических знаний и специальных навыков работы. Она является тем языком, который объединяет профессионалов из разных проблемных областей, обеспечивает превращение исходного набора данных в изображение, благодаря которому у исследователя могут появиться абсолютно новые, неожиданные решения.

Визуальный запрос является наиболее современной формой сложного взаимодействия пользователя с данными. В нем пользователь может, например, видеть крайние информационные точки графика рассеяния, выбирать их мышкой и получать новые визуализации, представляющие именно эти точки.

В метрологии выделяют следующие основные уровни визуализации:

1. Бинарная визуализация объекта измерений (ОИ), его элементов (фрагментов) и происходящих в нем физических процессов.

Целью визуализации первого уровня является получение качественного вторичного (плоского или объемного) изображения за счет целенаправленной цифровой обработки первичного изображения ОИ и/или его отдельных элементов (фрагментов) и процессов, предварительно увеличенных или уменьшенных в известное число раз.

2. Визуализация процесса измерений, состояния измерительной системы или прибора в целом в

непрерывные или дискретные моменты времени; визуализация виртуальных приборов и их атрибутов в двух- или трехмерном пространстве и проходящих в них процессов преобразования и т.д.

Целью визуализация данного уровня является формирование внутренних (мысленных) представлений (образов) о событиях и связях между ними, об исследуемых закономерностях.

3. Визуализация результатов (данных) прямых и избыточных измерений, данных о неопределенности измерений, о тонкой структуре погрешностей, о значениях параметров функции преобразования измерительных каналов и их изменениях под действием дестабилизирующих факторов, о способах представления данных с помощью графиков, диаграмм и т.д. и т.п.

Целью визуализации третьего уровня является перевод числовых значений результатов измерений и их обработки в графические образы, т.е. генерация когнитивных изображений данных.

Именно графические образы способны нести в себе в сжатой и доступной для пользователя форме информацию достаточную для принятия адекватного решения. Графические образы помогают прочесть данные, увидеть существующие закономерности, способствуют формированию внутренних (мысленных) представлений о событиях и связях между ними. В этом и заключается смысл данного уровня визуализации.

4. Визуализация информации о результатах измерений и обработки массива данных, в том числе об объекте измерений и его свойствах, о метрологических, амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристиках измерительной системы, о параметрах ее метрологической надежности и т.д.

Целью визуализации данного уровня является представление числовой и текстовой информации в виде графиков, диаграмм, структурных схем, таблиц и т.д., т.е. в виде, обеспечивающем выявление закономерностей и аномалий в многомерных и больших по объему массивах информации, наилучшее восприятие и передачу массивов полученных данных, а также оперативное принятие решения на ее основе.

5. Визуализация знаний, полученных путем структуризации результатов измерений (данных) и другой числовой и текстовой информации с помощью интеллектуальных карт (карт знаний) или схем мышления.

Интеллектуальная карта, карта знаний, карта ума или схема мышления – это графические выражения процессов многомерного мышления [24] или способ изображения процесса общего системного мышления с помощью схем.

Целью визуализации пятого уровня является раскрытие причин и целей, установленных связей в контексте передаваемого знания и представление его в виде интеллектуальных карт, карт знаний или схем мышления, стимулирующие когнитивные процессы и обеспечивающие наилучшее восприятие, анализ и передачу знаний от эксперта к человеку или группе людей.

Согласно [25, 26], термин интеллектуальная карта или карта знаний был предложен Тони Бьюзенем. Карты знаний — диаграммы, схемы, представляющие в наглядном виде различные идеи, задачи, методы, тезисы, связанные друг с другом и объединенные какой-то общей идеей. Карта знаний позволяет охватить всю ситуацию в целом, а также удерживать одновременно в сознании большое количество информации для нахождения связей между отдельными участками и недостающими элементами, запоминания и воспроизведения данной информации спустя некий период времени.

К дополнительным уровням визуализации можно отнести визуализацию структур (перестраиваемых и жестких), концептуальную визуализацию, стратегическую визуализацию, метафорическую и др.

Среди основных тенденций в области визуализации Филип Рассом (Philip Russom) выделяет следующие [27]:

- разработка сложных видов диаграмм;
- повышение уровня взаимодействия с визуализацией пользователя;
- увеличение размеров и сложности структур данных, представляемых визуализацией;
- разработка сложных видов диаграмм.

6. Визуализация результатов измерений, обработки и систематизации данных.

В приборостроении визуализация приняла метрологический уклон и служит целям измерения параметров невидимых и труднодоступных объектов мега-, макро-, микро- и наномира, а также целям высокоточного управления этими объектами, в том числе и процессами сборки микро- и нанообъектов [27, 28]. Только сочетание количественной и качественной информации дает полное представление об объекте измерений. В современной науке и технике визуализация — неотъемлемый процесс получения сложной информации о пространственном строении и состоянии объекта измерений, особенно нанообъектов, их фрагментов и срезов.

Оптико-электронные методы визуализации не обеспечивают визуализацию моделей твердых тел и неоднородных объектов с использованием вещественных функций (нескольких переменных) и моделирования на основе функционального представления ввиду ограниченной мощности технических средств. Широкое применение получили методы компьютеризированной визуализации — методы рендеринга.

Методы рендеринга — это оптико-электронные методы, расширенные и усиленные вычислительными возможностями компьютера, его памятью, специальными языками программирования высокого уровня, математическими моделями и программными продуктами, т.е. это методы компьютеризированной визуализации [29]. В метрологии методы рендеринга, как и оптико-электронные методы визуализации, направлены на формирование и обработку изображений, на решение задач оценки информативных признаков, погрешностей выделения границ и краев изображений, координат максимума

интенсивности светового пятна, на анализ и уменьшение шумов процесса визуализации, на решение задач пространственной дискретизации и других с целью получения высокого качества изображения и его отдельных элементов или фрагментов.

Как отмечалось выше, открытая система — система, взаимодействующая с другими системами в соответствии с принятыми стандартами. Модель взаимодействия открытых систем (OSI) определяет процедуры передачи данных между системами, которые «открыты» друг другу благодаря совместному использованию ими соответствующих стандартов, хотя сами системы могут быть созданы на основе различных технических средств [30]. Открытые системы должны иметь стандартный пользовательский интерфейс, чтобы выполнить требование о возможности интеграции с другими системами (в данном случае под «другой системой» понимается человек). Стандартизация пользовательского интерфейса снимает необходимость обучения операторов при переходе от одной открытой системы к другой [13].

17. Общие принципы построения измерительных систем и приборов

На сегодняшний день можно выделить следующие общие принципы построения измерительных систем и приборов [31]:

Принцип сочетания системности и агрегирования

Данный принцип является основным и предполагает учет двух факторов: а) система рассматривается как единое целое со своими функциональными, информационными и конструктивными связями и показателями; б) элементы, образующие систему, сохраняя определенную автономность и заменяемость, должны быть совместимы: конструктивно, информационно (уровни входных и выходных сигналов, интерфейсы), по характеристикам питания, условиям эксплуатации и т. д.

Принцип однородности иерархического уровня измерительной техники

На одном иерархическом уровне не должны присутствовать устройства или функциональные блоки, принадлежащие другому иерархическому уровню. Например, на одном функциональном уровне не должны сосуществовать первичные и вторичные измерительные преобразователи, хотя конструктивно устройства и функциональные блоки младшего иерархического уровня могут быть размещены в устройствах соответствующего старшего уровня. Обеспечение этого принципа позволит четко определить функциональную принадлежность каждого устройства и функционального блока.

Принцип максимальной функциональной замкнутости

Этот принцип предполагает создание такой иерархической структуры, при которой любое более крупное (старшее) объединение делится на более мелкие (младшие) объединения по функциональному признаку.

Принцип максимальной функциональной замкнутости предполагает, что каждое структурное объединение способно функционировать без привлечения каких-либо структур, размещенных в других структурных объединениях. Говоря о возможности функционирования без привлечения других структур, мы имеем в виду функциональные и информационные аспекты. Для выполнения важных, но вспомогательных функций, например для обеспечения электропитания, могут привлекаться элементы других уровней.

Данный принцип выдвигает два правила отнесения младших структурных объединений к старшим:

- каждое старшее структурное объединение должно включать в свой состав те младшие структуры, функционирование которых, при невозможности их полной автономии, обеспечивается другими младшими структурными объединениями, принадлежащими этому старшему структурному объединению;
- каждое старшее структурное объединение должно включать в свой состав те младшие структурные объединения, которые обеспечивают функционирование этого старшего объединения.

Принцип минимизации старших иерархических информационных связей

Отработка всякой системы тем сложнее и тем длительнее, чем больше устройств нужно сопрячь для совместной работы. Представляет трудность отработка каждой функции, которая должна решаться несколькими устройствами совместно. Поскольку количество таких функций обычно прямо пропорционально объему информации, которой обмениваются эти устройства, то следует стремиться к сокращению этого объема, тем самым сокращая и число совместно реализуемых функций.

Принцип наращиваемости

Его сущность состоит в возможности добавления или, наоборот, съема части функциональных блоков или приборов, входящих в измерительную систему, без каких-либо изменений в оставшейся части. Выполнение данного принципа оказывается крайне полезным как в условиях эксплуатации, так и при наращивании функций измерительной системы. Реализацией этого принципа, наряду с возможностью наращивания программно-математического обеспечения, обеспечивается гибкость измерительной системы в части выполняемых функций.

Принцип наращиваемости предполагает использование таких технических решений, которые позволят изменять состав аппаратуры в большую или меньшую сторону без какого бы то ни было изменения любых звеньев измерительной системы, в том числе в их аппаратной или функциональной части.

Принцип физической однородности распределения функций

Полученная первичная информация о свойствах физических величин не всегда пригодна для непосредственной математической обработки совместно с результатами измерения других однородных или не-однородных физических величин. Первичная информация должна пройти предварительную первичную обработку — фильтрацию, усреднение, совместную математическую обработку с данными о свойствах

других однородных или неоднородных физических величин.

Нынешний уровень развития вычислительной техники позволяет разделить всю математическую обработку на первичную и вторичную. Первичную обработку могут выполнять микропроцессорные устройства, объединенные с первичными или вторичными преобразователями, а вторичную — центральный компьютер.

Рассмотренные принципы справедливы не только для структуры измерительной системы в целом, но и для структуры каждой подсистемы, входящей в ее состав, и вообще для каждого звена любого уровня, включая элементы. Следование этим принципам обеспечивает взаимозаменяемость устройств, повышение надежности, упрощает отработку каждого функционального блока.

18. Основные этапы создания измерительных систем и приборов

Основными этапами создания измерительных систем и приборов являются:

- 1) выбор физической и математической моделей исследуемого объекта;
- 2) выбор принципа измерений и формулирование измерительной или метрологической задачи с указанием цели или системы целей с учетом их функций в технологическом или исследовательском процессе;
- 3) уточнение и согласование с заказчиком окончательного вида математической модели процесса измерений, определение уравнений прямых или избыточных измерений, разработка алгоритмов сбора и первичной обработки измерительной информации;
- 4) выбор инструментальной платформы (— платформы модульных или платформы традиционных измерительных приборов), формулирование требований к архитектуре традиционных или виртуальных измерительных систем или приборов, разработка структуры измерительной системы или прибора параллельно-последовательного или параллельного типа;
- 5) разработка функциональной схемы и выбор технических средств с учетом их комплексирования и системной совместимости (информационной, конструктивной, энергетической, метрологической, эксплуатационной и т.п.);
- 6) установление характера выходной информации, представляемой потребителю: измерительная информация (результаты оценки одного показателя; показатели, характеризующие функциональные зависимости; статистические показатели, именованные числа, их отношения, графики и т.д. и т. п.), количественные суждения (выводы по результатам контроля, диагностики, идентификации);
- 7) разработка программно-алгоритмического обеспечения процесса измерений, сбора, первичной и окончательной обработки измерительной информации, а также ее представления выходной информации в виде, удобном для дальнейшего использования ее потребителем (человеком-оператором или центральным компьютером);
- 8) разработка метрологического обеспечения измерительной системы или прибора, включающего в себя методы оценки неопределенности получаемых результатов, методы прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ и методику поверки или калибровки.

19. Новое поколение измерительных систем

Модульная платформа и промышленный стандарт PXI

PXI — модульная платформа, предназначенная для построения многофункциональных контрольно-измерительных систем, испытательного оборудования для тестирования электроники, систем автоматизации, модульных лабораторных приборов и т.д. [32]. Данная платформа позволяет легко устанавливать, заменять и использовать разные измерительные устройства вместе в едином компактном исполнении.

Промышленный стандарт PXI основан на компьютерной шине PCI. Он позволяет решать задачу постоянного увеличения производительности, функциональности и надежности контрольно-измерительной аппаратуры. Промышленный стандарт PXI использует электрические параметры, определенные в широко применяемом стандарте Peripheral Component Interconnect (PCI) [32], а также форм-фактор CompactPCI. Последний объединяет электрическую спецификацию PCI с прочным конструктивным исполнением Eurocard и высокопроизводительными разъемами. Такая комбинация позволяет CompactPCI и PXI системам иметь и использовать до семи периферийных слотов на один сегмент шины вместо четырех. Системы с большим количеством слотов строятся за счет использования нескольких шин вместе с мостами PCI-PCI. Так, например, для создания 13 слотовой PXI системы требуется один PCI-PCI мост.

Для создания высокопроизводительных измерительных систем и приборов, спецификация PXI включает дополнительные электрические параметры, обеспечивая синхронизацию и запуск. PXI также предлагает два способа взаимодействия с продуктами CompactPCI.

Стандарт PXI Express

Стандарт PXI Express не только сохраняет параметры PXI по синхронизации и запуску, но и обеспечивает достижение новых возможностей, которые стали доступны за счет использования дифференциальной передачи сигналов. Благодаря этому системы PXI Express имеют повышенную помехозащищенность и способность к передаче высокочастотных сигналов [32].

Стандарт магистрально-модульных систем VXI

Для решения задач создания высокоточного контрольного и диагностического оборудования в середине 80-х годов XX века был создан стандарт VXI (VMEbus eXtention for Instrumentation — VXI). Его появление обусловлено развитием технологии стандартизированного оборудования и программного обеспечения, подчиняющихся принципам магистрально-модульных систем и стандарту «Plug and Play» [33].

Технологии и стандарт VXI обеспечивают комплексный подход к созданию информационных, измерительных, диагностических и контрольных системы любого уровня сложности на основе единых

принципов. Существующие системы легко расширяются. Несколько систем могут быть объединены в одну. Архитектура систем легко перестраивается и изменяется. Обмен данными между модулями происходит быстро и максимально эффективно. Системы обладают отличными показателями качество/цена при высокой точности измерений и высокой помехозащищенности, функциональной законченности приборов [34].

Стандарт VXI удовлетворяет требованиям военно-промышленных стандартов, требованиям ряда промышленных стандартов (ISO 9000) и стандартам различной помехо-, магнито- и электрозащищенности. Все эти требования учитываются на стадии проектирования измерительных и диагностических магистрально-модульных систем и не требуют дополнительных затрат при сборке и эксплуатации аппаратуры.

Спецификация стандарта обновлялась и модернизировалась. Спецификация стандарта VXI третьей версии была подготовлена и опубликована в 2004 году VXI-консорциумом (— около 200 компаний, в том числе National Instruments, Agilent Technologies, Racal, Tektronix). Она зафиксировала увеличение скорости передачи данных и адресного пространства.

Согласно этой версии стандарта, VXI-система состоит из крейта, набора измерительных модулей, компьютера и программного обеспечения. Крейт представляет собой «ящик», в который монтируются различные модули системы. Измерительные и вспомогательные модули устанавливаются в крейт без какого-либо дополнительного монтажа. Номенклатура модулей постоянно расширяется. Технические характеристики оборудования совершенствуются. Компьютеры в VXI-системах могут использоваться как внешние, так и встроенные непосредственно в крейт. Программное обеспечение VXI-систем может быть создано с помощью программных комплексов LabVIEW и LabWindows, которые представляют собой современные графические программные оболочки, работающие в различных операционных системах.

Измерительные системы на базе технологий VXI отличаются высоким интеллектом, дружелюбностью к пользователю, совместимостью с различными другими системами. Оптимальным является использование систем VXI при проведении научных испытаний и исследований, контроле и диагностике сложных технических объектов, мониторинге работы промышленных и энергетических объектов.

LXI - новое поколение измерительных систем

В сентябре 2004 года консорциум ведущих мировых производителей и пользователей контрольно-измерительного оборудования объявили о создании стандарта LXI измерительных систем (LAN eXtensions for Instruments — LAN-расширения для приборов). Новый стандарт направлен на повышение скорости работы систем, снижение их стоимости, уменьшение их размеров, сокращение времени, затрачиваемого на настройку и установку систем, а также для повышения роли программного обеспечения [25].

Необходимо отметить, что консорциумом была установлена возможность создания системной архитектуры, которая просуществует гораздо дольше, чем те, что основаны на динамично изменяющихся компьютерных интерфейсах. В основу архитектуры нового поколения измерительных систем положено использование широко распространенных и проявивших себя стандартов, благодаря которым стало возможным для разработчиков измерительных систем создавать долгосрочные технические решения.

Стандарт LXI содержит следующие разделы: три класса LXI — А, В и С, физический уровень; спецификации LAN; настройки LAN; обнаружение по LAN; интерфейсы программирования; Web-интерфейс; связь модуль-модуль; запуск по LAN; аппаратная синхронизация; безопасность; документация; лицензии; совместимость.

Стандарт LXI концентрируется на четырех основных областях — физических требованиях, протоколах Ethernet, интерфейсах LXI и запуске по LAN.

Стандарт LXI был разработан для достижения абсолютной гибкости измерительных систем. Он позволяет соединять как настольные приборы, обладающие передней панелью, так и модули без лицевой панели, предназначенные для использования в составе стоек или малогабаритные приборы, которые можно прикреплять к каким-то конструкциям, вешать на стену или присоединять к какому-то устройству. В отличие от PXI и VXI, которые ограничены заданными размерами модулей, приборы, созданные в соответствии со стандартом LXI, могут иметь тот размер, который требуется при данном конкретном применении [25].

20. Общие требования к архитектуре измерительных систем

На основе вышеизложенного и рекомендаций работы [20], современные измерительные системы и приборы должны отвечать следующим общим требованиям:

открытость и модульность архитектуры аппаратных и программных средств, дающая возможность наращивать количество и номенклатуру измерительных каналов, а также расширять функциональные возможности программного обеспечения;

предпочтительное использование концепции микроядерной архитектуры операционных систем, поскольку они в высокой степени удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к современным операционным системам, поскольку обладают переносимостью, расширяемостью, надежностью и создают хорошие предпосылки для поддержки распределенных приложений;

минимальное время и трудоёмкость подготовки к работе за счёт применения баз данных, конфигураций, градуировок и соответствующих электронных таблиц, унификации интерфейса и основательной подготовки оператора;

широкое использование стандартов, которые удовлетворяют требованиям ряда промышленных стандартов (ISO 9000), стандартам различной помехо-, магнито- и электрозащищенности измерительных

систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов, а также, в ряде случаев, и требованиям военно-промышленных стандартов;

должен быть предусмотрен стандартизированный формат обмена измерительной информацией между измерительной системой и центральной ЭВМ;

схемотехнические решения и выбранный метод измерений должны обеспечивать высокие метрологические характеристики измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов;

наглядность и оперативность получения отчётной информации по результатам измерений, представление данных в виде интеллектуальных карт или карт знаний;

должна быть обеспечена концепция «единого информационного пространства», предусматривающая обмен измерительной информацией из единой базы данных между удалёнными потребителями.

Выводы

Рассмотрены концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов.

Сформулированы общие требования к архитектуре измерительных систем и приборов и их программно-алгоритмическому обеспечению.

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

Установлено, что, в связи с развитием методов избыточных измерений, архитектура измерительных систем и приборов существенно меняется по причине введения в нее формирователей физических величин. Последние включают в себя сенсоры, меры или стандартные образцы, 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.

Рассмотрены три наиболее популярные архитектуры АЦП, которые, с учетом областей их применения, вносят определенный вклад в архитектуру измерительных систем и приборов.

Использование поисковых систем и рекомендаций по выбору АЦП и ЦАП, предоставляемых производителями, в сочетании с фундаментальными знаниями об этих трёх архитектурах, могут помочь разработчику правильно выбрать АЦП для решения поставленной измерительной задачи.

Установлено, что предпочтительно использовать микроконтроллеры с ядрами Cortex-M, которые имеют единую систему команд. Это позволяет переносить программное обеспечение с одного процессора на другой. Все микроконтроллеры с различными ядрами совместимы по выводам (для одних типов корпусов). В совокупности с широким диапазоном наборов периферийных устройств и встроенной памяти, семейства контроллеров с ядрами Cortex-M0/3/4 предоставляют разработчикам беспрецедентный по гибкости инструмент, причем за достаточно низкую цену.

При создании архитектуры измерительной системы или прибора и их программного обеспечения необходимо учитывать требования к разделению программного обеспечения и его идентификации, требования к структуре программного обеспечения, требования к влиянию программного обеспечения на метрологические характеристики средства измерений, требования к защите программного обеспечения и данных, специальные требования к программному обеспечению.

Установлено, что на сегодняшний день наиболее перспективной является концепция микроядерной архитектуры операционных систем. Их новая архитектура основана на том, что в привилегированном режиме работает только очень небольшая часть операционной системы, называемая микроядром. Все остальные высокоуровневые функции ядра оформляются в виде приложений, работающих в пользовательском режиме.

Операционные системы, основанные на концепции микроядра, в высокой степени удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к современным операционным системам, поскольку обладают переносимостью, расширяемостью, надежностью и создают хорошие предпосылки для поддержки распределенных приложений. Основным недостатком микроядерной архитектуры является снижение производительности.

Отмечено, что в интерфейсе стандартизации подлежат состав и тип линий связи, электрические и временные параметры сигналов, форматы передаваемой информации, команды и состояния, алгоритмы функционирования, а также конструктивное исполнение соединений. В приборах широко используются интерфейсы RS-232, RS-485 и др.

При выборе концепции построения и архитектуры измерительных систем и приборов для экспресс диагностики состояния физических и биологических объектов необходимо широко использовать

существующие стандарты на измерительные системы и приборы в целом, на сенсоры, измерительные каналы и средства вычислительной техники (АЦП, ЦАП, микропроцессоры, микроконверторы и микроконтроллеры), удовлетворяющие требованиям ряда промышленных стандартов (ISO 9000), стандартам различной помехо-, магнито- и электрозащищенности разрабатываемых приборов и систем, а также, в ряде случаев, и требованиям военно-промышленных стандартов.

Литература

1. Нелинейность датчиков. Режим доступа: <http://automation-system.ru/main/item/25-nelinejnost-datchikov.html>.
2. Современные датчики. Дж. Фрайден. Справочник. М.: Техносфера. — 2006. — 592 с.
3. Кондратов В.Т., Грабарук Н.С. Интерференционный метод избыточных измерений показателя преломления оптически прозрачных материалов и веществ/ В.Т.Кондратов, Н.С.Грабарук //Научные труды X-й Юбилейной Международной научно-технической конференции „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Книга „Приборостроение”. — М.: МГУ ПИ, 2007. — С. 150 – 157.
4. Кондратов В.Т., Грабарук Н.С. Интерференційний спосіб надлишкових вимірювань показника заломлення оптично-прозорих матеріалів та речовин. Патент України на винахід № 84632, Бюл. № 21, 2008.
5. Кондратов В.Т., Грабарук Н.С. Цифровой рефрактометр. Патент України на винахід № 86693 С2, Бюл. № 9, 2009.
6. Кондратов В.Т., Шалдина Е.А. Избыточные измерения влажности воздуха методом точки росы /В.Т.Кондратов, Е.А.Шалдина //Научные труды X-й Юбилейной Международной научно-технической конференции „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Книга „Приборостроение”. — М.: МГУ ПИ, 2007. — С. 164 – 170.
7. Кондратов В.Т., Шалдина О.О. Цифровой вимірювач вологості повітря. Патент України на винахід № 87044 С2, Бюл. №11, 2009. — 10 с.
8. Кондратов В.Т. Цифровой вимірювач вологості зерна та інших сипких матеріалів. Патент України на винахід № 91245, Бюл. № 13, 2010.
9. Конощенко И.С. Мини-спектрометры серии MS фирмы Hamamatsu / И.С. Конощенко // Компоненты и технологии, №2, 2002. — С. 24 – 27.
10. Кондратов В.Т. Цифровой вимірювач параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини та параметрів кривої мікрогемодинаміки. Патент України на винахід № 104803 С2. Бюл. № 5, 2014.
11. Понятие открытой системы. Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
12. Открытые системы, процессы стандартизации и профили стандартов. Режим доступа: http://citforum.ru/database/articles/art_19.shtml.
13. Свойства открытых систем. Режим доступа: <http://do.gendocs.ru/docs/index-5597.html?page=4>.
14. Принцип открытой и наращиваемой ОС. Режим доступа: http://wiki.mvtom.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%BE%D0%B9_%D0%B8_%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%B9_%D0%9E%D0%A1.
15. Принцип открытой архитектуры. Режим доступа: <http://inf.gym5cheb.ru/p15aa1.html>.
16. Микроминиатюризация электронной аппаратуры. Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/cgi-bin/getpage.exe?cn=462&uid=0.239412697730586&inte=5>.
17. Комплексная микроминиатюризация. Режим доступа: [<http://www.ngpedia.ru/id156206p1.html>]
18. Технологии микроминиатюризации специальной радиоэлектронной аппаратуры на основе трехмерной компоновки. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/245994.html>
19. Надежность ЭВМ. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/1024934/>.
20. Глава 13. Метрологическая надежность средств измерений. Режим доступа: <http://ks-invest.ru/metrology/gl-87.html>.
21. Кондратов В.Т. Визуализация в метрологии: состояние и перспективы / В.Т.Кондратов // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: труды Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 19-22 апреля 2011 г.): под ред. д.т.н., проф. М.А.Щербакова. — Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. — 1 т. — С. 214 – 218.
22. Визуализация знаний. Режим доступа: http://www.letopisi.ru/index.php/Визуализация_знаний.
23. Кондратов В.Т. Визуализация в метрологии: уровни, направления, цели, задачи, методы и программное обеспечение /В.Т.Кондратов //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2011. — № 1. — С. 7 – 21.
24. Видеоника — это наука. Режим доступа: <http://kondratov.com.ua/index.php/2-uncategorised?start=96>.
25. Диаграмма связей. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B5%D0%B9.
26. Поднапрячься. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/es/128896/%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D1%87%D1%8C%D1%81%D1%8F>.

27. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія / Й.Й. Білінський — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 272 с.
28. Трибрат А.А. Построение автоматизированной системы определения контура объекта на примере изображения клеток. Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/tribrat/diss/index.htm>.
29. Рендеринг. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3>.
30. Системы с открытой архитектурой. Принципы построения. Режим доступа: http://www.itv.ru/experience_the_next_magazine/articles/2263/.
31. Классификация и общие принципы построения и применения информационных измерительных систем. Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=464837>
32. Платформа PXI. Режим доступа: <http://engineering-solutions.ru/products/pxi/>
33. Кондратов В.Т., Кондратов Ю.Т. Классификация интерфейсов измерительных систем и приборов / В.Т.Кондратов, Ю.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2014. — № 4. — С. 85-97.
34. Измерительные технологии VXI. Режим доступа: <http://vxi.su/>.

References

1. Nelinejnost datchikov. Rezhim dostupa: <http://automation-system.ru/main/item/25-nelinejnost-datchikov.html>.
2. Sovremennye datchiki. Dzh. Frajden. Spravochnik. M.: Tekhnosfera. — 2006. — 592 s.
3. Kondratov V.T., Grabaruk N.S. Interferentsionnyj metod izbytochnykh izmerenij pokazatelja prel'mlenija opticheski prozrachnykh materialov i veschestv/ V.T.Kondratov, N.S.Grabaruk //Nauchnye trudy X Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii „Fundamentalnye i prikladnye problemy priborostroenija, informatiki i ekonomiki”. Kniga „Priborostroenije”. — M.: MGU PI, 2007. — S. 150 – 157.
4. Kondratov V.T., Grabaruk N.S. Interferentsijnyj sposib nadlishkovykh vymiryuvan pokaznyka zalomlennja optychno-prozorykh materialiv ta rečovyn. Patent Ukrainy na vynakhid № 84632, Byul. № 21, 2008.
5. Kondratov V.T., Grabaruk N.S. Tsyfrovij refraktometr. Patent Ukrainy na vynakhid № 86693 S2, Byul. № 9, 2009.
6. Kondratov V.T., Shaldina O.O. Izbytochnye izmerenija vlazhnosti voadukha metodom tochki rosy /V.T.Kondratov, O.O. Shaldina //Nauchnye trudy X Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii „Fundamentalnye i prikladnye problemy priborostroenija, infirmatiki i ekonomiki”. Kniga „Priborostroenije”. — M.: MGU PI, 2007. — S. 164 – 170.
7. 7. Kondratov V.T., Shaldina O.O. Tsyfrovij vymiryuvach vologosti povitryja. Patent Ukrainy na vynakhid № 87044 S2, Byul. №11, 2009. — 10 s.
8. Kondratov V.T. Tsyfrovij vymiryuvach vologosti zerna ta inshykh sypykykh materialiv. Patent Ukrainy na vynakhid № 91245, Byul. № 13, 2010.
9. Konyushenko I.S. Mini-spektrometry serii MS firmy Hamamatsu / I.S. Konyushenko // Komponenty i tehnologii, №2, 2002. – S. 24- 27.
10. Kondratov V.T. Tsyfrovij vymiryuvach parametrov protsesu mikrosirkuljatsii krovi v paltsiakh kintsivok lyudyny ta parametrov kryvoji mikrogemodynamiky. Patent Ukrainy na vynakhid № 104803 S2. Byul. № 5, 2014.
11. Ponjatije otkrytoj sistemy. Rezhim dostupa: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
12. Otkrytye sistemy, protsessy standartizatsii i profili standartov. Rezhim dostupa: http://citforum.ru/database/articles/art_19.shtml.
13. Svoystva otkrytykh sistem. Rezhim dostupa: <http://do.gendocs.ru/docs/index-5597.html?page=4> .
14. Printsyp otkrytoj i naraschivaemoj OS. Rezhim dostupa: http://wiki.mvmt.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%BE%D0%B9_%D0%B8_%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%B9_%D0%9E%D0%A1.
15. Printsyp otkrytoj arkhitektury. Rezhim dostupa: <http://inf.gym5sheb.ru/p15aa1.html>.
16. Mikrominiaturizatsija elektronnoj apparatury. Rezhim dostupa: <http://www.ngpedia.ru/cgi-bin/getpage.exe?cn=462&uid=0.239412697730586&inte=5>.
17. Kompleksnaja mikrominiaturizatsija. Rezhim dostupa: <http://www.ngpedia.ru/id156206p1.html>
18. Tehnologii mikrominiaturizatsija spetsialnoj radioelektronnoj apparatury na osnove trekhmernoj komponovki. Rezhim dostupa: <http://technomag.bmstu.ru/doc/245994.html>
19. Nadezhnost EVM. Rezhim dostupa: <http://www.studfiles.ru/preview/1024934/>.
20. Glava 13. Metrologicheskaja nadezhnost sredstv izmerenij. Rezhim dostupa: <http://ks-invest.ru/metrology/gl-87.html>.
21. Kondratov V.T. Visualisatsija v metrologii: sostojanije i perspektivy / V.T. Kondratov // Problemy avtomatizatsii i upravlenija v tekhnicheskikh sistemakh: trudy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (g. Penza, 19 – 22 aprelya 2011 g.): pod red. d.t.n., prof. M.A.Scherbakova. — Penza: Izd-vo PGU, 2011. — 1 t. — S. 214 – 218.
22. Visualisatsija znaniy. Rezhim dostupa: http://www.letopisi.ru/index.php/Визуализация_знаний.
23. Kondratov V.T. Visualisatsija v metrologii: urovni, napravlenija, tseli, zadachi, metody i programnoje obespechenije /V.T.Kondratov //Vymiryvalna ta obchislyvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh. — 2011. — № 1. — S. 7 – 21.
24. Videonika — eto nauka. Rezhim dostupa: <http://kondratov.com.ua/index.php/2-uncategorised?start=96>.
25. Diagramma svjazej. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%BC%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B5%D0%B9.
26. Поднапрячься. Rezhim dostupa: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/es/128896/%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D1%87%D1%8C%D1%81%D1%8F>.
27. Metody obrobky zobrazen v kompyuterizovanykh optyko-elektroennykh systemakh: monografija/ I.I. Bilynskiy — Vinnytsja: VNTU, 2010. — 272 s.
28. Trybrat A.A. Postroenije avtomatizirovannoj sistemy opredelenija kontura objekta na primere izobrazhenija kletok. Rezhim dostupa: <http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/tribrat/diss/index.htm>.
29. Redering. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3>.
30. Sistemy s otkrytoj arkhitekturoj. Printsypy postroenija. Rezhim dostupa: http://www.itv.ru/experience_the_next_magazine/articles/2263/.
31. Klassifikatsija i obschije printsypy postroenija i primenenija informatsionnykh izmeritelnykh sistem. Rezhim dostupa: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=464837>
32. Platforma PXI. Rezhim dostupa: <http://engineering-solutions.ru/products/pxi/>

34. Kondratov V.T., Kondratov Yu.T., Klassifikatsija interfejsov szmeritelnykh sistem i priborov/ V.T.Kondratov, Yu.T.Kondratov // Visnyk Khmel'nitskogo natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky. — 2014. — № 4. — S. 85 – 97.

35. Izmeritelnyje tekhnologii VXi. Rezhim dostupa: <http://vxi.su/>.

Рецензія/Peer review : 17.7.2014 р.

Надрукована/Printed : 1.12.2014 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://visnikup.narod.ru/rules/>

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 26.11.2014 р.**

Підп. до друку 27.11.2014 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65

Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.

Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету” редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63