

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 004.9

ПРОТОТИП АДАПТИРУЕМОГО МОДУЛЬНОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

© 2012 г. И. В. Радевич, Д. Д. Недеогло, Е. П. Гончаренко

*Государственный университет Молдовы, физический факультет, кафедра
прикладной физики и информатики*

Молдова, MD-2009, Кишинёв, ул. А. Матеевича, 60

E-mail: radevici@usm.md; тел.: +373 22 577709, +373 79 649361

Поступила в редакцию 15.06.2011 г.

Представлена логическая схема адаптируемого устройства для управления процессом измерения и сбора экспериментальных данных. Адаптация к конкретному типу измерения достигается путем объединения в обособленные взаимозаменяемые программные и электронные узлы всех базовых компонентов устройства и его программного обеспечения. Прототип устройства разработан на примере автоматизации установки по измерению спектральных зависимостей физических величин. Показана возможность адаптации на примере модификации реализованной схемы к измерению вольт-амперных характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время автоматизация процессов сбора, первичной обработки и хранения экспериментальных данных является неотъемлемой частью измерительного процесса. Автоматизация измерительных установок, применяемых на практике, требует решения двух задач: установления связей между компонентами измерительной системы и информационной системой (и.с.), роль которой чаще всего выполняет персональный компьютер, и разработки системы управления, координирующей работу каждого компонента измерительной системы, решающей задачи преобразования данных и предоставления интерфейса управления и визуализации результата исследователю [1]. Первая задача в ряде случаев, частично, решается производителем измерительных приборов, предоставляющим готовые решения по связи прибора с информационной системой, а в некоторых случаях, и программного обеспечения со стороны информационной системы.

Недостатками таких решений являются невозможность прямого соединения измерительных компонентов в обход и.с., что значительно замедляет скорость сообщения между компонентами [2], увеличивает длину соединительных магистралей, а следовательно, и повышает вероятность возникновения помех и ошибок в линиях передач [3, 4]; адаптированность программного обеспечения приборов к определенному типу операционной системы, что может явиться препятствием объединения отдельных компонентов в общую измерительную систему; возможная нехватка не-

обходимых портов ввода-вывода и.с. в случае прямого подключения к ней большого числа компонентов [1]. Решение второй задачи, задачи создания системы управления измерительной системой, в общем случае затруднено ввиду невозможности заранее предугадать необходимые связи между компонентами системы, тип компонентов, их режим работы и прочее. Существующие коммерческие решения этой задачи только облегчают построение связей между компонентами, однако уменьшая время на разработку системы, они значительно замедляют скорость ее работы, потому что в большинстве случаев не имеют средств обработки прерываний портов ввода-вывода и характеризуются пониженной точностью системных таймеров [5]. Более того, готовые решения часто ориентированы на измерительные приборы конкретного производителя [1, 2, 5] и могут быть несовместимы с приборами, имеющимися в наличии, отказ от которых невозможен или нежелателен.

Авторами разработана модульная система автоматизации измерений, состоящая из электронного устройства управления (УУ) и программной части сбора данных, позволяющая решить обе обозначенные выше задачи. Наличие электронной части позволяет решить проблему совместности различных компонентов измерительной системы, а также реализовать при необходимости систему реального времени, что крайне затруднительно при использовании готовых решений. Программная часть, в свою очередь, позволяет реализовать управление измерительной системой из различных операционных систем и достаточно

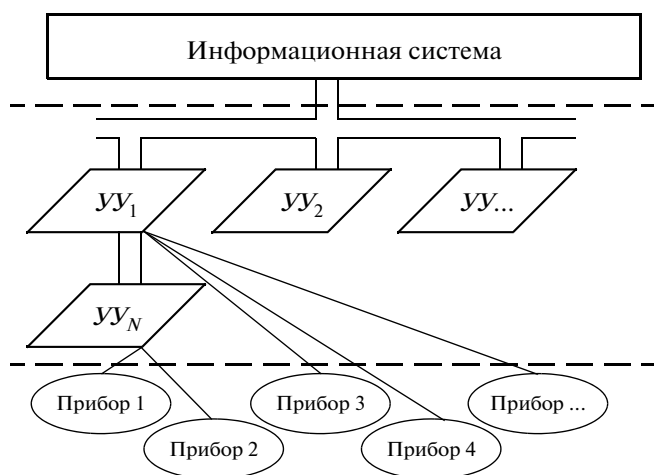


Рис. 1. Логическая организация прототипа устройства.

простую адаптацию устройства к другому типу производимого измерения. Модульная система позволяет также комбинировать разработанное устройство и программную часть с готовыми решениями.

ЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Логическая структура автоматизированной измерительной системы представлена на рис. 1. По типу физического и логического подключения система представляет собой дерево, в корне которого находится и.с. с программным обеспечением (п.о.). На втором уровне находятся УУ, количество которых зависит от сложности измерительной системы, числа различных измеряемых величин и управляемых приборов, а также количества портов ввода-вывода на базовой микросхеме УУ, в простейшем случае на втором уровне должно содержаться одно устройство (УУ₁). В случае, если портов УУ₁ не хватает для сообщения со всеми подключенными приборами, то на второй уровень подключаются УУ₂, УУ₃ и т.д., продолжающие список команд УУ₁ и полностью эквивалентные по внутренней организации. Количество УУ определяется в процессе планировки измерительной системы, однако может быть впоследствии увеличено.

С точки зрения информационной системы все УУ, находящиеся на втором уровне, представляют собой одно логическое устройство: п.о. отправляет команду в канал, не указывая какое УУ должно ее исполнить, после чего ожидает данные из канала. Каждое устройство управления получает все команды, однако реагирует (подтверждает получение, исполняет, отправляет результат) только в случае, если полученная команда есть в списке команд данного УУ. В случае ошибки в передаче команды (например, неверная контрольная сум-

ма или бит четности, в зависимости от используемого протокола связи) или при отправке несуществующей команды запрос на повторный отсыл команды дает УУ₁. Фактически УУ₁ выполняет роль координатора второго уровня, имея в наличии весь список команд, которые могут быть отсланы и.с., и реагируя на сбои в работе системы, поэтому существует возможность подключения УУ_N как ведомого устройства к УУ₁, однако такое подключение вызовет определенные задержки в исполнении команд, а потому не может быть использовано в ряде случаев. На третьем уровне логической организации находятся измерительные приборы, а также средства, изменяющие условия измерений (управляемые блоки питания, средства регулировки температуры и др.).

Функцией устройства управления в логической схеме измерительной системы является прием сообщений от и.с., их интерпретация и трансляция в команды конкретного прибора. Учитывая отмеченную ранее возможную несовместимость протоколов и команд управления различных измерительных приборов, а также требование адаптации УУ к различным типам измерений, наиболее простым решением внутренней организации логического устройства становится системное программное обеспечение (с.п.о.). При использовании с.п.о. процесс модификации может быть сведен к добавлению новых программных и электронных узлов, причем добавление последних в ряде случаев можно избежать. Использование с.п.о. добавляет ряд ограничений на электронные компоненты логического устройства, которые для реализации адаптации должны позволять внутрисхемное программирование. Это, в свою очередь, вносит еще один логический блок в схему УУ – систему внутрисхемного программирования.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма с.п.о. Алгоритм представляет собой бесконечный цикл, на первом шаге которого происходит ожидание сообщения от и.с. и следующая за приемом проверка целостности сообщения. В случае успешной проверки УУ₁ отправляет сообщение о принятии пакета, в противном случае отправляется сообщение об ошибке и осуществляется возврат к началу первого шага. На втором шаге анализируется сообщение, присланное и.с.: из него выделяется собственно инструкция, а также сопутствующие данные.

Если команда может быть выполнена одним из УУ, то оно отправляет сообщение о начале выполнения, после чего запускает подпрограмму выполнения соответствующей инструкции. В случае, если ни одно из УУ не может выполнить присланной инструкции, УУ₁ отправляет сообщение об ошибке и система по команде и.с. переходит на начало первого шага. Третий шаг алгоритма начинается после завершения подпрограммы выпол-

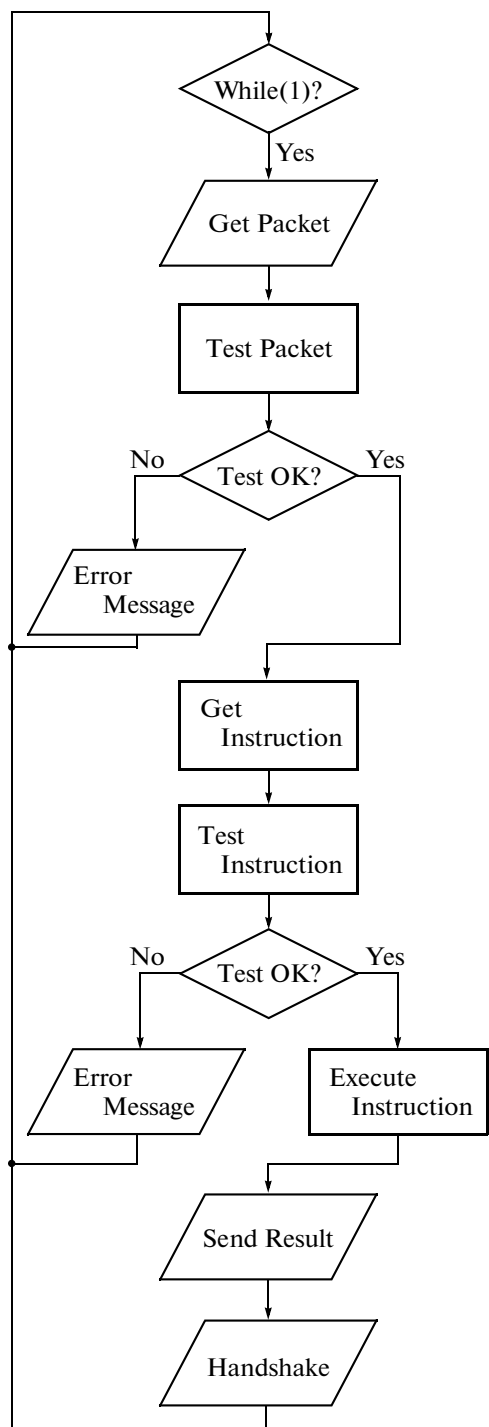


Рис. 2. Блок-схема алгоритма системного программного обеспечения логического устройства.

нения инструкции. Устройство управления, выполнившее инструкцию, ожидает сообщения и.с. о возможности приема пакета данных, сформированного в результате исполнения инструкции, после чего отправляет пакет. Третий шаг завершается “рукопожатием”: в случае правильного приема пакета данных и.с. отправляет сообщение о прие-

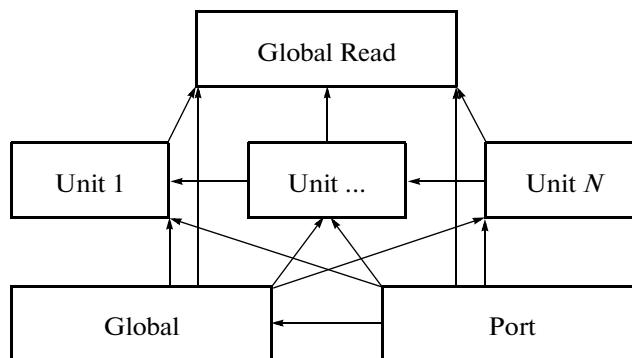


Рис. 3. Модульная организация программного обеспечения информационной системы.

ме, после чего УУ переходит в начало первого шага алгоритма, в случае сообщения об ошибке управление передается на начало третьего шага.

Поскольку и.с. воспринимает все устройства, находящиеся на втором уровне (рис. 1), как единое, выполнение следующей инструкции не может быть начато до окончания выполнения предыдущей. В последующих модификациях устройства возможно введение адресации каждого конкретного УУ, что позволит многопоточное выполнение инструкций. Также следует отметить, что подтверждение приема-передачи на каждом шаге алгоритма может быть избыточным в случае использования протоколов, требующих на аппаратном уровне повторной отправки пакетов с ошибками [6].

Программное обеспечение информационной системы представляет собой набор отдельных модулей, в каждом из которых содержится ряд подпрограмм, нацеленных на выполнение определенной задачи в рамках системы, например обеспечение графического интерфейса или обеспечение обмена данных с УУ. Взаимосвязь модулей показана на рис. 3. Модуль Port содержит системно-зависимые функции, например функции API. Целью выделения этого модуля является облегчение транспортирования программного обеспечения на и.с. под управлением операционных систем, отличающихся от целевой на момент написания. Учитывая возможность использования системно-зависимых функций в любом модуле (например, использование счетчика тактов операционной системы для максимально точного временного разрешения), Port подключается ко всем остальным модулям, которые являются системно-независимыми и могут транспортироваться без модификаций.

Модуль Global содержит декларации глобальных переменных, констант и типов. Также в нем находится ряд функций, позволяющих сформировать инструкцию для УУ, исходя из набора команд для конечного прибора и сопроводительных

данных. Модуль Global должен быть подключен ко всем модулям п.о., выполняющим преобразования измерительных данных, т.е. ко всем модулям, за исключением Port, выполняющего роль библиотеки.

Модули Unit1–UnitN представляют собой структуры обеспечения диалога с пользователем, например графопостроитель, поля ввода начальных данных, поля слежения и пр. Предполагается выделять в каждом интерфейсном модуле элементы, характерные для определенного типа измерений.

Модуль GlobalRead является ядром п.о., в нем содержится анализатор данных, получаемых от устройства управления, а также контрольные структуры, отвечающие за поведение системы во время проведения измерения. Фактически этот модуль содержит алгоритм, комплементарный алгоритму с.п.о., при каждом повторении которого определяется необходимость выполнения устройством управления той или иной инструкции, диалога с пользователем, завершения работы. При адаптации п.о. к проведению другого типа измерения основным изменениям подвергается именно этот модуль, в котором пошагово описывается список действий, необходимых для получения конечного результата.

Недостатком описанной модульной системы является необходимость перекомпиляции всего п.о. при внесении изменений в любой из модулей. Однако логическим развитием такой системы является система динамически подключаемых модулей (плагинов), которая позволит сохранить в базовой конфигурации минимальное количество модулей, подключая остальные прекомпилированные модули только в случае необходимости без дополнительной перекомпиляции п.о. в целом.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Примером реализации предложенной логической структуры может служить автоматизированная установка по измерению спектральных зависимостей физических величин, например пропускания или фотолюминесценции. Принципиальная схема УУ, реализованная для данной установки, приведена на рис. 4. Представленная схема состоит из двух блоков управления приборами (*Ia*, *Ib*), блока связи с и.с. (*II*), логического устройства (*III*) на программируемом микроконтроллере и блока, позволяющего производить внутрисхемное программирование логического устройства (*IV*).

В обсуждаемой реализации прототипа блок *Ia* используется для изменения спектральной позиции монохроматора, необходимого для развертки спектров. Данная схема предполагает использование стороннего блока управления шаговым двигателем монохроматора, управляющие им-

пульсы которого коммутируются электромагнитными реле, после чего, проходя соответствующее усиление в схеме блока управления, передаются на двигатель.

Контроль позиции монохроматора реализован в с.п.о. и осуществляется путем отчета числа управляющих импульсов в единицу времени и соотношения изменения спектральной позиции за определенный временной интервал. Точность отчета временных интервалов позволяет осуществлять изменение позиции с точностью не менее 0.05% (точность установки позиции по барабану монохроматора не хуже 0.125 нм при изменении позиции на 320 нм при максимальной скорости развертки спектра в 80 нм/мин; при уменьшении скорости развертки спектра или сокращении измеряемого спектрального интервала точность повышается), что значительно ниже погрешности, вносимой в определение длины волны обратной линейной дисперсией оптической системы.

Блок *Ib* обеспечивает снятие данных с симметричного входа вольтметра через делители напряжения с плечами, подключенными к опорному сигналу аналого-цифрового преобразователя (а.ц.п.). Подобное подключение входов а.ц.п. позволяет вдвое расширить интервал аналогового входного сигнала за счет добавления возможности измерения отрицательных напряжений, не превышающих по модулю опорный сигнал. Использование такого подключения обусловлено необходимостью цифрования отрицательных напряжений, снимаемых с симметричного входа измерительного прибора. Точность цифрования при подобном подключении уменьшается вдвое за счет увеличения интервала оцифровки и для предложенной реализации составляет >0.02% (точность >1 мВ в пределах ± 5 В) при соответствующей точности сопротивлений в плечах делителя. В случае необходимости более точных измерений предусмотрено прямое подключение аналогового выхода измерительного прибора к входу а.ц.п.

Электронные схемы блока преобразователя уровня сигналов для передачи данных и.с., блока внутрисхемного программирования, а также схема подключения микроконтроллера соответствуют схемам подключения использованных электронных компонентов [7–9].

В описанной установке были выделены три инструкции: изменение спектральной позиции в синюю область спектра, изменение спектральной позиции в красную область спектра, измерение. Сопутствующими данными являются соответственно величина смещения, количество измерений и тип усреднения. Была использована передача двухбайтных сообщений: в старших четырех битах старшего байта содержится команда, а в его младших четырех битах и младшем байте содержатся сопутствующие данные. Функция разделения данных в этом случае представляет собой по-

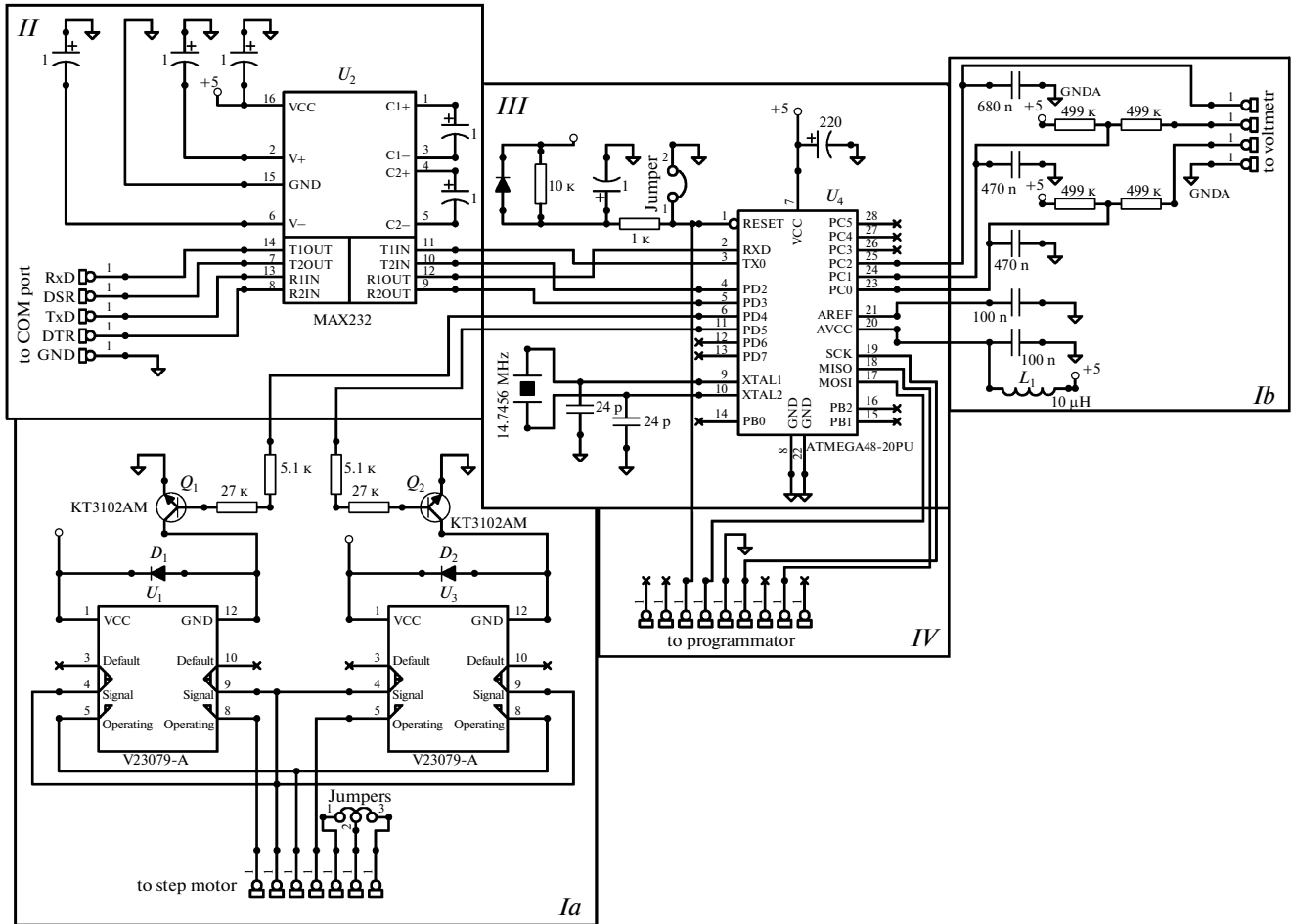


Рис. 4. Принципиальная схема устройства управления, адаптированная для измерения спектральных зависимостей физических величин.

битовое смещение старшего байта с сохранением выдвинутых битов в другой регистр, после чего происходит переход в область кода, определенную значением инструкции и зависящую от используемых приборов.

Программное обеспечение и.с. в данной реализации содержит два интерфейсных модуля, в первом из которых прописаны элементы контроля измерений, а также графопостроитель. Второй модуль используется для задания параметров измерения: начальной и конечной точки, шага дискретизации, способа измерения и предварительной обработки данных. После задания начальных данных и запуска измерения п.о. формирует отдельный поток опроса порта в асинхронном режиме с использованием маски принятия символа. Код поточного чтения реализован в системно-зависимом модуле Port. В тот момент, когда принимается пакет данных, происходит синхронизация потока чтения с основным потоком п.о., после чего происходит передача пакета в системно-независимый модуль GlobalRead, где происходит

анализ пакета и определение реакции и.с. на принятый пакет.

Анализ происходит в два этапа: на первом этапе анализируется шаг протокола, на котором был получен пакет данных, после чего и.с. отправляет УУ сообщение о принятии данных либо об ошибке, второй этап реализуется после “рукопожатия”. На втором этапе п.о. выделяет из структуры слежения за ходом обмена (ProcRecord) инструкцию, посланную УУ, затем в соответствии с этой инструкцией полученное сообщение преобразуется в удобную для обработки форму (GetDataDAC).

Данные УУ передаются в подпрограмму обработки, зависящую от типа производимого измерения. Например, в описываемом примере после получения значения измерения с вольтметра данные о спектральной позиции монохроматора и значении измерения передаются на графопостроитель (Plotter), после чего сохраняются в специальной структуре (StoreData) с целью последующей записи в файл или передачи на обработку другому модулю. После обработки данных опре-

деляется ответная реакция системы на присланные данные (FormCommand): завершение работы, отправка следующей инструкции, определение типа инструкции к отправлению.

Примером модификации представленного прототипа может служить адаптация описанной выше системы к измерению вольт-амперных характеристик. Схема измерения в общем случае подразумевает установку некоторого начального напряжения на образце, проведение необходимых измерений, после чего повышение (понижение) напряжения на заданный шаг с повторением описанной процедуры до тех пор, пока напряжение на образце не станет равным (или больше), заданному конечному напряжению. С точки зрения прототипа модификация будет заключаться в замене блоков управления монохроматором (рис. 4, *1a*) на блок управления блоком питания, подающим напряжение на образец. Регистрация тока, протекающего через образец, может быть заменена измерением падения напряжения на последовательном резисторе.

Изменения п.о. информационной системы будут заключаться в модуле анализатора Global-Read. Необходимо будет добавление одного дополнительного обработчика для управления блоком питания, аналогичного по структуре с использованным для изменения позиции монохроматора, а также создание подпрограмм формирования команды и преобразования данных, которые согласно логической схеме должны находиться в модуле Global. Адаптация не затрагивает интерфейсные модули: сохраняется точка начала измерения — начальное напряжение на образце, конца измерения, шаг дискретизации, графопостроение. Ввиду сохранения системы обмена с и.с. неизменной, модуль Port модифицироваться не будет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена логическая реализация адаптируемой системы автоматизации физических измерений, состоящая из управляющего программируемого устройства и программного обеспечения информационной системы. Описанный прототип и его модификация подтверждают возможность адаптации системы к определенным типам измерений путем добавления или изменения программных и управляющих блоков. Следует отметить, что логическая структура разработки допускает комбинацию управляющей схемы с коммерческим программным обеспечением или комбинацию разработанного программного обеспечения с существующими системами управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Data Acquisition Fundamentals. Application Note 007. National Instruments, 2002.
2. *Harvey A.F.* DMA Fundamentals on Various PC Platforms and Data Acquisition Division Staff. Application Note 011. National Instruments, 1991.
3. *Cohen L.* // IEEE Signal Processing Magazine. 2005. V. 22. Issue 6. P. 20.
4. *Schraff F.* // Sensors Magazine. 1996. V. 13. № 4. P. 31.
5. National Instruments. The Measurement and Automation Catalog. 2004. P. 774–776.
6. Universal Serial Bus Specification. Revision 2.0. Apr. 2000.
7. Atmel ATMega48A Datasheet. Rev. C. 8271D-AVR-05/11. 2011.
8. *Morton J.* AVR an Introductory Course. Oxford: Newnes, 2002.
9. Choosing the Right RS-232 Transceiver. MAXIM. Application Note 2020. 2003.