

УДК 530 (075.8)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Бержанский В.Н., Власова Т.А., Лагунов И.М.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: berj@pop.cris.net, vlasova.ta@gmail.com, lagunov.igor@gmail.com*

В статье рассмотрена автоматизированная система управления и регистрации экспериментальных данных широкого назначения. Система разработана на базе многофункционального AVR-микроконтроллера, современных прецизионных аналогоцифровых и цифроаналоговых преобразователей различной разрядности и изготовлена в лаборатории функциональных материалов и волоконной оптики ТНУ.

Ключевые слова: физический эксперимент, автоматизированная система измерений, микроконтроллер, магнитные материалы, физический практикум.

ВВЕДЕНИЕ

Современный физический эксперимент, как правило, базируется на применении персонального компьютера, связанного со стандартными и уникальными приборами экспериментальной установки, а также с ее отдельными механическими, оптическими, силовой и другими частями. Однако, постоянное развитие компьютерной техники и усложнение физического эксперимента требуют проведения регулярной модернизации автоматизированных систем с учетом современной схемотехники и изменения самой концепции взаимодействия всех частей физической экспериментальной установки с компьютером.

История автоматизации экспериментальных физических установок прошла несколько этапов:

- подключение приборов напрямую к компьютеру через стандартный параллельный интерфейс обмена информацией [1-3];
- подключение приборов экспериментальной установки к компьютеру через внутреннюю специализированную плату расширения с шиной ISA, PCI и т.д. [4, 5];
- подключение частей экспериментальной установки через встраиваемый модуль форм-фактора 3.5 и 5 дюймов, устанавливаемый с лицевой панели компьютера [6];
- взаимодействие всех частей экспериментальной установки (в том числе и приборов) с компьютером через внешний отдельный микропроцессорный блок по последовательному интерфейсу обмена.

Каждый из вышеизложенных вариантов автоматизации физического эксперимента имеет свои положительные и отрицательные стороны, однако в настоящее время последний вариант автоматизации более предпочтителен, так как отличается следующими положительными сторонами:

- независимостью от наличия необходимых для эксперимента внутренних шин компьютера и их незанятостью другими слотами;
- независимостью от форм-фактора корпуса компьютера и его типа;
- возможностью и простотой постоянной модернизации микропроцессорного блока, учитывая новые требования эксперимента, путем добавления в него небольших плат расширения, обменивающихся информацией с центральным модулем блока по 2-х проводной шине;
- наличием собственного источника питания с повышенными требованиями к стабилизации аналоговых частей автоматизированной системы;
- возможностью проведения автономных (демонстрационных, удаленных, учебных и т.д.) экспериментов без применения внешнего компьютера по алгоритмам работы, записанным во flash-память управляющего микропроцессорного блока с отображением текущих системных сообщений и данных эксперимента на встроенном LCD-дисплее.

В настоящей статье рассмотрена автоматизированная система последнего поколения, оптимизированная для проведения экспериментов по изучению физических свойств магнитных материалов, согласно [7, 8]. Состав и функциональность модулей микропроцессорного блока автоматизированной системы определялся в соответствии с требованиями к работе подобных установок.

Данная система разработана и изготовлена в лаборатории функциональных материалов и волоконной оптики Таврического национального университета имени В.И. Вернадского в рамках научно-исследовательской работы № госрегистрации 0106U001749. Дополнительно, система ориентирована для проведения учебных занятий на кафедре экспериментальной физики ТНУ по дисциплинам «Физика магнитных явлений», «Сенсорика», «Автоматизация научных исследований».

1. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Развитие микроэлектроники за последние годы в области встраиваемых микроконтроллеров (embedded microcontroller) [9, 10] и прецизионных аналогоцифровых (АЦП) и цифроаналоговых (ЦАП) преобразователей, позволило реализовать поставленные перед автоматизированной системой требования согласно варианту автоматизации с внешним (относительно компьютера) управляющим микропроцессорным блоком (рис. 1).

В целом автоматизированная система состоит из: набора аналоговых и цифровых сенсоров; стандартных приборов; микропроцессорного блока управления экспериментом и снятия экспериментальных данных; персонального компьютера.

Встраиваемый многофункциональный микроконтроллер на базе ядра AVR [11] определяет работу микропроцессорного блока, в состав которого также входят аналоговые и цифровые интегральные микросхемы, обеспечивающие снятие информации с сенсоров, ее оцифровку, запись во внутреннее энергонезависимое ОЗУ микропроцессорного блока (для защиты от сбоев компьютера при длительном эксперименте) с одновременной или последующей ее передачей через стандартный интерфейс обмена в персональный компьютер.

Конструктивно микропроцессорный блок выполнен в отдельном корпусе с внешними разъемами. На лицевой панели блока расположены кнопки дополнительного управления и алфавитно-цифровой жидкокристаллический LCD дисплей с внутренней подсветкой для отображения системных сообщений и текущих данных эксперимента. На обратной стороне блока расположены кнопка «Сброс» и разъемы для: ввода аналоговой информации (с сенсоров) и цифровой информации (с приборов, сенсоров конечного положения); вывода аналоговой информации управления внешними силовыми приборами (блоки питания типа СИП-35, СНП-40); вывода оцифрованной информации данных по интерфейсу обмена. Кнопка «Сброс» используется для перезапуска микропроцессорного блока в случае необходимости (зависания системы). Защита от зависания блока дублируется также системой Watch Dog применяемого микроконтроллера и соответствующей программной частью алгоритма.



Рис. 1. Микропроцессорный блок в составе автоматизированной установки вибромагнитометра.

Схемотехника микропроцессорного блока базируется на микроконтроллере фирмы Atmel (ATmega8535) [12]. Функциональная схема блока приведена на рис. 2. Аналоговая информация с сенсоров поступает в модуль аналогового сигнала на буферные каскады предварительного усиления и затем на масштабирующие усилители. Сигнал, отмасштабированный с помощью операционных усилителей (типа INA122) к диапазону конкретного аналого-цифрового преобразователя, поступает на АЦП (типа 24-разрядных ADS1210, ADS1211 и 12-ти разрядных AD7896, ADS7816) и далее по внутреннему последовательному интерфейсу на микроконтроллер. Аналоговые сигналы, для которых требуется меньшая разрядность (8-10 разрядов, например, ручек управления отдельных частей экспериментальной установки и т.д.) после масштабирования поступают напрямую

на встроенные АЦП самого микроконтроллера. Аналоговый вывод информации (для управления внешними силовыми устройствами) реализован на двух последовательных 16-ти разрядных ЦАП AD5542 и внутреннем 16-ти разрядным широтно-импульсном модуляторе ШИМ (с накоплением заряда на RC-цепочке с последующим буферированием).

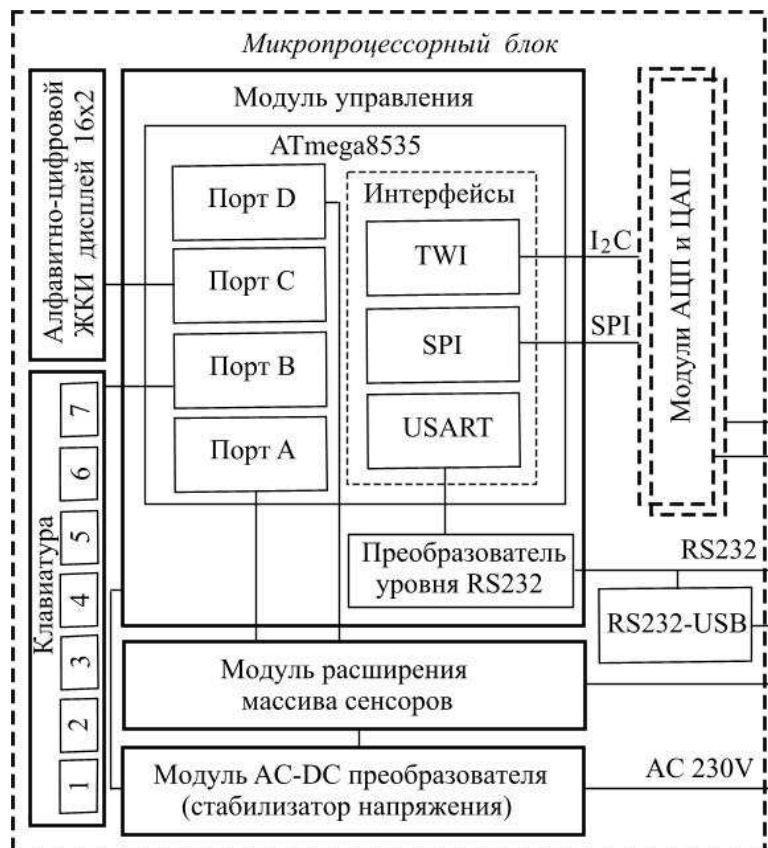


Рис. 2. Функциональная схема микропроцессорного блока.

Кнопка «Сброс» используется для перезапуска микропроцессорного измерительного блока в случае необходимости (зависания системы). Защита от зависания микропроцессорного блока дублируется также системой Watch Dog применяемого микроконтроллера и соответствующей программной частью алгоритма.

С целью минимальной модернизации микропроцессорного блока при возможном последующем расширении технического задания, блок выполнен по модульной схеме рис. 2. Для этого предусмотрено включение в блок различных модулей расширения, обменивающегося информацией с микроконтроллером по параллельным портам Порт А-Д (или их отдельных групп бит), а также

внутреннему интерфейсу TWI (Two-Wire serial Interface) и SPI (Serial Peripheral Interface) микроконтроллера.

Для реализации интерфейса TWI достаточно два информационных провода. Более того, модули расширения могут быть подключены параллельно к данным двум проводам. Однако, интерфейс TWI менее скоростной, по сравнению с SPI. Таким образом, подключение модулей (или сенсоров напрямую) к микроконтроллеру по интерфейсу TWI можно рекомендовать только в таких случаях, когда желательна минимальное число соединительных проводов, но допустима небольшая частота выборки данных.

Для работы по интерфейсу SPI необходимы три информационных провода к каждому модулю (параллельно) и один провод выборки конкретного модуля. Интерфейс SPI более скоростной по сравнению с TWI и допускает производить выборку данных от модулей в несколько раз быстрее. Поэтому, подключение модулей к микроконтроллеру по интерфейсу SPI можно рекомендовать в тех случаях, когда для обработки данных необходима максимальная скорость их выборки, но допустимо увеличение числа соединительных проводов.

Микроконтроллер блока обменивается информацией с жидкокристаллическим дисплеем по 4-х битовому параллельно-последовательному внутреннему интерфейсу [13] с дополнительными стробирующими сигналами (выбор команды, запись/чтение, строб данных).

Учитывая, что уровни напряжения функционального блока USART (Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receive and Transmitter) микроконтроллера не соответствуют требованиям уровней напряжений последовательного интерфейса RS232, в микропроцессорный блок была введена интегральная схема MAX232 (4-х канальный преобразователь уровня напряжения). Данная микросхема преобразует уровни логического 0 и 1 микроконтроллера (0.4 ; 5 В) в уровни 0 и 1 интерфейса RS232 (-9 В ; +9 В). Интерфейс USB реализован через стандартный конвертор RS232-USB, встроенный в блок.

Для возможности изменения различных режимов работы блока на его лицевую панель выведена клавиатура из 7-ми кнопок. Данная клавиатура подключена к параллельному порту микроконтроллера. Назначение кнопок (см. рис. 2) следующее (на рис. 1 последовательно слева направо):

- кнопка «режим» (1) - главное меню выбора режима изменения параметров эксперимента (часто используемые методики проведения эксперимента; время сканирования данных; установка максимального магнитного поля для проведения эксперимента и т.д.);
- две кнопки «движение вниз», «движение вверх» (2, 3) - подменю первого уровня, используемое для конкретизации выбора режима работы измерительного блока, работающее при движении по циклу выбора (например, снятие кривой намагничивания, петли гистерезиса, многократного прохода по петле и т.д.);
- две кнопки (4, 5) изменения численного значения (также по циклу вверх-вниз) отображаемого в первой строке LCD дисплея параметра эксперимента (например, численного значения времени сканирования данных, развертки

магнитного поля, численного значения максимального магнитного поля при проведении конкретного эксперимента);

- кнопка «переполюсовка» (6) - переполюсовка электромагнита (кнопка блокируется при проведении эксперимента);
- кнопка «запуск» (7) - начало работы блока по выбранным параметрам (аналог кнопки Enter), нажимается, когда выбор режима работы и численных значений различных определяющих величин осуществлен.

Все части микропроцессорного блока работают согласно алгоритму, находящегося в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ микроконтроллера (flash-memory). В блоке предприняты меры для дополнительной стабилизации напряжения питания, что связано с необходимостью увеличения коэффициента стабилизации аналоговой части блока. Для этой цели в схемотехнику блока введены интегральные микросхемы – линейные стабилизаторы напряжения фирмы Motorola.

Технические характеристики микропроцессорного блока

число аналоговых каналов ввода данных.....	8
число аналоговых каналов вывода.....	3
память программ, кБ	8
скорости обмена по интерфейсу RS232 до, б/с	57600
тип интерфейса обмена	RS232, USB2.0
скорость обмена по интерфейсу RS232, б/с	9600
напряжение питания, В	220
частота напряжения питания, Гц.....	50
потребляемая мощность (без компьютера), Вт.....	10
время непрерывной работы	не ограничено
время безотказной работы, ч (не менее)	4000
масса (без соединительных шнуров), кг	1
линейные размеры корпуса, см	20x10x5

Предусмотрена возможность (установлены разъемы) увеличения числа сенсоров с аналоговым и цифровым выходом при минимальной модернизации микропроцессорного блока.

Персональный компьютер выполняет функции промежуточной табличной и графической визуализации получаемой информации с сенсоров в режиме реального времени, внешнего управления микропроцессорным блоком, записи экспериментальных данных на носители информации различного типа.

2. ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

Работа автоматизированной системы осуществляется при взаимодействии всех ее составных частей, программное обеспечение которых выполнено на языках различного уровня: программа микропроцессорного блока написана на языке ассемблер соответствующего микроконтроллера, программа персонального компьютера на объектно-ориентированном языке C++Builder; программа обработки экспериментальных данных на языках Maple и MathCAD.

Программа микропроцессорного блока, выполняет следующие функции:

- получение данных от аналоговых сенсоров (датчик Холла, измерительные катушки, термопары и т.д.);
- мультиплексирование аналоговых каналов при съеме данных;
- различные вспомогательные действия по инициализации внутренних функциональных узлов микроконтроллера;
- запуск АЦП и ЦАП;
- формирование информационного блока со всех сенсоров за одну временную выборку и в течении эксперимента;
- передачу информационного пакета (данных и системных сообщений) в персональный компьютер по последовательному интерфейсу.

Алгоритм программы персонального компьютера ориентирован на:

- создание файла (или набора файлов при длительном эксперименте) на жестком диске для записи экспериментальных данных (имя файла формируется согласно календарю и таймеру внутренних часов компьютера);
- получение информационного пакета от микропроцессорного блока (и его отображения в шестнадцатиричном виде в режиме терминала для отладки и тестирования системы);
- отображение получаемых экспериментальных данных на дисплее компьютера;
- градуировки сенсоров (выставление коэффициентов аппроксимационных полиномов).

В данной программе не предусмотрена математическая обработка экспериментальных данных, так как подобная работа выполняется программой математического пакета удобного для конкретного экспериментатора.

3. АПРОБАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Апробация и тестирование автоматизированной системы управления проводилась при модернизации вибромагнитометра, принцип работы которого основан на измерении ЭДС, наводимой в измерительных катушках переменным магнитным полем вибрирующего образца. Исследуемый образец помещается между измерительными катушками, расположенными на полюсах электромагнита, и приводится в движение вибрационной системой. Сигнал, индуцированный в приемных катушках, пропорционален магнитному моменту образца. Управление магнитным полем осуществляется микропроцессорным блоком (после ЦАП, через аналоговые опторазвязки ЗОД129Б) с помощью двух источников питания СНП-40, которые позволяют получить между полюсами электромагнита поле до 10 кЭ. Для измерения магнитного поля используется датчик Холла. Таким образом, основными сенсорами являются измерительные катушки вибромагнитометра и датчик Холла, при необходимости проведения температурных измерений применяется термопара. Система позволяет осуществлять развертку магнитного поля с заданной скоростью (0.1...30 с между временными выборками, всего 4096 шагов квантования по времени), осуществлять реверс направления магнитного поля при снятии петли гистерезиса, аварийно уменьшать поле электромагнита до нуля с шагом 0.5 с.

Для проведения тестовых экспериментов был выбран образец никелевого феррита. В ходе измерений в автоматическом режиме была получена зависимость намагниченности образца от внешнего поля (рис. 3).

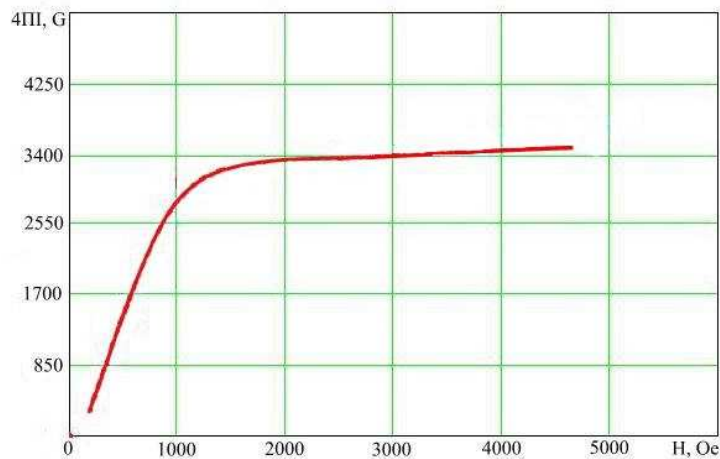


Рис. 3. Зависимость намагниченности никелевого феррита от постоянного магнитного поля, измеренная в автоматическом режиме.

Анализ полученных экспериментальных данных подтверждает работоспособность автоматизированной системы в составе физической экспериментальной установки, тем самым определяя возможность ее дальнейшей эксплуатации.

Далее планируется использование подобной автоматизированной системы управления и регистрации данных для модернизации экспериментальной установки по исследованию гальванотермомагнитных свойств магнитных материалов [14], спектрометра ферромагнитного резонанса и других экспериментальных установок отдела функциональных материалов и волоконной оптики и кафедры экспериментальной физики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и изготовлена автоматизированная система управления и регистрации данных физического эксперимента. Функциональность и работоспособность системы продемонстрирована в составе экспериментальной установки по измерению одного из основных параметров магнитных материалов – намагниченности.

Данная автоматизированная система может быть использована для научных и учебных целей в высших учебных заведениях, лабораториях и конструкторских бюро.

Список литературы

1. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / под ред. Томпкинса У., Уэбстера Дж. – М.: Мир, 1992. – 592 с.
2. Бержанский В.Н. 2-D и 3-D гальваномагнитные сенсоры в компьютерных системах / Бержанский В.Н., Лагунов И.М., Веренкиотова Ю.И. // Ученые записки Симферопольского государственного университета. – 1998. – №5 (44). – С.128-132.

3. Пономаренко В.И. Обработка зависимостей «частота-сигнал» при измерении коэффициента отражения в волноводе / Пономаренко В.И., Попов В.В., Руденко В.В. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, серия «Физика». – 2003. – Т. 15-16 (54-55), №1. – С.94-102.
4. Евдокимов С.В. Установка для исследования фототоков короткого замыкания в сегнетоэлектриках / Евдокимов С.В., Яценко А.В. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, серия «Физика». – 2003. – Т. 15-16 (54-55), №1. – С. 44-49.
5. Автоматизированный импульсный ультразвуковой спектрометр с индукционным возбуждением для исследования магнитных материалов / Бержанский В.Н., Полулях С.Н., Преображенский В.Л., Руденко В.В. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, серия «Физика». – 2005. – Т. 17-18 (56-57), №1. – С.115-120.
6. Сапига А.А. Многофункциональный комплект виртуальных приборов в лабораторном практикуме по общей физике / Сапига А.А., Сапига А.В. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, серия «Физика». – 2008. – Т. 21 (60), №1. – С. 110 – 116.
7. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы / Преображенский А.А., Бишард Е.Г. – М.: Высш. шк., 1986. – 352 с.
8. Кучис Е.В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования / Кучис Е.В. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
9. Мікропроцесорна техніка: Підручник / Ю.І. Якіменко, Т.О. Терещенко, Е.І. Сокол и др. – К.:ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – 440 с.
10. Бабич М.П. Комп'ютерна схемотехніка. Методи побудови та проектування: Навчальний посібник / Бабич М.П., Жуков І.А. – К.: МК-Пресс, 2004. – 576 с.
11. Трамперт В. AVR-RISC микроконтроллеры / Трамперт В. ; Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 464 с.
12. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров / Трамперт В. ; Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208 с.
13. Самарин А.В. Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция и применение / Самарин А.В. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.
14. Magnetoresistive properties of manganese ferrites / Berzhansky V.N., Yevstaf'ev I.I., Lagunov I.M., Terlenko Yu.A. //International conference «Functional Materials», Partenit. – 2001. – P.54.

Бержанський В.Н. Автоматизована система управління і реєстрації експериментальних даних у фізичному експерименті / **Бержанський В.Н., Власова Т.А., Лагунов І.М.** // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Фізико-математичні науки. – 2010. – Т. 23(62), №3. – С. 193-201.

У статті розглянута автоматизована система управління і реєстрації експериментальних даних широкого призначення. Система розроблена на базі багатофункціонального AVR-мікроконтролера, сучасних прецизійних аналогоцифрових і цифроаналогових перетворювачів різної розрядності і виготовлена в лабораторії функціональних матеріалів і волоконної оптики ТНУ.

Ключові слова: фізичний експеримент, автоматизована система вимірів, мікроконтроллер, магнітні матеріали, фізичний практикум.

Berzhansky V.N. The automated system of control and experimental data registration in physical experiment / **Berzhansky V.N., Vlasova T.A., Lagunov I.M.** // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2010 – Vol. 23(62), No.3. – P. 193-201. The multipurpose automated control system and registration of experimental data has been considered in the article. The system has been developed on the basis of the multifunctional AVR-microcontroller, modern precision analog-digital and digit-analog converters of different bit and has been made in laboratory of functional materials and fiber optics of Taurida V. Vernadsky National University.

Keywords: physical experiment, automated system of measurings, microcontroller, magnetic materials, physical practical work.

Поступила в редакцію 23.11.2010 г