

УДК 543.42.062: 539.211+539.26+539.143

© С. М. Иркаев, В. Г. Семенов, В. Е. Курочкин, Н. А. Макаров,
В. В. Панчук, А. Л. Тер-Мартirosян, К. П. Чернэуцану

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ОБЪЕМА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД. II. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И НАКОПЛЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В [1] было приведено обоснование гамма-оптической схемы многофункционального спектрометра и рассмотрены возможные режимы его работы. Настоящая часть II статьи посвящена описанию электронных узлов и блоков системы управления и накопления спектрометрической информации этого спектрометра.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке современных аналитических приборов большое внимание уделяется таким важным аспектам, как уровень автоматизации, высокая надежность и максимальная замена функций оператора с целью исключения человеческого фактора. Неотъемлемой частью современного прибора является, как правило, персональный компьютер. При этом на компьютер возлагаются не только функции управления прибором и накопления информации через специализированные интерфейсные модули, но и математическая обработка этой информации. Прогресс в развитии компьютеров (быстродействие, объем памяти, расширение функциональных возможностей, программное обеспечение) стимулирует разработку аналитических приборов нового поколения. Появляется возможность создания так называемых комбайнов — приборов, позволяющих проводить исследования образцов с помощью нескольких физических методов. Применение таких приборов повышает информативность и достоверность конечного результата. К классу таких приборов-комбайнов относится разработанный многофункциональный спектрометр (Спектрометр).

В современной практике построения систем автоматизации эксперимента можно выделить три основных методологических подхода.

1. Использование унифицированных микроконтроллеров [2–3]. В настоящий момент это самый распространенный подход при проектировании систем промышленной автоматики, ориентированный на создание автономных систем относительно невысокого быстродействия. Широкое применение микроконтроллеров связано с наличи-

ем большого числа отработанных решений, простотой программирования и низкой стоимостью конечного решения, практически не зависящей от объема производства. Стоимость отладки при низких требованиях к быстродействию стремится к нулю.

2. Использование специализированных сигнальных процессоров (DSP) [4–6]. Это бурно развивающееся направление, характеризующееся использованием RISC-архитектуры процессорного ядра. Оно имеет развитые аппаратные средства ввода—вывода, многопоточную архитектуру встроеной памяти. При использовании DSP-технологии появляется возможность достижения весьма высокого быстродействия в решении ряда задач и оперативной коррекции программного обеспечения в аппаратуре конечного пользователя. Однако при повышенных требованиях к быстродействию затраты на программирование и отладку системы оказываются значительными, особенно для многоядерных архитектур.

3. Создание систем на основе устройств ASIC, CPLD и FPGA [7]. Все три перечисленных в данном пункте метода подразумевают полностью аппаратную реализацию функций взаимодействия с объектом, обеспечивают наименьшую ресурсоемкость и максимальное быстродействие при минимальной стоимости.

- При этом решение на основе ASIC (Application Specific IC) оказывается эффективным только при массовом производстве и не допускает изменения конфигурации устройств в аппаратуре конечного пользователя. Затраты на проектирование и моделирование незначительны по сравнению со стоимостью производства. Применение ASIC позволяет достичь относительно дру-

гих методов максимального быстродействия при наименьшей площади кристалла и потребляемой мощности.

- Решения на основе CPLD (Complex Programmable Logic Device) допускают изменения конфигурации устройства в аппаратуре конечного пользователя. Затраты на моделирование подвержены той же зависимости, что и для ASIC. Следует отметить весьма высокую эффективность использования кристалла для большинства современных CPLD, что делает данный класс устройств весьма привлекательным для реализации ресурсоемких проектов.
- Решения на основе FPGA (Field Programmable Gate Array) во многом подобны решениям на основе CPLD. Основное отличие FPGA от CPLD состоит в наличии регулярной структуры коммутации иерархических блоков элементов. При этом проигрыш в эффективности использования кристалла компенсируется целым рядом преимуществ. Увеличивается быстродействие

за счет упрощения оптимизации размещения логических функций по элементам, задержки становятся более прогнозируемыми и, как следствие, упрощается моделирование проекта. Большинство современных устройств FPGA допускают возможность многократного переконфигурирования непосредственно в аппаратуре пользователя.

При определении элементной базы на основе анализа структурной схемы Спектрометра нами был сделан выбор в пользу устройств FPGA фирмы Altera. Основными преимуществами FPGA являются: значительная логическая емкость, гибкость внутренней структуры, возможность многократной (а для семейств FLEX — неограниченной) перезагрузки конфигурации прямо в аппаратуре конечного пользователя без применения специальных средств как аппаратных, так и программных.

Немаловажным фактором при выборе элементной базы является также низкая стоимость почти всех младших представителей FPGA и наличие свободно распространяемого средства проектирования MAX+PLUS II BASELINE (далее PLS-BASE).

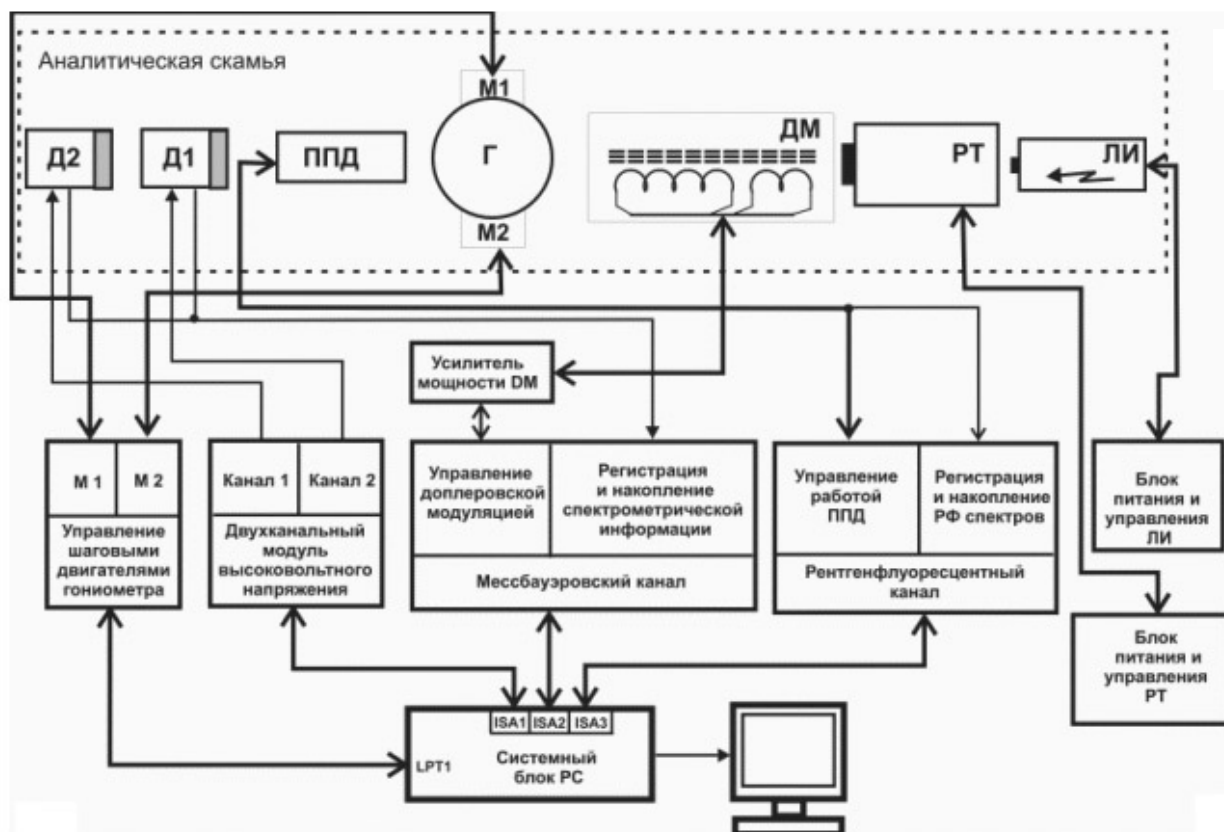


Рис. 1. Блок-схема многофункционального спектрометра:

Д2, Д1 — детекторы для регистрации зеркально-отраженного и вторичных излучений; Г — двухкатушечный гониометр; ППД — полупроводниковый детектор; М1 и М2 — шаговые двигатели; ДМ — доплеровский модулятор; РТ — рентгеновская трубка; ЛИ — полупроводниковый лазерный излучатель

Возможности этого программного продукта значительно упрощают процесс проектирования, позволяя в рамках единой оболочки осуществлять ввод проекта, компиляцию, размещение логики, симуляцию с учетом индивидуальных временных характеристик и, наконец, программирование конкретного устройства из весьма широкого спектра поддерживаемых PLS-BASE устройств, производимых фирмой Altera.

БЛОК-СХЕМА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРА

Общая схема электрических узлов и их взаимодействия друг с другом приведена на рис. 1.

Структура аналитической скамьи универсальной гамма-оптической схемы, реализующей различные спектральные методы для селективного по глубине анализа поверхности, описана в части I статьи [1]. В связи с тем, что в разных режимах работы спектрометра используется геометрия скользящего падения различных видов излучения на поверхность исследуемого образца, основным узлом аналитической скамьи Спектрометра является гониометрическое устройство Г. Изменение углов поворота как образца, так и регистрирующих устройств осуществляется блоком управления шаговыми двигателями М1 и М2. Блок управления подключается к персональному компьютеру через порт LPT1. В качестве источников рентгеновского излучения (режимы рентгеновской рефлектометрии и рентгенфлуоресцентной спектрометрии) используются рентгеновские трубки РТ с молибденовым или медным анодом.

Для работы рентгенфлуоресцентного канала был разработан модуль управления, выполненный в виде платы, вставляемой в системный блок персонального компьютера РС через шину ISA3. Модуль предназначен для выполнения двух функций: управление работой полупроводникового детектора и регистрация и накопление рентгенфлуоресцентных спектров.

Регистрация зеркально-отраженного и вторичного излучений от поверхности образца в режиме рентгеновской и мессбауэровской рефлектометрии осуществляется газовым пропорциональным детектором специальной конструкции, состоящим из двух камер Д1 и Д2 [7]. Для питания этого детектора разработан двухканальный модуль, осуществляющий программное управление высоковольтными напряжениями от персонального компьютера через шину ISA1.

Полупроводниковый лазерный источник излучения ЛИ, оснащенный автономным блоком питания и управления, предназначен для юстировки гамма-оптической схемы Спектрометра.

Система управления мессбауэровским каналом состоит из блока, предназначенного для управления доплеровским модулятором через выносной усилитель мощности, и блока, осуществляющего регистрацию и накопление спектрометрической информации в амплитудном и временном режимах. Эта система также выполнена в виде отдельной платы, соединенной с персональным компьютером через шину ISA2. Для управления всеми блоками и узлами в различных режимах разработан пакет программного обеспечения.

Ниже приводится детальное описание структуры и режимов работы электронных узлов и блоков многофункционального спектрометра.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕССБАУЭРОВСКИМ КАНАЛОМ

Блок управления доплеровским модулятором

Блок управления доплеровской модуляцией (БУДМ) совместно с усилителем мощности УМ выполняют функции контроллера системы движения подвижной части доплеровского модулятора ДМ. В процессе разработки системы управления мессбауэровским каналом основное внимание уделялось следующим ключевым направлениям.

1. Создание двухканального генератора с табличным синтезом опорного сигнала скорости (далее таблица опорного сигнала скорости) и возможностью оперативной коррекции содержимого таблицы в реальном времени без остановки процесса измерения. В этом случае открываются широкие возможности формирования сигналов весьма сложной формы, включая несимметричные сигналы, а также сигналы, форма которых учитывает переходные процессы в цепи автоматического регулирования системы доплеровской модуляции.

2. Объединение систем формирования опорных сигналов и системы регистрации информации в рамках одной интегральной схемы с внутренней синхронизацией от единой тактовой частоты.

3. Создание недорогой, надежной и компактной системы с возможностью оперативной модернизации и дальнейшего развития.

Структурная схема системы управления мессбауэровским каналом представлена на рис. 2. Контроллер системы движения предназначен для генерирования опорного сигнала для ДМ и отработки заданного сигнала скорости системой автоматического регулирования комбинированного типа, включающей канал отрицательной обратной связи и прямой канал, содержащий опорный сигнал, его производную и интеграл, записанные также в локальную память. Работа всех блоков, входящих в систему управления мессбауэровским каналом,

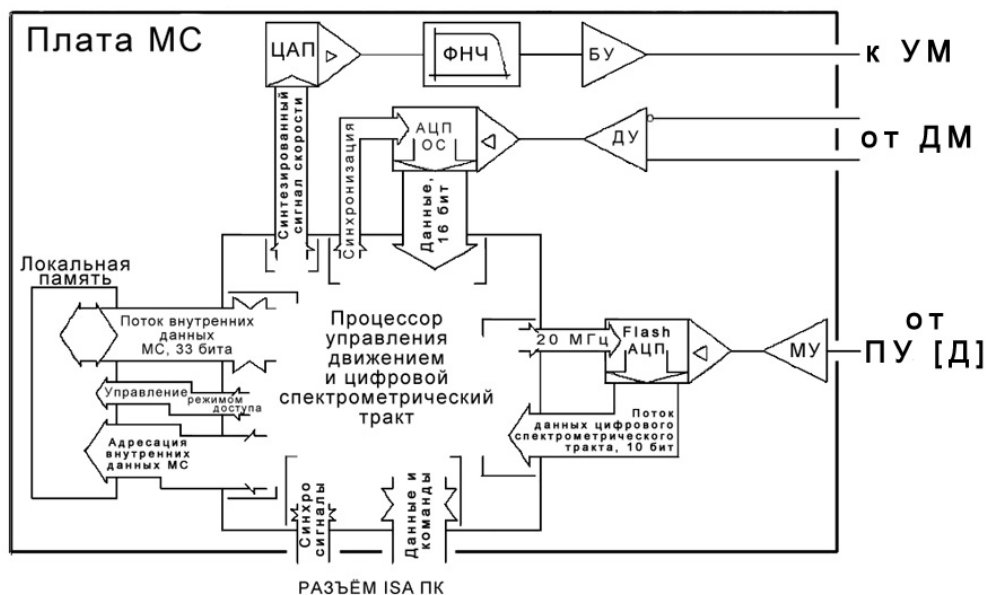


Рис. 2. Структурная схема системы управления месбауэровским каналом:

ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; ФНЧ — фильтр низкой частоты, БУ — буферный усилитель; УМ — усилитель мощности; АЦП ОС — аналогоцифровой преобразователь канала обратной связи; ДУ — дифференциальный усилитель; ДМ — доплеровский модулятор; Flash АЦП — аналогоцифровой преобразователь спектрометрического канала; МУ — масштабирующий усилитель, ПУ[Д] — предусилитель детектора

осуществляется с помощью процессора управления движением и цифрового спектрометрического тракта.

Блок управления доплеровской модуляцией осуществляет автоматическое считывание таблицы опорного сигнала скорости в локальный буфер. Далее происходит циклический процесс преобразования код—напряжение, формирующий сигнал скорости в соответствии с заданной таблицей. БУДМ позволяет задавать закон изменения скорости движения подвижной части ДМ (например, треугольный, пилообразный, прямоугольный, трапециидальный), диапазон изменения амплитуды скорости и частоту перемещения. Это необходимо для проведения измерений в различных геометриях месбауэровской гамма-оптики. На рис. 3 приведены осциллограммы наиболее часто используемых опорных сигналов скорости.

Высокое разрешение цифроаналогового преобразователя позволяет с большой точностью формировать переходные процессы в точках изменения направления движения. Для удаления из выходного сигнала высокочастотных составляющих перед подачей на усилитель мощности УМ сигнал проходит через активный фильтр низких частот 2-го порядка (ФНЧ) с частотой среза 20 кГц. Выходной буферный усилитель (БУ) обеспечивает дополнительное усиление сигнала по току и возможность работы на длинный соединительный кабель.

Для минимизации ошибки обработки заданного сигнала скорости при изменении механических характеристик подвижной системы ДМ в составе БУДМ предусмотрена петля цифровой обратной связи по скорости. Входным сигналом для данной петли является ЭДС, наведенная в измерительной катушке ДМ. Данный сигнал поступает на вход дифференциального усилителя (ДУ). Применение ДУ обусловлено необходимостью преобразования симметричного сигнала от незаземленного источника к несимметричному входу аналогоцифрового преобразователя (АЦП). Далее сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью высокоточного 16-разрядного АЦП.

Для компенсации фазовых искажений, вносимых цепями фильтрации, и, как следствие, улучшения степени соответствия полученного значения напряжения скорости в данной точке траектории используется схема точной синхронизации АЦП относительно цифроаналогового преобразователя (ЦАП) развертки.

Полученная в результате работы АЦП за один период развертки таблица мгновенных значений скорости передается в память ПК, где на основе исходной таблицы соответствия опорного сигнала скорости программным путем формируется результирующий сигнал ошибки по скорости при обработке траектории. Анализируя сигнал ошибки,

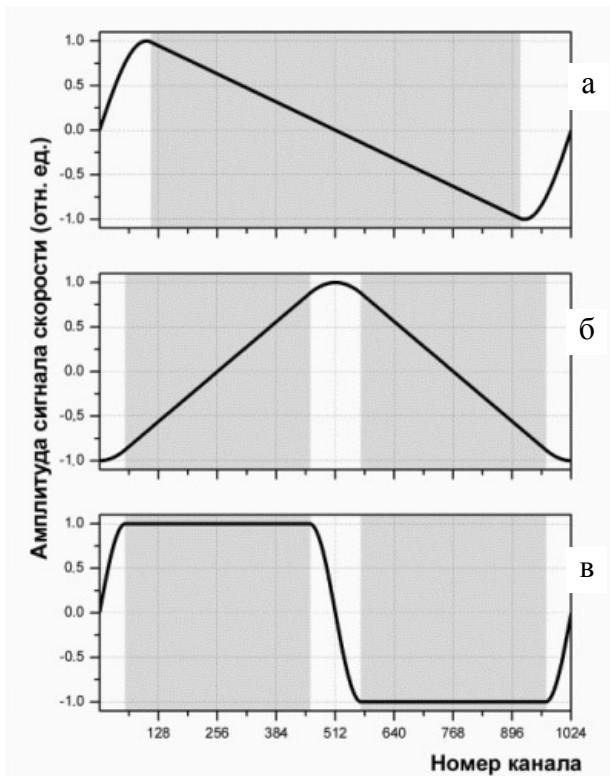


Рис. 3. Осциллограммы опорных сигналов пилообразного (а), треугольного (б) и прямоугольного (в) типов. Заштрихованные области — участки, на которых производится накопление мессбауэровских спектров

программа ПК корректирует исходную таблицу опорного сигнала скорости. Далее БУДМ по команде от ПК автоматически считывает новую таблицу из памяти ПК. Процесс повторяется до достижения минимального значения сигнала ошибки или по команде оператора.

В мессбауэровском канале реализована также возможность процесса минимизации сигнала ошибки вручную. Для этого в таблицу опорного сигнала скорости дополнительно вводятся его производная и интеграл. Эти дополнительные сигналы подаются в цепь обратной связи ДМ. Величина этих сигналов подбирается из условия минимума сигнала ошибки. На рис. 4 приведены осциллограммы всех корректирующих сигналов и сигнала ошибки для одного типа опорного сигнала (пилообразного).

Для задания опорного сигнала скорости пользователем устанавливаются следующие параметры: закон изменения скорости движения, частота и диапазон изменения амплитуды скорости.

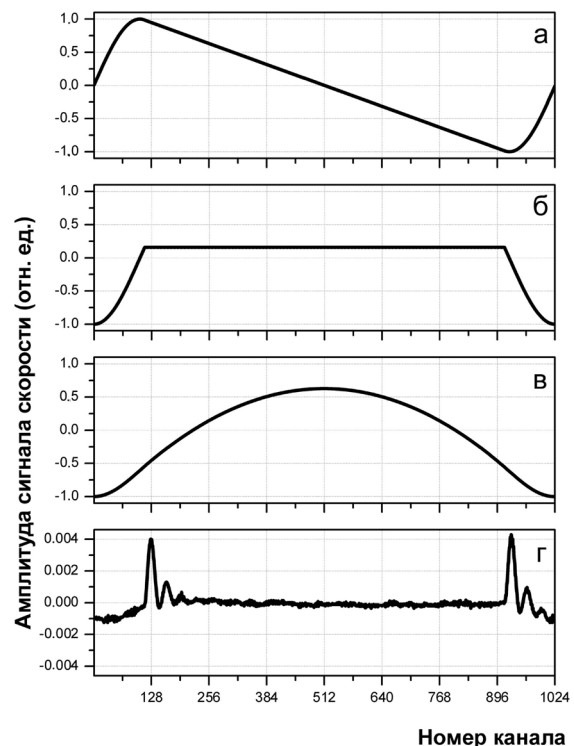


Рис. 4. Осциллограммы опорного сигнала пилообразной формы (а) и соответствующих ему дифференциала (б) и интеграла (в), а также сигнала ошибки (г)

Схема формирования развертки сигнала движения одновременно является источником сигналов синхронизации для анализатора последовательного многоканального пересчета. Система управления мессбауэровским каналом обеспечивает: диапазон изменения скорости подвижной части ДМ ± 50 мм/с, воспроизводимость скорости 3.5 мкм/с, нелинейность 0.08 %.

Блок регистрации и накопления спектрометрической информации

Блок регистрации и накопления спектрометрической информации представляет собой цифровой спектрометрический тракт. Он предназначен для амплитудно-цифрового преобразования энергетического спектра источника излучения, регистрируемого детектором, и амплитудной дискриминации для выделения необходимого участка энергетического спектра (полосы пропускания) и синхронизированного с генератором опорного сигнала накопления мессбауэровского (временного)

спектра на основе прошедших амплитудную дискриминацию импульсов.

Цифровой спектрометрический тракт и анализатор последовательного многоканального пересчета составляют единое целое с аппаратной частью блока управления системой движения и занимают один слот расширения в составе ПК (рис. 2).

В рамках данной системы реализован полностью цифровой метод обработки сигналов с детектора гамма-излучения и накопления спектрометрической информации.

Сигнал с детектора, пройдя масштабирующий усилитель (МУ), попадает на вход быстродействующего 10-разрядного АЦП с частотой дискретизации 20 МГц. Далее поток данных поступает в блок цифровой фильтрации, который осуществляет следующие операции: выделение нулевого уровня, фильтрацию по длительности импульса, детектирование максимума, амплитудную дискриминацию, формирование интервала "мертвого времени". Результатом работы блока цифровой фильтрации являются, во-первых, счетные импульсы для тракта мессбауэровской спектрометрии; во-вторых, отсчеты для формирования амплитудного спектра.

Емкость каждого канала анализатора последовательного многоканального пересчета составляет 2^{32} импульсов, максимальная скорость счета 10 МГц (при отсутствии фильтрации по длительности). За счет применения двойной буферизации "мертвое время" при переключении с канала на канал равно нулю при условии, что длительность

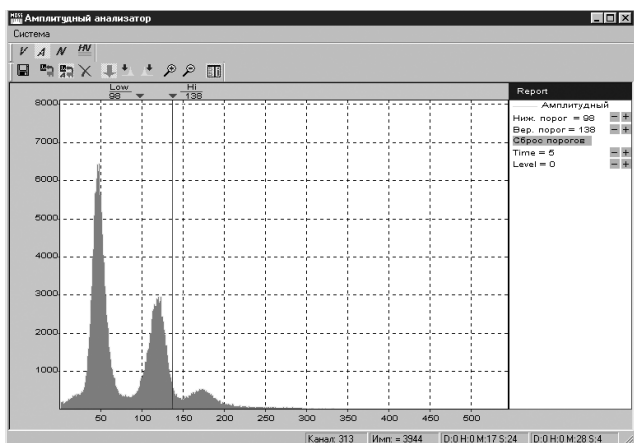
одиночного входного импульса составляет не менее 100 нс.

Следует подчеркнуть, что процессы формирования амплитудного и мессбауэровского спектров, сигналов движения и обратной связи происходят независимо. Они реализованы на аппаратном уровне и не требуют участия центрального процессора ПК в измерении. Эта независимость распространяется и на возможность доступа к данным, формирующимся в виде таблиц в локальной памяти МС. На рис. 5 приведены амплитудный и временной (мессбауэровский) спектры, измеренные блоком регистрации и накопления спектрометрической информации.

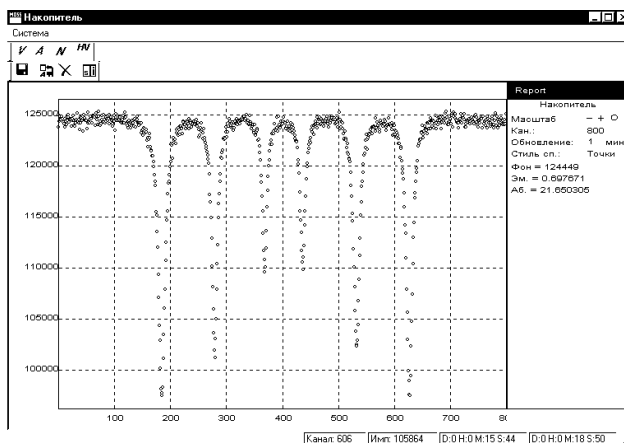
Таким образом, задачей управляющей программы является исходное конфигурирование устройства при первом включении, выдача управляющих команд при обмене данными и визуализация результатов.

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ КАНАЛОМ

Модуль управления представляет собой конструктивно законченную плату, предназначенную для энерго-дисперсионного анализа, и занимает отдельный слот ПК. Модуль предназначен для выполнения следующих функций: управление работой блока детектирования, накопление рентген-флуоресцентных спектров и обеспечение питанием процессора спектрометрических импульсов и блока детектирования. Блок детектирования состоит из Si-PIN детектора с термоэлектрическим



а



б

Рис. 5. Амплитудный (а) и временной (мессбауэровский) (б) спектры, накапливаемые блоком регистрации и накопления спектрометрической информации. Источник — ^{57}Co (Rh), поглотитель — металлическое железо

модулем и зарядово-чувствительным предусилителем с обратной связью импульсного типа. Для наиболее эффективной (с точки зрения энергетического разрешения) регистрации излучения нами был выбран и использован детектор Si-PIN площадью 13 мм² с энергетическим разрешением 200 эВ. Диапазон энергии регистрируемого рентгеновского излучения 1.5 ÷ 80 кэВ.

Спектрометрический тракт для детектора Si-PIN представляет собой функционально полный измерительно-накопительный комплекс, состоящий из спектрометрического усилителя с квазигуссовым формированием, аналогового процессора, цифроаналогового со скользящей шкалой преобразования корректора "мертвого времени" и интерфейса шины ISA. Наиболее важные характеристики спектрометрического тракта: число уровней квантования 512÷4096; максимальная емкость ка-

нала $\geq 2^{20}$ импульсов; интегральная нелинейность $\leq 0.05\%$; дифференциальная нелинейность $\leq 1.0\%$. Для управления рентгенфлуоресцентным каналом разработан пакет программного обеспечения, работающий под оболочкой Windows. Пакет обеспечивает не только управление работой этого канала, но и позволяет проводить математическую обработку рентгенфлуоресцентных спектров с целью извлечения качественной и количественной информации об элементном составе исследуемого вещества. В качестве примера на рис. 6 показан рентгенфлуоресцентный спектр образца, представляющего из себя смесь следующих элементов: Ca, Cu, Ni и Mn. Там же приведены результаты предварительной обработки этого спектра по определению энергии соответствующего флуоресцентного излучения и площади под линией для этого излучения.

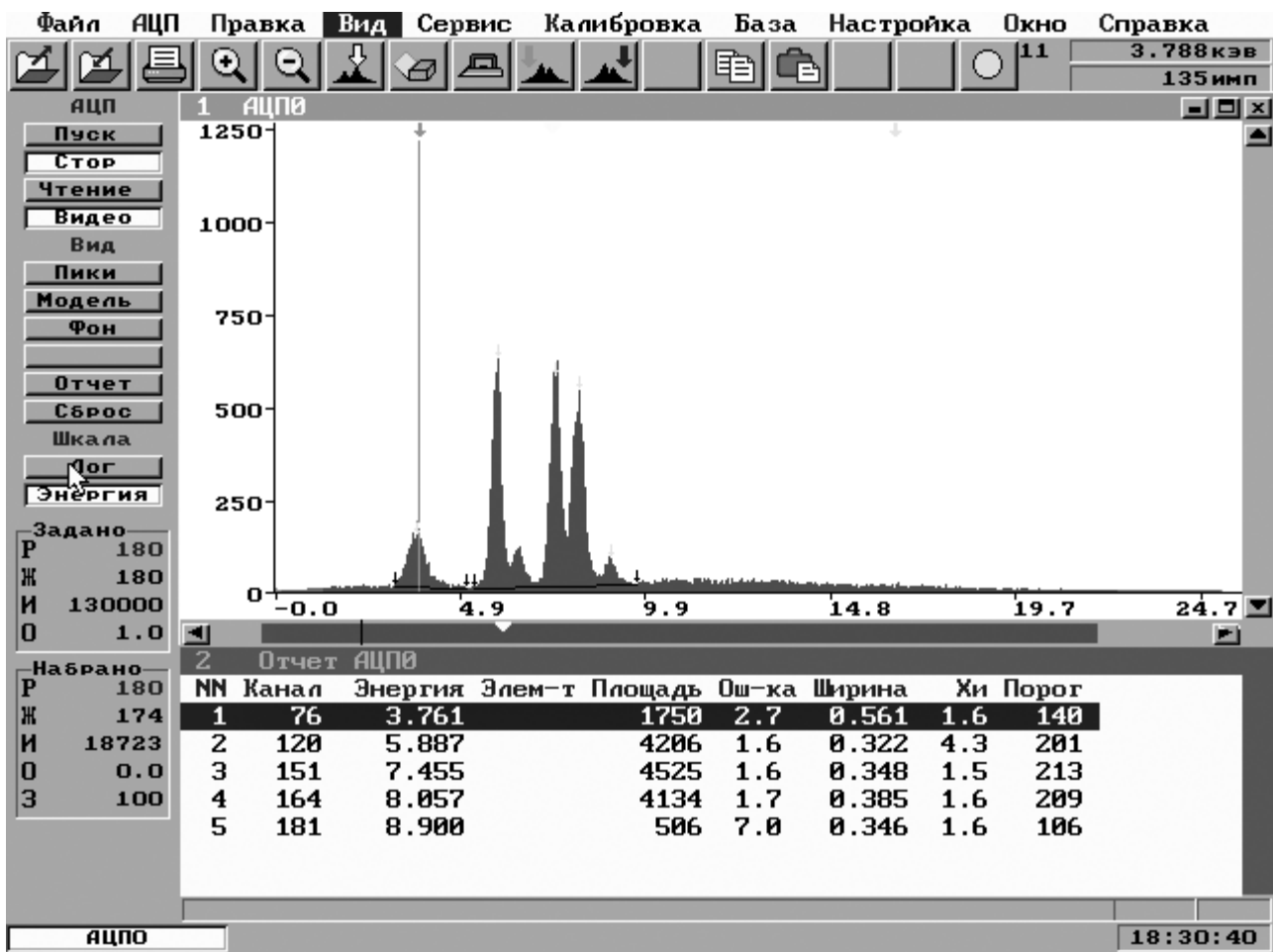


Рис. 6. Рентгенфлуоресцентный спектр и результаты его предварительной обработки

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

При разработке двухканального модуля высоковольтного напряжения для питания детектора особое внимание уделялось следующим вопросам:

- 1) минимизации числа электронных блоков установки;
- 2) унификации управляющей программы;
- 3) возможности перехода в дальнейшем к созданию моноблочной конструкции, управляемой через USB-порт компьютера.

Модуль представляет собой плату стандартных размеров, управляемую через шину ISA. Выходы питания детекторов и предохранителей выведены на крепежную панель.

Система питания детекторов представляет собой два преобразователя код—напряжение, управляющих специализированными малогабаритными высоковольтными преобразователями фирмы TRACO POWER MHV12-2.0K-1000P (максимальное напряжение +2кВ, максимальный ток 1 мА, пульсация 8 мВ от пика к пику, долговременная нестабильность 0.05 % за 8 ч, температурная нестабильность 0.01 %), и низковольтную микросборку TFF0521 (± 12 В, ток 100 мА).

Схема сопряжения высоковольтных источников с шиной ISA выполнена на микросхеме CPLD EPМ7128S фирмы Altera. Помимо управления преобразователями код—напряжение, в схеме сопряжения реализован интерфейс с высокоскоростным USB-2.0 совместимым мостом, что является важным элементом, необходимым для программно-аппаратной отладки при возможном дальнейшем переходе на новую платформу без существенного изменения элементной базы.

Управление преобразователями осуществляется стандартными командами ввода—вывода с шины ISA IBM-совместимого ПК. В зависимости от конкретных требований к системе питания предусмотрена установка высоковольтных преобразователей как с положительным, так и с отрицательным выходным напряжением. Информация о типе примененного преобразователя и значение кода, соответствующее текущему выходному напряжению, могут быть получены в произвольный момент средствами управляющей программы.

БЛОК ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ

Данный блок входит в состав комплекта рентгеновских излучателей на базе рентгеновских трубок 0.05BX-10-Cu и 0.05BX-10-Mo и изготовлен в ЗАО "Синтез". Анодное напряжение на трубках регулируется от 5 до 50 кВ, ток анода рентгеновской трубки задается в диапазоне от 0.03 до 3 мА,

максимальная выходная мощность канала анода 50 Вт. Трубки имеют встроенные высоковольтные источники питания и управляются от отдельного блока. Этот блок предназначен для обеспечения высоковольтных источников питания всеми необходимыми питающими и управляющими напряжениями, задания стабилизации рабочих режимов трубок. Блок питания состоит из аналоговой платы, органов управления и индикации, а также платы согласования, которая обеспечивает согласование органов управления и индикации с аналоговой платой, формирует сигналы установок анодного напряжения и анодного тока.

УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ГОНИОМЕТРА

Для изменения ориентации образца относительно падающего излучения и детектора относительно зеркально-отраженного образцом излучения Спектрометр оснащен двухкружным гониометром с наружным диаметром 110 мм, который представляет собой два совмещенных гониометра с независимыми приводами платформ с помощью шаговых двигателей. Он обеспечивает диапазон углов вращения 360° , дискретность шага установки 24 секунды с осевой нагрузкой не более 100 Н.

Управление шаговыми двигателями гониометра осуществляется с помощью персонального компьютера через порт LPT. Порт LPT осуществляет коммутацию напряжения 5 В на шаговые двигатели, управляющие вращением платформ для образца и детектора. При этом возможны два режима: независимое или зависимое управление шаговыми двигателями. Независимый режим необходим как для юстировки нулевых положений рентгенооптической схемы, так и для режима измерения кривых диффузного рассеяния для определения шероховатости исследуемой поверхности. Зависимый режим обеспечивает работу в геометрии ($\theta-2\theta$), которая необходима для регистрации кривых зеркального отражения, а также рентгенфлуоресцентного и мессбауэровского анализа в скользящей геометрии. На рис. 7 приведено окно программы управления шаговыми двигателями. Установка углов может осуществляться как с помощью установки дискретности шагов двигателей, так и в угловых единицах (миллирадианах). Программа предусматривает коррекцию нулевых положений образца и детектора отраженного излучения.

В верхней части окна располагаются два поля: "Обр." и "Дет.", предназначенные для установки необходимых углов для образца и детектора. Раздел "Анализ" обеспечивает автоматическое управление шаговыми двигателями платформ, на которых укрепляются образец и детектор, в рамках



Рис. 7. Окно программы управления шаговыми двигателями

заданных параметров, описанных ниже. В поле "Тип" задается переключение режимов автоматического управления шаговыми двигателями, причем "Обр./2Дет." — зависимый режим для работы в геометрии ($\theta-2\theta$), а "Обр." и "Дет." — режимы независимого вращения образца и детектора соответственно. Поля "От" и "До" служат для определения начального и конечного значений угла вращения гониометра в выбранном режиме. В полях "Инт." и "Вр." задается количество интервалов, на которое разбивается область сканирования, и время измерения в каждом интервале. Кнопки "Старт" и "Стоп" предназначены для запуска автоматического вращения гониометра и его остановки. В поле "Положение" отображаются текущие углы для образца и детектора.

БЛОК ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ

В качестве полупроводникового лазерного источника излучения ЛИ использован полупровод-

никовый лазерный диод на основе кванто-размерной гетероструктуры InAlGaP, оснащенный автономным блоком питания. Длина волны излучения $\lambda=635$ нм, максимальная мощность 4 мВт, нестабильность выходной мощности за 1 час работы 0.5 %, расходимость лазерного луча 1 мрд. В блоке питания размещен также термостабилизатор. Он позволяет регулировать температуру лазерного излучателя в диапазоне $0\div 50$ °С с точностью ± 0.5 °С и предназначен для стабилизации температуры с помощью Пельтье-элемента и терморезистора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система управления движением и накопления спектрометрической информации позволяет с высокой точностью проводить измерения физико-химических свойств поверхности и объема конденсированных сред с использованием нескольких физических методов: рентгеновской и мессбауэровской рефлектометрии, рентгенфлуоресцентной и мессбауэровской спектроскопии и дифракции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ФСР МП НСР (проект № 02-02-08029 инно), гранта РФФИ № 03-02-17168 и гранта Минобразования и науки РФ А04-2.11-144.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иркаев С.М. и др. // Научное приборостроение. 2004. Т.14, №3. С. 3–10.
2. Atmel's ARM-based Microcontroller Excels in Real Time White Paper. Atmel Corp., 2001.
3. AT91 ARM(R) Thumb (R) Microcontroller Summary. Atmel Corp., 1997.
4. ADSP-BF531/BF532/BF/533 Blackfin Processor Series High Performance for Multimedia Communications Product Highlight. Analog Devices Inc., 2004.
5. ADSP-2106x SHARC (R) DSP Microcomputer Family. Analog Devices Inc., 2000.
6. The ADSP-2199x Family: Mixed-Signal DSPs Product Brief. Analog Devices Inc., 2003.
7. Acex Devices. Low Cost Solutions for High Volume Applications. Altera Corp., 2000.
8. Иркаев С.М., Семенов В.Г. Комбинированный детектор для измерений в скользящей геометрии // Научное приборостроение. 2000. Т. 10, № 1. С. 94–96.

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург (Иркаев С.М., Курочкин В.Е., Чер-
неуцану К.П.)*

*ЗАО "Полупроводниковые приборы" (Тер-Марти-
росян А.Л.)*

*Санкт-Петербургский Государственный универси-
тет (Семенов В.Г., Макаров Н.А., Панчук В.В.)*

Материал поступил в редакцию 31.12 .2004.

**MULTI-PURPOSE SPECTROMETER FOR CONDENSED
MEDIA SURFACE AND BULK STUDIES.
II. TRANSPORT CONTROL AND DATA ACQUISITION SYSTEM**

**S. M. Irkaev, V. G. Semenov¹, V. E. Kurochkin, N. A. Makarov¹,
V. V. Panchuk¹, A. L. Ter-Martirosyan², K. P. Cherneutsanu**

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

¹*St. Petersburg State University*

²*POLUPROVODNIKOVYE PRIBORY Close Joint-Stock Company*

In [1], we gave a validation of the gamma-optical schematic for a multifunctional spectrometer and discussed possible modes of its operation. In the present, second part of the paper we describe the electronic parts and units of the control and data acquisition system.