

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И СБОРА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УСТАНОВКАХ

А.С. Смолянский, Д.В. Никитин, С.С. Липов

Современные методы анализа свойств материалов, подвергнутых воздействию факторов космического пространства (ФКП) - ионизирующих излучений, вакуума, перепадов температуры и проч. - вызывают необходимость разработки более совершенных средств сбора и обработки информации, управления процессом измерений, анализа экспериментальной информации в режиме реального времени. Одним из способов управления в режиме реального времени позволяет осуществлять, хорошо спроектированные модели в пространстве состояний [1]. Таким образом, можно обеспечить «интерактивный» режим взаимодействия «оператор - испытательная установка», проследить динамику перехода исследуемой системы из одного состояния в другое, получить прогнозные оценки ресурса использования материалов и изделий на их основе, что является крайне важной проблемой в космической технике.

Поэтому разработка современных быстродействующих устройств регистрации, позволяющих преобразовывать поступающую информацию о ходе физических процессов, в виде аналоговых электрических сигналов в цифровой вид и далее обрабатывать её на компьютере, является актуальной задачей, напрямую способствующей повышению качества экспериментов и исследовательских испытаний. Эта проблема еще более обостряется на экспериментальных установках научных исследований созданных более 30-40 лет тому назад. Стоит подчеркнуть, что использование возможностей персонального компьютера, также способного решать задачи преобразования электрических сигналов в цифровой вид является намного более дорогим и сложным решением, по сравнению с миниатюрными дешевыми специализированными микроконтроллерами, специально предназначенными для этих целей.

В настоящей работе описан пример модернизации регистрирующего устройства на установке для проведения научных исследований эффекта электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР), находящейся на территории ФГУП филиала НИФХИ им. Л.Я. Карпова

г. Обнинск. Рассмотрим подробнее суть эффекта ЭПР.

В 1944 г. в Казанском университете Е. К. Завойский проводил исследования парамагнитной релаксации на высоких частотах (10^7 - 10^9 Гц) при параллельной и перпендикулярной ориентации переменного и постоянного магнитных полей. Впервые осуществив систематическое изучение релаксации в перпендикулярных полях, он обнаружил в случае парамагнитных солей ($MnCl_2$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и т. д.) интенсивное резонансное поглощение высокочастотной энергии при строго определенных отношениях напряженности постоянного магнитного поля к частоте. Так было открыто новое физическое явление электронного парамагнитного резонанса.

Метод ЭПР основан на известном эффекте Зеемана, заключающемся в том, что при введении парамагнитной частицы, характеризующейся квантовым числом S , в постоянное магнитное поле ее основной энергетический уровень расщепится на $2S+1$ подуровней, отделенных друг от друга интервалами энергии, равным:

$$\Delta A = g\beta H,$$

где H - напряженность магнитного поля, β - единица атомного магнетизма - магнетон Бора;

g - фактор спектроскопического расщепления, определяющий величину эффективного магнитного момента частицы.

Задачей наблюдения явления ЭПР является точная регистрация поглощаемой высокочастотной энергии. Наблюдение спектра можно вести двумя принципиально различными способами: а) менять частоту переменного магнитного поля - ω , при фиксированном значении постоянного - H ; б) менять напряженность постоянного магнитного поля при фиксированном значении частоты переменного магнитного поля. По техническим причинам во всех спектрометрах ЭПР применяют второй способ и таким образом запись спектра осуществляется в координатах

так $I_{\text{полл}} = \int \left(I, \nu \right)$ при $\nu = \text{const}$, где $I_{\text{полл}}$ - интен-

сивность поглощения высокочастотной энергии. Основными узлами спектрометра ЭПР являются:

- 1) генератор высокочастотного (ВЧ) или сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона;
- 2) резонансный контур, в центр магнитного поля которого помещается исследуемый образец (при работе в ВЧ диапазоне образец помещается в катушку контура, в СВЧ диапазоне - в объемный резонатор);
- 3) детектирующее устройство с усилителем;
- 4) регистрирующее устройство;
- 5) магнит.

Типичная линия поглощения приведена на рисунке 1.

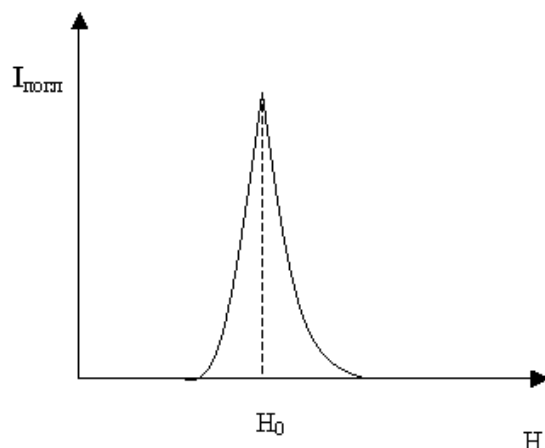


Рисунок 1 – Линия поглощения ЭПР

Максимум кривой поглощения соответствует значению $H = H_0$. По величине H_0 при заданной частоте магнитного поля ($\nu = \text{const}$) можно определить эффективный магнитный момент парамагнитной частицы, а также площадь под кривой поглощения, которая пропорциональна при прочих равных условиях - количеству парамагнитных частиц в образце. Ширина и форма линии характеризуют детали структуры парамагнитной частицы и некоторые особенности взаимодействия парамагнитных частиц между собой и с окружающей средой. Особенно ценные сведения спектр ЭПР может дать в том случае, если парамагнитная частица содержит атомы с ядерными магнитными моментами. При этом возникает так называемая сверхтонкая структура (СТС) линии ЭПР (линия расщепляется на несколько компонент). По числу компонент, их относительным интенсивностям и

величине расщепления можно получить весьма важные сведения, до сих пор не доступные другим методам, о структуре и электронных характеристиках радикалов.

Главная задача нашего исследования состояла в проведении модернизации модуля регистрации установки ЭПР «Радикал», основанного на спектрометре РЭ-1306.

Комплекс предназначен для записи, хранения и обработке радиоспектроскопической информации, которая позволяет записывать спектры ЭПР с помощью ЭПР-спектрометра, синтезировать спектры ЭПР, записывать спектры на магнитную ленту и считывать с нее, производить манипуляции со спектрами (сложение, вычитание, сглаживание, дифференцирование, интегрирование). Комплекс состоит из спектрометра ЭПР РЭ-1306, ЭВМ Электроника ДЗ-28, устройства связи с объектами (УСО), монохромного дисплея, алфавитно-цифropечатающего устройства (АЦ-ПУ), цифрового вольтметра, самописца. Блок-схема представлена на рисунке 2.

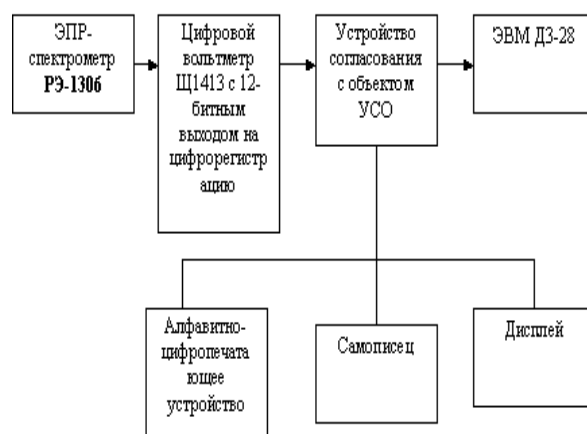


Рисунок 2 – Функциональная схема комплекса Радикал

Модернизация комплекса была осуществлена посредством замены существующего регистрирующего устройства на основе ЭВМ ДЗ-28 на разработанный микроконтроллер, выполняющего функции:

- а) преобразования интересующих электрических сигналов, отражающих физический процесс, происходящий на исследуемой установке из аналоговой формы в цифровую;
- б) осуществления предварительной обработки цифровых данных, с целью подавления помехи проведения фильтрации полезного сигнала [1] - [4];
- в) отображения поступающей информации на жидкокристаллическом индикаторе в

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И СБОРА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УСТАНОВКАХ

режиме реального времени, а также сохранения ее в энергонезависимой памяти;

г) передачи полученной информации в персональный компьютер, с целью визуализации и дальнейшей обработки, а также сохранения в базе данных для последующего использования. На рисунке 3 представлена функциональная схема микроконтроллера.

Микропроцессорный модуль содержит 3 основные части:

1) центральный процессор с энергонезависимой памятью, содержащей исполняемую программу в машинных кодах и необходимые начальные данные (калибровочные коэффициенты для устройства АЦП, начальные установки);

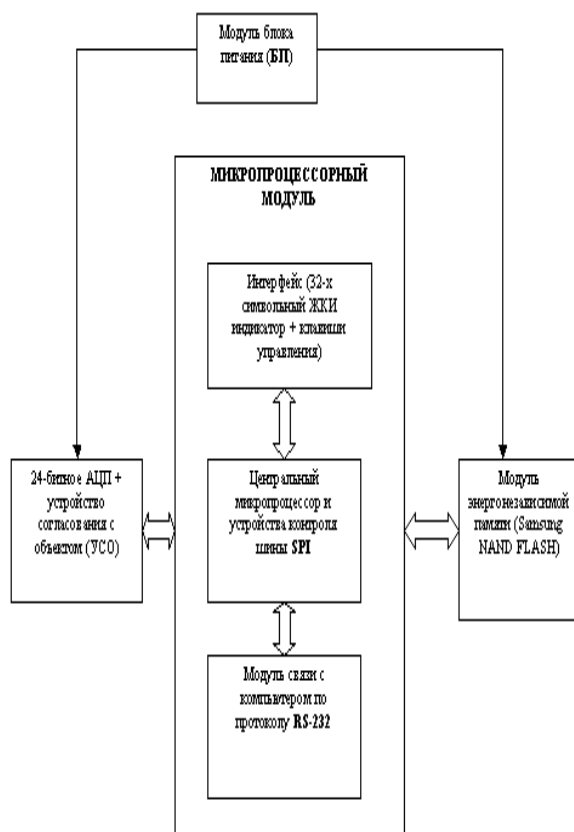


Рисунок 3 – Функциональная схема микроконтроллера

2) модуль интерфейса с оператором содержит 2-х строчный 32-х символьный жидкокристаллический индикатор и 4 клавиши управления, осуществляет взаимодействие с оператором во время проведения измерений;

3) модуль связи с персональным компьютером осуществляет согласование уровней сигналов протокола RS-232 микропроцессорного модуля и компьютера, необходимого для

сохранения массива полученных измерений и последующей математической обработки.

Модуль 24-битного АЦП и УСО содержит специализированное микропроцессорное устройство большой степени точности оцифровки входного сигнала, обладающее производительностью порядка десяти тысяч преобразований в секунду и осуществляет преобразование мгновенного уровня сигнала с последующей передачей в микропроцессорный модуль с целью предварительного усреднения, фильтрации полезного сигнала и последующего сохранения в модуль энергонезависимой памяти. Устройство согласования необходимо для корректного согласования уровня электрического сигнала выходных каскадов испытательной установки.

Модуль энергонезависимой памяти необходим для оперативного сохранения потока значений измеряемых величин и момента времени, в который величина была измерена.

Разработанное устройство в настоящее время установлено в состав спектрально-вычислительного комплекса «Радикал», действующего на основе радиоспектрометра РЭ-1306 в лаборатории материаловедения и испытаний Филиала ФГУП ПОД РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова».

В процессе регистрации контроллер осуществляет фиксацию мгновенных значений изменения выходного напряжения. Визуализация результата измерения спектра пропанола, посредством измерения выходного напряжения ЭПР пропорционального производной интенсивности поглощения представлена на рисунке 4.

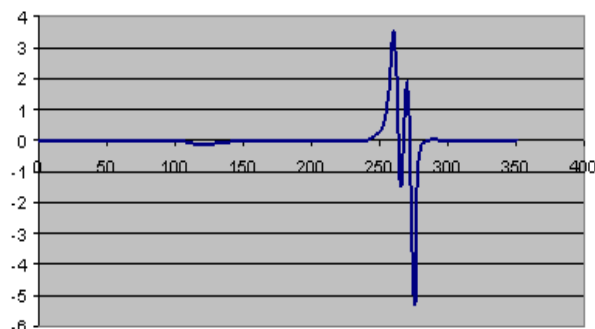


Рисунок 4 – Запись изменения амплитуды исследуемого сигнала за 6 минут проведения эксперимента

Достаточно высокое качество данного ЭПР-спектрометра и существующих подобных установок, большая стоимость, но вместе с тем моральное устаревание регистри-

рующих ЭВМ комплекса, неудобство работы с ним и необходимость обслуживания обостряет необходимость разработки и внедрения подобных узкоспециализированных необслуживаемых контроллеров, имеющих очень низкую стоимость по сравнению с существующими ЭВМ, а также, имеющих быстроедействие и точность превосходящее в среднем на 2 порядка относительно устаревших систем.

По сравнению с существующим комплексом регистрации на основе ЭВМ ДЗ-28, а также любыми средствами регистрации, построенными на основе персонального компьютера, разработанное устройство имеет следующие преимущества:

1. Готовность к работе сразу же после включения;
2. Отсутствие необходимости обслуживания контроллера ввиду отсутствия операционной системы;
3. Значительно меньшие массогабаритные и стоимостные показатели;
4. Более высокую точность (порядка 0.01 %) и глубину оцифровки (АЦП 24 бита);
5. Быстродействующее энергонезависимое запоминающее устройство. Предполагается использование подобной регистрирующей

системы в ряде испытательных и измерительных установках, т. к. установка для измерения спектров люминесценции СДЛ-2, потенциостат ПИ-50-1, действующих на территории ФГУП филиала НИФХИ им. ЛЯ. Карпова (г. Обнинск, Калужской обл.).

По итогам работы планируется создание и оформление интеллектуальной собственности (методики выполнения измерений, полезная модель, патент). Тема и направление этой работы соответствуют направлениям и тематике работы лаборатории МИ (проект Минпромнауки и технологий №2.4-1 и проект РФФИ №04-03-97215).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975.
2. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко ВЛ. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980.
3. Абденов А.Ж., Трошина Г.В. Один алгоритм идентификации линейных динамических объектов, описываемых с помощью моделей в пространстве состояний // Сб. науч. трудов НГТУ. 1998. – № 4 (13). – С. 46-57.
4. Медич Дж. Статистически оптимальные системы и управление. – М.: Энергия, 1973.