

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА УСТАНОВКЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

Изотов Р.А., Краснокутский В.А.

Донецкий Национальный Технический Университет

Кафедра Электронных Вычислительных Машин

rodion-san@mail.ru

Изотов А.И.

Донецкий Физико-Технический Институт АН Украины

## Abstract

*Izotov R.A., Izotov A.I., Krasnocutski V.A. Automation of experiment on ultrasonic spectrometer. Problems of automation of research experiment on the ultrasonic spectrometer are discussed. The decision of the given problem is described.*

## Введение

Обнаружение высокотемпературной сверхпроводимости стимулировало интерес к исследованию материалов с кристаллографической структурой, подобной перовскитным манганитам  $R_{1-x}A_xMnO_3$ , где  $R = La, Nd, Pr$ , а  $A = Ca, Sr, Ba$ . Эти соединения привлекают внимание не только широким разнообразием магнитных, структурных, электронных свойств, но также весьма заманчивыми возможностями их технических применений.

Несомненно, самым впечатляющим эффектом является колоссальное магнитосопротивление (КМС), которое наблюдается в них вблизи температуры Кюри  $T_c$ . Для практического применения необходимо, чтобы КМС получалось в слабых магнитных полях. Однако, КМС более 90% в манганитах обычно возникает в полях 6-12 Т. Рекордное КМС, равное 96% в относительно слабом магнитном поле 0.67Т, было получено в соединении  $La_{1/3}Nd_{1/3}Ca_{1/3}MnO_3$  при 90К [1]. КМС при комнатной температуре было обнаружено на тонких пленках  $La_{0.77}Sr_{0.23}MnO_3$ [2]

Колоссальное магнитосопротивление, как правило, наблюдается в области температуры разрушения магнитоупорядоченного состояния с отличной от нуля спонтанной намагниченностью.

Обнаружено, что в соединениях  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  ( $0.1 \leq x \leq 0.3$ ) и  $Sm_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$  колоссальное магнитосопротивление сопровождается большой отрицательной объемной магнитострикция порядка  $10^{-4} - 10^{-3}$ , что делает возможным применение манганитов в различных магнитомеханических устройствах.

Но, несмотря на огромный экспериментальный материал, нет единой точки зрения на физическую природу необычных свойств манганитов, и эта тема остается актуальной. В частности, обсуждается вопрос о сильной связи электронной подсистем с кристаллической решёткой. Однако, исследованию поведения упругих модулей, дающих ценную информацию об этом, посвящено крайне мало публикаций. Известны лишь несколько работ, появившихся в последнее время [3,4,5], в которых исследовалось поведение затухания и скорости звука в керамических образцах манганитов и сообщалось об обнаружении аномалий в точках фазовых переходов.

В ДонФТИ также широко изучается эта группа материалов. Учитывая наши возможности и опыт в проведении ультразвуковых экспериментов с различными материалами, было принято решение о проведении исследований образцов манганитов. Актуальность данной работы заключается в практическом отсутствии сведений об акустических свойствах манганитов в окрестностях структурных и фазовых переходов. Однако при проведении эксперимента возникли серьезные проблемы. Чтобы понять их суть, рассмотрим, вкратце, работу ультразвукового спектрометра.

### **Постановка задачи эксперимента**

При исследовании твердых тел используется эхо-импульсный метод, принцип которого заключается в следующем: для измерения затухания и скорости распространения ультразвуковой волны, в образец перпендикулярно его плоскопараллельным граням вводится достаточно короткий (по сравнению со временем прохождения звука по образцу) высокочастотный ультразвуковой импульс. Конструкция, предназначенная для введения и приема ультразвукового импульса, изображена на рис. 1. Из наблюдений многократных отражений этого импульса от параллельных торцов образца, можно судить, как быстро, в зависимости от времени и пройденного расстояния, последовательно отражающиеся импульсы затухают по амплитуде.

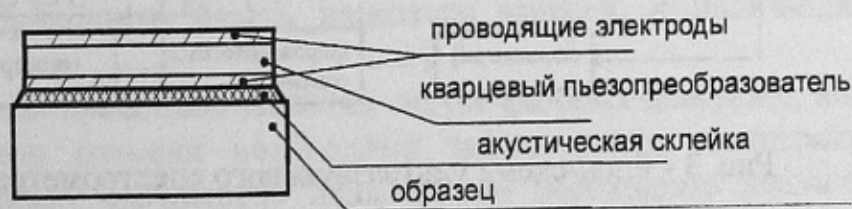


Рис. 1 - Схематическое изображение образца, склейки и преобразователя с электродами

На рис. 2 показан пример серии отраженных эхо-импульсов.

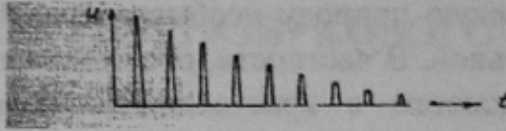


Рис. 2 - Серия эхо-импульсов

Измерив амплитуды двух соседних импульсов, и зная толщину образца, можно вычислить затухание:

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} 20 \lg \left[ \frac{A(x_1)}{A(x_2)} \right] \frac{\text{дБ}}{\text{ед.длины}}, \quad (1)$$

где  $X_1 - X_2$  – расстояние между отражениями;

$A(X_1), A(X_2)$  – амплитуды соседних эхо-импульсов (двойная толщина образца, так как импульс между отражениями дважды проходит образец).

Для измерения скорости необходимо двойную толщину образца разделить на время между соседними эхо-импульсами.

$$V = \frac{2d}{t} \quad (2)$$

При проведении измерений для определения относительных изменений скорости с высокой разрешающей способностью используются различные другие методы. Нами, в основном, используется фазовый метод. Введение звукового импульса в образец осуществляется пьезопреобразователями из кварца или ниобата лития.

В упрощенном виде блок-схема ультразвукового спектрометра показана на рис. 3.

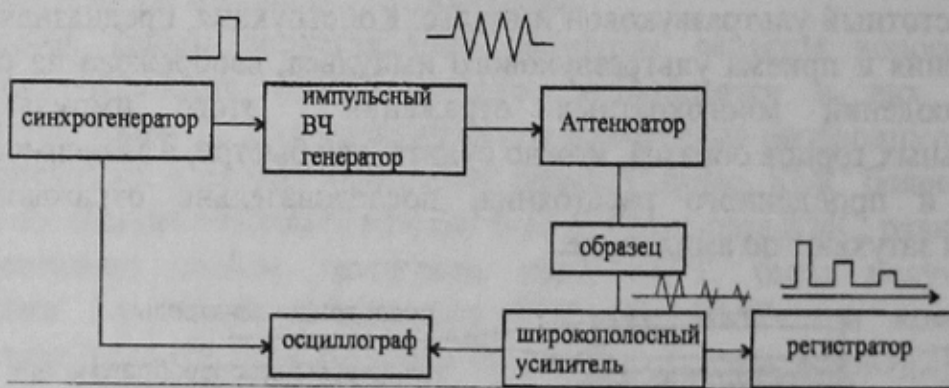


Рис. 3 - Блок-схема ультразвукового спектрометра

Синхрогенератор, генерирующий прямоугольные видеоимпульсы с длительностью, задаваемой условиями эксперимента запускает ВЧ-генератор. На его выходе получаем радиоимпульсы с частотой заполнения равной основной гармонике пьезопреобразователя или его нечетным

гармоникам. Радиоимпульс подводится к преобразователю, где в результате пьезоэффекта превращается в звуковую волну. Звуковой импульс, пройдя образец и отразившись от противоположной грани, вновь попадает на пьезопреобразователь, где в связи с обратимостью пьезоэффекта, вновь превращается в электрический сигнал. Отраженные сигналы усиливаются широкополосным усилителем и подаются на осциллограф и регистрирующий прибор (самописец).

Рассмотрим суть возникших проблем. Исследование металлов проходило в основном при температурах жидкого гелия  $1.8 - 4.2^{\circ}\text{K}$  [6], когда акустическая связка между образцом и пьезопреобразователем находилась в замороженном состоянии и вносила постоянный вклад в затухание УЗ-волны в рабочем диапазоне температур, что несущественно при проведении относительных измерений. И при эксперименте достаточно было прописывать на самописце амплитуду одного прошедшего или отраженного эхоимпульса в зависимости от магнитного поля.

Область температур, в которых предполагается проводить исследование манганитов значительно шире – от  $77^{\circ}\text{K}$  до  $\sim 300^{\circ}\text{K}$ . В таком широком диапазоне не учитывать влияние акустической связки уже нельзя. В данной ситуации измерение амплитуды одного прошедшего импульса не будет адекватно отражать поведение затухания звука в образце. Так, возможна ситуация, когда при понижении температуры, в связи с увеличением вязкости акустической связки, амплитуда первого прошедшего импульса возрастает, что будет свидетельствовать о уменьшении затухания. А амплитуда второго и последующего импульсов уменьшается, что свидетельствует о действительном увеличении затухания. Возникает противоречие.

Поэтому, использовать лишь один прошедший импульс нельзя. Следует работать с двумя, и вычислять затухание по формуле (1). Далее, из анализа работ [1-5] можно сделать вывод, что свойства манганитов в области  $T_x$  изменяются довольно резко и самописец уже будет вносить определенную задержку в регистрацию результатов измерений. А при больших измерениях запись становится достаточно трудоемкой. Приходится делать несколько записей, и производить их объединение.

Следующей проблемой является снятие фазовых диаграмм, когда на какой-то период времени необходимо зафиксировать температуру и провести протяжку магнитного поля. И это необходимо выполнять в широком диапазоне температур. Точность поддержания температуры, особенно в момент фазового перехода, должна быть не хуже  $0.5^{\circ}\text{K}$ . Подобная ситуация возникает и при измерении скорости.

Все выше сказанное, а также преимущества компьютера при обработке массива данных и возможность управлять ходом эксперимента и ставит задачу его введения в комплекс ультразвукового спектрометра.

Задачи автоматизации заключаются в следующем:

- разработка и изготовление автономного блока, позволяющего преобразовывать аналоговые сигналы от спектрометра в цифровой код, который вводится затем в компьютер, а так же цифровой код от компьютера в аналоговый сигнал для управления температурой и магнитным полем;
- разработать и изготовить плату расширителя интерфейсных портов для ввода данных в компьютер и вывода команд управления. Плата должна вставляться в ISA слот PC.

### **Структура системы автоматизации**

#### **физического эксперимента**

Аппаратная часть системы автоматизации физического эксперимента состоит из модуля ввода-вывода данных, подключаемого к персональной ЭВМ через стандартный интерфейс ISA. Модуль ввода-вывода осуществляет ввод сигналов от широкополосного (ШП) приемника ультразвуковых волн, термопары и датчика Холла. На основе полученных данных и плана эксперимента ЭВМ формирует управляющие сигналы для ультразвукового спектрометра, с помощью которых можно менять температуру исследуемого образца и параметры магнитного поля.

Структурная схема модуля ввода-вывода данных показана на рис. 4.

Конструктивно модуль ввода-вывода состоит из платы усилителей, устройств выборки-хранения (УВХ), аналогоцифрового преобразования (АЦП), цифроаналогового (ЦАП) преобразования и интерфейса.

Плата усилителей УМ1-УМ4 предназначена для нормализации сигналов от датчиков ультразвукового спектрометра. Выходной уровень усилителей принят от 0 до  $\pm 1$ В. Они выполнены по схеме инструментального усилителя [7]. Сигналы с усилителей поступают на схемы УВХ, которые запоминают их на время, необходимое на преобразование АЦП и ввода в ЭВМ. Сигналы с УВХ поступают на АЦП через 4-х канальный аналоговый коммутатор на микросхеме К561КП1 и усилитель УМ5. Усилитель УМ5, выполненный на микросхеме К140УД17А, приводит уровень входных сигналов  $\pm 1$ В к диапазону входного напряжения АЦП ( $\pm 5$ В). АЦП реализован на микросхеме К1113ПВ1, включенной в биполярном режиме [8]. Выходные данные от АЦП через шинный формирователь на микросхеме К555АП6 поступают на плату интерфейса с ISA.

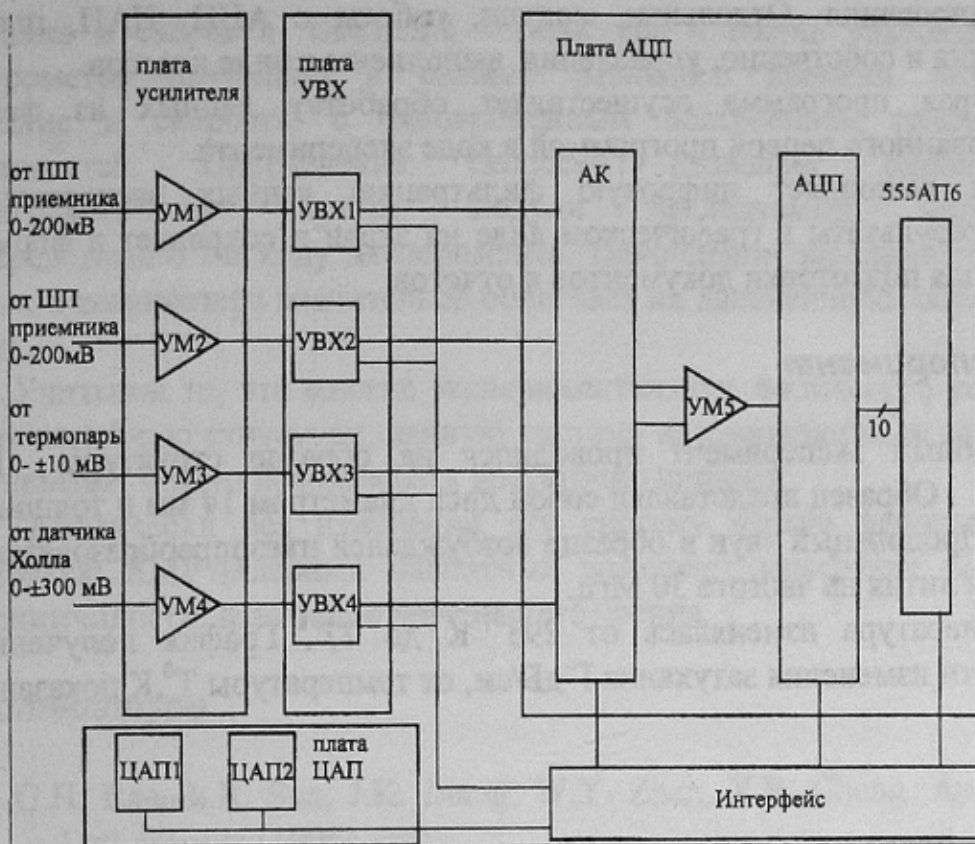


Рис. 4 - Структурная схема модуля ввода-вывода

Регулирование температуры образца и управление магнитным полем осуществляется через плату ЦАП с двумя преобразователями, выполненных на микросхемах К572ПА1.

Связь блока с компьютером осуществляется через интерфейсную плату, устанавливаемую в разъем ISA. Плата интерфейса выполнена на микросхемах К580ВВ55А и серии К555 и позволяет расширить количество 8-ми разрядных каналов ввода-вывода данных до 6. Это делает её универсальной и позволяет в перспективе подключить к компьютеру дополнительные устройства.

### **Программное обеспечение**

Программное обеспечение состоит из 2-х независимых программ. Первая программа, обеспечивает сбор данных, их предварительную обработку и управление ходом эксперимента. Данные, полученные в ходе эксперимента, записываются в файл на жестком диске. Программа написана на языке С++, и выполняется под управлением операционной системы MS-DOS. Такое решение выбрано из-за удобства написания программ, работающих с портами ПК и платами расширения, а так же из-за возможности обеспечения работы системы в реальном времени. Программа написана с применением объектно-ориентированного

программирования. Отдельные модули, работы с АЦП, ЦАП, платой расширения и собственно, управления, выполнены в виде классов.

Вторая программа осуществляет обработку данных из файла, сформированного первой программой в ходе эксперимента.

Она выполняет цифровую фильтрацию данных эксперимента, выводит результаты в графическом виде на экран и сохраняет в формате удобном для подготовки документов и отчетов.

### Эксперимент

Пробный эксперимент проводился на образце структуры  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ . Образец представлял собой диск диаметром 14 мм и толщиной 1.67 мм. Продольный звук в образце возбуждался пьезопреобразователем из ниобата лития на частоте 30 МГц.

Температура изменялась от  $293^{\circ}\text{K}$  до  $77^{\circ}$ . График полученной зависимости изменения затухания  $\Gamma$  дБ/см, от температуры  $T^{\circ}\text{K}$  показан на рис. 5

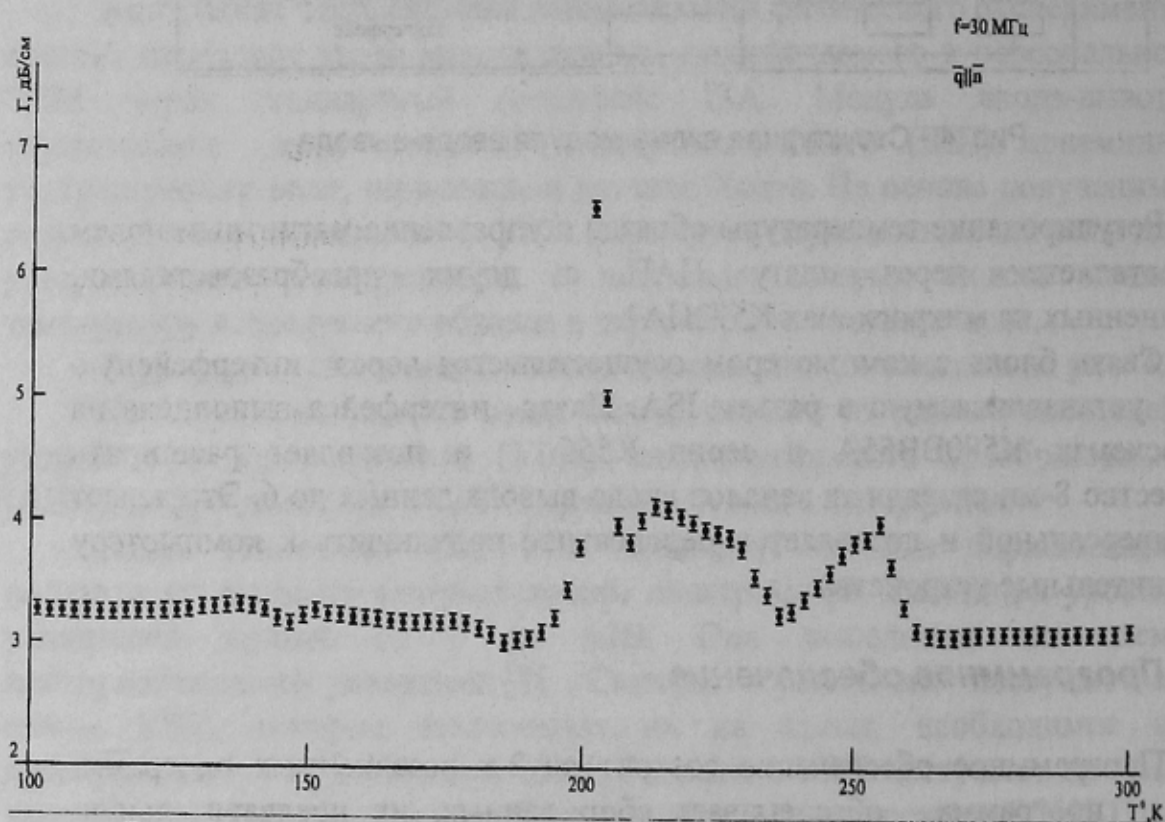


Рис. 5 - Температурная зависимость изменения затухания  $\Gamma$  дБ/см, от температуры  $T^{\circ}\text{K}$  (продольная волна  $f=30$  МГц)

### Заключение

Проведенный эксперимент показал работоспособность системы автоматического поддержания температуры, записи коэффициента

затухания и скорости. Введение компьютера в состав ультразвукового спектрометра позволило в режиме реального времени определять затухание и скорость, с одновременным построением графиков их зависимостей. Определение скорости позволяет одновременно рассчитывать и упругие модули исследуемых материалов, непосредственно по ходу эксперимента. Накопление экспериментальных данных в компьютере значительно облегчает их дальнейшую обработку и анализ.

Учитывая то, что многие экспериментальные физические установки имеют подобную структуру, данную систему автоматизации, в различных её вариантах, можно использовать достаточно широко.

Практически без изменений эту систему можно использовать в установках: ЯМР (ядерный магнитный резонанс); измерение магнитной восприимчивости; измерение внутреннего трения.

### **Литература**

1. G.H. Rao, L.R. Sun, J.K. Liang, W.Y. Zhan, X.R. Cheng. Appl. Phus. Lett. 69. 424 (1996)
2. О.Ю. Горбенко, Р.В. Демин, А.Р. Кауль, Л.И. Королева, Р. Шимчак. ФТТ 40 , 290 (1998)
3. Ю.П. Гайдуков, Н.П. Данилов, А.А. Мухин, А.М. Балбашов. Письма в ЖЭТФ, 68,2 (1998)
4. V. Rajendran, S. Muthu Kumaran, V. Sivasubramanian, T. Jayakumar, Baldev Raj. Physica B 336 (2003).
5. V. Rajendran, S. Muthu Kumaran, V. Sivasubramanian, T. Jayakumar, Baldev Raj. Phys. stat. sol. (a) 195, 2 (2003)
6. Н.Б. Брандт, С.М. Чудинов, Электронная структура металлов. Изд-во Московского университета, 1973г.
7. П. Гарет. Аналоговые устройства для микропроцессоров и мини ЭВМ. Изд-во «Мир» 1981г.
8. Б.Г. Федорков, В.А. Телец. Микросхемы ЦАП и АЦП. Изд-во «Энергоатомиздат » 1990.