

Для измерения температурных режимов планируется использовать датчики температуры (термопары), монтируемые на испытуемый электродвигатель. Эти датчики подключаются к двухканальным измерителям ТРМ – 200. Для измерения температуры обмотки статора используется опыт «вольтметра - амперметра».

Для измерения вентиляционных (аэродинамических) характеристик используется модульная аэродинамическая труба. В качестве измерительного элемента давления воздушного потока выступает пневмоэлектрический преобразователь давления типа РС-28G, расхода воздуха - преобразователь разности давлений газов APR-2000G. Датчик температуры устанавливается в трубе на расстоянии двух диаметров вентилятора от начала аэродинамической трубы. Все три датчика подключаются к расходомеру ОВЕН РМ-1. Расходомер РМ-1 представляет собой средство для измерения расхода и давления воздуха вентилятора в режиме онлайн.

Для измерения скорости потока воздуха в аэродинамической трубе используется анемометр.

Конечным итогом экспериментальных исследований является массив сохраненных данных, который располагается в архиваторе МСД200, и сохраняется на персональном компьютере.

Таким образом, конечной целью разработки является получение лабораторного комплекса, способного проводить лабораторные работы и научные исследования как в ручном, так и в автоматическом режиме с регистрацией, сохранением и отображением измеряемых параметров в виде трендов на экране монитора в режиме реального времени.

УДК 538.956, 65.011.56, 004

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Шут В.Н., проф., Мозжаров С.Е., преп.,***

***Ковалев К.А., студ., Королев С.А., студ.***

*Витебский государственный технологический университет,*

*г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. *Описана автоматизированная система для измерения зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь нелинейных материалов от температуры. Система позволила повысить качественный уровень проводимых исследований.*

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, Arduino, цифровой измеритель.

Характерной чертой современного физического эксперимента является огромное количество получаемой информации, накопление и хранение которой возможно только с использованием компьютеров. При этом встает задача установления связи между компьютером и измерительной аппаратурой используемой в эксперименте [1].

Интерфейс IEEE 488, который на Западе известен как GPIB (General Purpose Interface Bus - интерфейсная шина общего назначения), а в странах бывшего СССР как КОП (канал общего пользования по ГОСТ 26.003-80) и которым оснащено большинство современных измерительных приборов позволяет объединять приборы в автоматизированные измерительные системы и комплексы. Но для управления таким комплексом нужен компьютер, оборудованный адаптером этого интерфейса. В типовой комплектации большинства персональных компьютеров он отсутствует, а как самостоятельное изделие стоит недешево [2].

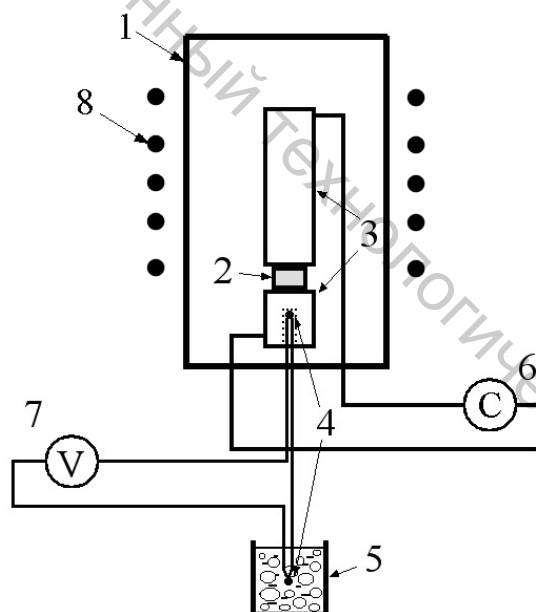
Стандарт IEEE 488 содержит две части: IEEE-488.1, описывающую аппаратную часть и низкоуровневое взаимодействие с шиной, и IEEE-488.2, определяющую порядок передачи команд по шине. Необходимость поддержки встроенного программного обеспечения 488.2 - наиболее важный аспект для производителя приборов. Помимо аппаратного интерфейса, в прибор необходимо поставить процессор, оперативную память для программ и написать лексический интерпретатор. Перед этой задачей спасовала вся приборостроительная промышленность СССР. Необходимы были недорогие процессоры для установки в приборы

и средства разработки встроенного программного обеспечения. Ни того, ни другого промышленность СССР не выпускала, как впрочем, и приемлемых по цене рабочих станций и ПК. Поэтому приборы выпускались с интерфейсом КОП (488.1) без поддержки 488.2 [3].

Вторым компонентом системы команд GPIB является Стандарт Команд Программируемого Инструмента (Standard Commands for Programming Instruments, SCPI), принятый в 1990 году. Несмотря на то, что SCPI был разработан на основе стандарта IEEE-488.2, он может быть легко адаптирован для любой другой аппаратной базы. SCPI определяет стандартные правила сокращения ключевых слов, используемых в качестве команд.

Основными характеристиками сегнетоэлектрических материалов является диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Необходимо отметить, что сегнетоэлектрики обладают фазовым переходом при определенной температуре (температуре Кюри), при которой и  $tg\delta$  и  $\varepsilon$  претерпевают значительные изменения. Точное определение аномалий в окрестности фазовых переходов играет важную роль при разработке новых материалов и их практическом применении. Поэтому автоматизация подобных измерений позволяет повысить точность исследований и уменьшить трудозатраты оператора при длительных температурных измерениях.

Схема установки приведена на рисунке 1. В нашем распоряжении имеется достаточно хороший цифровой измеритель LCR – E7-8 . (1988 г. выпуска) и цифровой вольтметр В7-34А, также производства СССР. Измерительная ячейка помещается в печь. Емкость  $C$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  измеряли в слабых электрических полях частотой 1 кГц с помощью цифрового измерителя LCR E7-8. Температура образца контролировалась дифференциальной хромель-алюмелевой термопарой, ЭДС которой измерялась вольтметром В7-34А. Измерения выполнялись в диапазоне от +25 до + 250 °С. Паразитная емкость не превышала 2 пФ и учитывалась при дальнейших вычислениях. Погрешность измерения  $C$ ,  $tg\delta$  не превышала 0,5 %. Пересчет емкости в диэлектрическую проницаемость проводили по формуле плоского конденсатора.



1 – измерительная ячейка, 2 – исследуемый образец, 3 – прижимные медные электроды, 4 – термопара (CrAl), 5 – сосуд Дьюара со льдом, 6 – измеритель LCR, 7 – вольтметр, 8 – печь

Рисунок 1 - Структурная схема измерительной установки

Используемые в установке приборы имеют нестандартный аппаратный интерфейс: на задних панелях имеются разъемы с 56 и 22 контактами, по которым приборы принимают команды и возвращают результаты измерений. Непосредственно подключить приборы к ПК невозможно. Также отсутствует программный интерфейс - то есть какая-либо система управляющих команд. Например - нужно включить режим измерения постоянного напряжения — подайте соответствующую комбинацию цифровых уровней на управляющий разъём. Нужно прочитать показания — снимите 21 цифровой сигнал на разъёме ЦПУ, и так далее.

Задача по автоматизации установки свелась к двум пунктам:

1. Оснастить В7-34А и Е7-8 современным аппаратным интерфейсом, чтобы подключать его непосредственно к ПК;
2. «Научить» приборы понимать SCPI команды, чтобы можно было использовать высокоуровневое ПО (например LabView).

Для решения поставленных задач решено было использовать аппаратно-программную платформу «Arduino», что позволило минимизировать объем пайки и обойтись без специальных программаторов. Было использовано две платы Arduino Mega 2560.

Arduino Mega построена на микроконтроллере ATmega2560. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки [4]. Связь с ПК у Arduino осуществляется через USB интерфейс, и это решало задачу № 1. Для решения второй задачи использовались библиотеки `scpi-parser` и `scpi-multimeter`, а также написанный скетч для прошивки Arduino. Библиотеку `scpi-parser` выполняет всю работу, связанную с синтаксическим разбором SCPI команд. Библиотека `scpi-multimeter` реализует логику SCPI команд и конечный автомат, занимающийся асинхронным считыванием и обработкой показаний цифровых приборов. Библиотека абстрагируется от аппаратной части, делегируя работу с портами ввода-вывода вовне, для чего использует некий абстрактный программный интерфейс. Сама прошивка для Arduino реализует абстрактный интерфейс, который пишет и читает в цифровые и последовательные порты на плате микроконтроллера.

Для проверки работы измерительной системы была написана программа, обрабатывающая результаты измерений. Экранная форма программы приведена на рисунке 2.

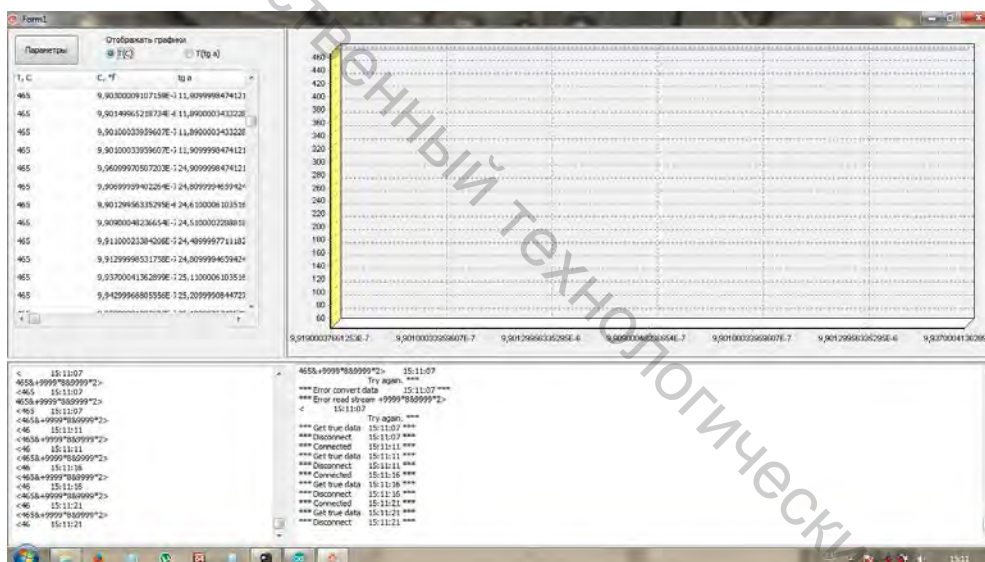


Рисунок 2 - Экранная форма программы

При разработке измерительной системы нами пока не реализовано автоматическое управление печью. Использование Arduino позволит, без проблем, сделать это в дальнейшем.

#### Список использованных источников

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7/ Под. ред. Бутырина П.А. – М.: ДМК Пресс, 2005. - 264 с.
2. Блок GPIB-USB HS National Instruments [Электронный ресурс] URL: [http://signal.ru/catalog/kop-\(gpiib\)/blok-GPIB-USB-HS-National-Instruments.-](http://signal.ru/catalog/kop-(gpiib)/blok-GPIB-USB-HS-National-Instruments.-) (дата обращения 13.03.2017)
3. Анатомия GPIB [Электронный ресурс] URL: <http://www.ixbt.com/mainboard/gpiib.html>. (дата обращения 13.03.2017)
4. Arduino Mega 2560 [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560.-> (дата обращения 13.03.2017)