

**КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ**

А.И.МАМЕДОВ, И.Б.БАЙКУЛОВ, Р.З.МЕХТИЕВА, Б.А.БАЙКУЛОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр.Г.Джавида, 33*

Компьютерная тематика стала к настоящему времени неотъемлемой частью физических исследований. Кроме того, компьютер имеет большие возможности обработки анализа полученной информации: фильтрация, дифференцирование, интегрирование, сравнение двух экспериментов, построение зависимости одного параметра от другого. Установлено, что измерение зависимости емкости от температуры, происходящей при заданной скорости роста температуры, обычно при 1град/мин, позволяет получить характеристику образца в диапазоне температур от комнатной до 450 градусоv за 7 часов без активного участия научного работника.

В современной измерительной технике использование компьютеров при проведении физических измерений и экспериментов можно разделить на три основных направления:

1. измерения сводимые к измерению электрофизических параметров;
2. неэлектрические измерения;
3. управление процессом из компьютера.

Очень многие из измеряемых электрофизических величин могут быть преобразованы в напряжение электрического тока. Многие датчики (или сенсоры) работают в качестве таких преобразователей. Например, термopара выдает напряжение, зависящее от разности температур её спаев; тензодатчик выдает напряжение, пропорциональное углу его изгиба; фотодиод генерирует ток, пропорциональный освещенности. Даже измерение силы тока, как правило, производится измерением падения напряжения на шунте. Другой вариант измерения тока через создаваемое им магнитное поле может быть реализован с помощью датчика Холла, который опять же выдает напряжение, пропорциональное магнитному полю [1-3, 6].

Таким образом, измерение напряжения может быть одним из главных способов ввода информации в компьютер. Для измерения напряжения компьютером применяются аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Для нас основными характеристиками АЦП являются диапазон входных напряжений и разрядность.

Как правило, диапазон выходных напряжений датчика сильно отличается от диапазона входных напряжений АЦП. Для эффективной работы измерительной системы необходимо усилить или ослабить напряжение датчика. Диапазон изменения напряжения на выходе усилителя должен приближаться к входному диапазону АЦП, в то же время не превышать его.

На усилитель также можно возложить функцию частотной фильтрации сигнала. Как следует из теоремы Котельникова (в англоязычной литературе – критерий Найквиста) [3,6], при оцифровке сигнала с частотой f из сигнала должны быть отфильтрованы частоты выше $f/2$. Например, если мы производим измерения, со скоростью 10 измерений в секунду, то любые компоненты сигнала с частотой выше 5Гц приведут к искажениям. Поэтому необходимо тщательно проверять имеющиеся промышленные усилители, рассчитанные на подключение обычных механических вольтметров, на которых высокочастотный шум может быть заметен

только как небольшое дрожание стрелки, в то время как на выходе АЦП такой шум может превышать полезный сигнал в несколько раз.

Однако мы часто встречаемся с необходимостью в медленных, с низкими скоростями, измерениях, например, 1 измерение в секунду. Изготовление качественного фильтра с частотой среза 0.5Гц является не простой задачей. Для уменьшения требований к усилителю можно использовать метод передискретизации, который состоит в увеличении частоты дискретизации, например в 100 раз, и последующем усреднении полученных значений. При таких условиях уже возможно использование усилителя с частотой среза 50Гц , который изготовить намного легче, чем усилитель с частотой 0.5Гц .

Разрядность АЦП отражает точность, с которой происходит преобразование *напряжение – код*. Например, 12-ти битный АЦП обеспечивает 4096 значений на выходе. Для многих измерений такая разрядность является достаточной. Так, при измерении температуры в диапазоне $0\div 200^\circ\text{C}$ использование 12-тибитного АЦП даст теоретическую точность около 0.05°C на 1 бит, и при учёте всех погрешностей, нелинейности и шумов усилителя и АЦП реальная точность может достигать 0.5°C или выше.

Для правильной работы АЦП с усилителем необходима их калибровка, то есть необходимо выявить соответствие между напряжением на входе усилителя и кодом на выходе АЦП. Для этого можно использовать источники опорного напряжения близкие ко входному напряжению усилителя. Предполагая систему *усилитель-АЦП* линейной, можно откалибровать её по двум измерениям опорных напряжений. Если используется усилитель с постоянным коэффициентом усиления, то очень удобно калибровать всю связку *усилитель-фильтр-АЦП*.

Для измерения электрофизических величин, кроме напряжения, могут быть использованы интервалы времени и код.

Измерение интервалов времени между определенными измерениями дает возможность вычислить некоторые физические параметры. Например, время зарядки конденсатора стабильным током от одного опорного напряжения до другого дает возможность вычислить его емкость. Простейшим вариантом такого измерителя является генератор стабильной частоты, счетчик и компараторы напряжения, которые запускают счет и останавливают его при наступлении соответствующих измерений. Состояние счетчика отображает время между измерениями и может быть передано в компьютер для обработки и сохранения.

Примерами использования кода могут быть датчики положения, как линейного так и углового, а так же любые самостоятельные устройства, выдающие результат работы в виде какого-либо кода. Этот код может быть считан, преобразован в удобный вид и передан в компьютер.

Кроме измерений компьютер можно использовать для управления экспериментом. Это могут быть как простейшие формы управления, например, выключение установки при достижении определённого значения измеряемой величины, так и более сложные, такие как управление нагревателем для обеспечения стабильного линейного роста температуры. Также, в качестве примера можно привести управление источником питания для изменения напряжения, подаваемого на образец, при измерении вольт-амперной характеристики; управление шаговым двигателем может быть использовано для поворота образца (или дифракционной решетки) на определённый угол при измерении оптических спектров.

Для управления такими устройствами как нагреватель или источник напряжения, так же важна такая характеристика как разрядность, но уже для цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). При этом требования к разрядности

устройства управления нагревателем могут быть намного ниже, чем для управления источником напряжения или измерительного АЦП. Это связано с большой инерционностью нагревателя, а также с известными цифровыми алгоритмами управления, обеспечивающими хорошую точность. В случае с источником напряжения требования к разрядности ЦАП повышаются аналогично требованиям к разрядности АЦП или выше.

Вместо ЦАП для управления нагревателем можно использовать широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Сигнал с выхода ШИМ подается на ключ, подающий напряжение на нагреватель со скважностью, пропорциональной величине управляющего воздействия.

В соответствии с вышесказанным, нами был разработан компьютеризированный комплекс для исследования зависимостей емкости образцов от температуры (Рис.1).

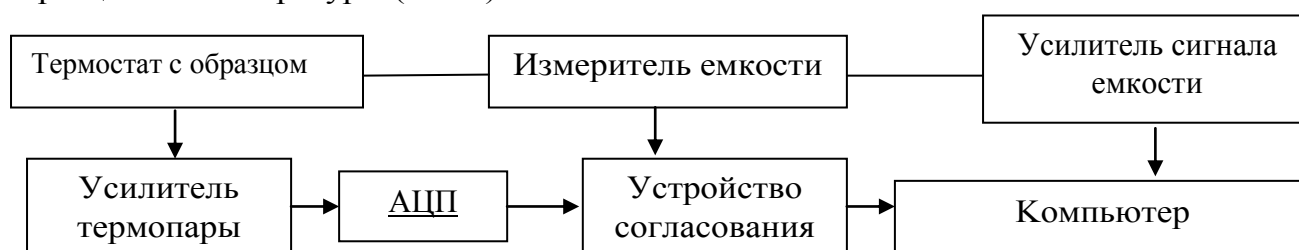


Рис.1.

Комплекс состоит из измерительной ячейки с нагревателем, измерителя емкости Е8-4, дифференциальной термопары, усилителя с АЦП и микроконтроллера, который собирает информацию с Е8-4 и АЦП и посылает её в компьютер. Кроме этого микроконтроллер управляет мощностью, подаваемой на нагреватель. Всеми действиями микроконтроллера управляет программа, написанная на языке С для микроконтроллеров.

Измеритель емкости и тангенс угла потерь Е8-4, в принципе, является цифровым устройством, хотя и построенным на устаревшей элементной базе и выдает результат своей работы в виде восьми двоично-десятичных чисел, представляющих значения измеренной емкости и тангенс угла потерь. Уровни двоичных сигналов на выходе Е8-4 соответствуют +10 вольтам для логической «1» и -10 вольтам для логического «0» и требуют преобразования в уровни стандартной TTL логики. Для этого используются оптоизоляторы по одному на каждую из 36 выходных линий Е8-4.

Сигнал с дифференциальной термопары, холодный спай которой помещён в термос со льдом, усиливается малошумящим инструментальным усилителем [4] в 250 раз, фильтруется и оцифровывается в 12-разрядном АЦП [5]. Далее цифровой сигнал передается в микроконтроллер для дальнейшей обработки. Измерение происходит со скоростью 250 измерений в секунду для упрощения аналогового фильтра. Данные из Е8-4, Данные о температуре за последнюю секунду усредняются и передаются вместе с данными из Е8-4 по мере их готовности в компьютер через последовательный порт RS232.

Информацию, посланную на компьютер, принимает специально написанная программа, отображает её графически и записывает на диск для дальнейшего использования. В программе также реализована функция стабилизации скорости роста температуры. Программа непрерывно вычисляет скорость изменения температуры и, используя алгоритм управления PID, вычисляет необходимую мощность нагревателя. Полученный результат передается в микроконтроллер, который управляет нагревателем.

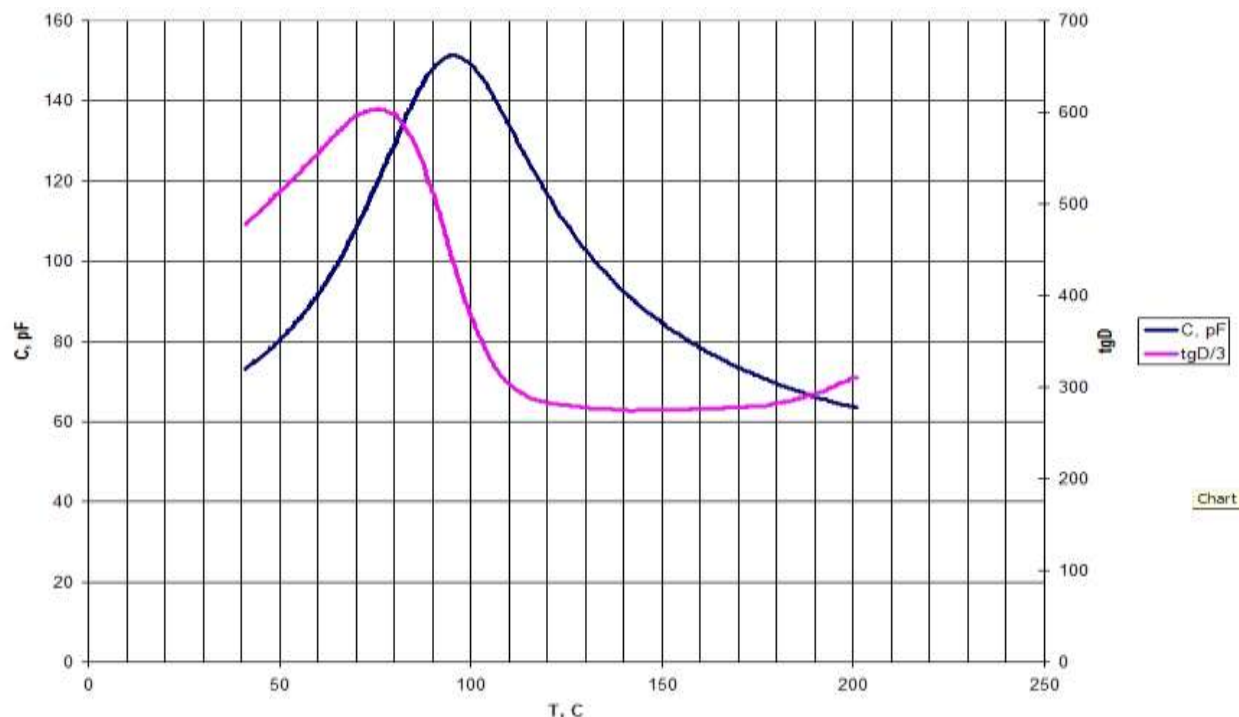


Рис.2.

На Рис.2 представлена температурная зависимость емкости (C) и тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta$) от температуры (T) в диапазоне температур $0 \div 450^\circ\text{C}$, полученная на данной установке в автономном режиме для одного из составов системы твердых растворов $(1-x) \text{Ba}_{1,65}\text{Sr}_{3,35}\text{Nb}_{10}\text{O}_{30} - x \text{Ba}_4\text{Na}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{30}$ со структурой тетрагональной вольфрамовой бронзы (ТВБ). Измерения проведены со скоростью 1 град./мин.

Таким образом, измерение зависимости емкости C от температуры T происходит при любой заданной скорости роста температуры, обычно 1 градус в минуту. Такая скорость позволяет получить характеристику образца в диапазоне температур от комнатной до 450 градусов за 7 часов работы без активного участия научного работника.

1. И.И.Нечаев, Регулятор мощности на полевых транзисторах, Москва, Радио, 4 (2005) 42.
2. А.И.Мамедов, И.Б.Байкулов, Б.А.Байкулов, Р.З.Мехтиева, V международная науч.-тех. конференция "Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе", Баку, декабрь, (2005) 101.
3. Microchip Technology Inc. PIC16F87XA 28/40/44-Pin Enhanced Flash. Microcontrollers (2000).
4. Analog Device, AD623 instrumentation amplifier datasheet.
5. Analog Device, AD7896 12bit 100KHz ADC datasheet.
6. Измеритель емкости цифровой Е8-4. Техническое описание и инструкция по эксплуатации (1991).

ELEKTROFİZİKİ TƏDQIQATLARIN VƏ EKSPERİMENTLƏRİN KOMPÜTERLƏŞDİRİLMƏSİ

Ə.İ.MƏMMƏDOV, İ.B.BAYKULOV, R.Z.MƏHDİYEVƏ, B.A.BAYKULOV

İnfomasiyanın kompüterə daxil edilməsinin əsas yollarından biri elektrik gərginliyi ola bilər. Bir çox çeviricilərdən elektrofiziki kəmiyyətlərin elektrik gərginliyinə çevrilməsi üçün istifadə edilir. Belə bir nəticə alınır ki,

tutumun temperaturdan asılılığının ölçülməsi verilmiş temperaturun artma sürətində baş verir və adətən bu sürət dəqiqədə 1 dərəcəyə bərabərdir. Bu sürət otaq temperaturundan 450 dərəcəyə qədər intervalda elmi işçinin aktiv iştirakı olmadan nümunənin xarakteristikalarının 7 saata alınmasını təmin edir.

**COMPUTERIZATION of ELECTROPHYSICAL MEASUREMENTS
and EXPERIMENTS**

A.I.MAMEDOV, I.B.BAYKULOV, R.Z.MEHDIYEVA, B.A.BAYKULOV

Many gauges are engaged in transformation of electrophysical sizes to a pressure of an electric current that can be one of the main ways of input of the information in a computer. It is received, that measurement of dependence of capacity from temperature occurs at the set growth rate of temperature, is usual at speed of 1 degree a minute. Such speed allows receiving the characteristic of the sample in a range of temperatures from room up to 450 degrees for 7 hours without active participation of the science officer.

electronic data processing allows (gives an opportunity) to carry out filtration, differentiation, integration, comparison of two experiments.

Редактор: Г.Мехтиев