

УДК 621.3117.799

© С. Э. Мочалов, А. В. Антипин, В. С. Колосницын

МНОГОКАНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕСТИРОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Описано 16-канальное устройство, предназначенное для измерения зарядно-разрядных характеристик вторичных химических источников тока и электрохимических ячеек в гальваностатическом и потенциостатическом режимах для двух- и трехэлектродной схем включения по независимым для каждого канала программам. В устройстве реализованы два рабочих диапазона тока: ± 5 и ± 100 мА при максимальном напряжении поляризации ± 10 В. Точность регулирования составляет 0.1 %. Предложенное программно-аппаратное решение позволяет управлять прибором и получать результаты измерений удаленно по Ethernet.

Кл. сл.: программно-аппаратное устройство, удаленное управление экспериментом, тестирование электрохимических ячеек

ВВЕДЕНИЕ

Измерение зарядно-разрядных характеристик вторичных химических источников тока (ХИТ) и электрохимических ячеек в различных режимах поляризации является одним из основных экспериментальных методов их исследования. Отличительной особенностью таких экспериментов является их большая длительность. При измерениях в часовых режимах заряда и разряда для ХИТ, способных обеспечить сотни и тысячи циклов заряда-разряда, требуются времена наблюдений порядка недель и месяцев. Измерения в более мягких режимах поляризации приводят к пропорциональному увеличению времени эксперимента. Так как для получения надежных данных обычно параллельно исследуются несколько идентичных образцов, единственным способом экономии времени является проведение экспериментов с использованием многоканальных устройств, получивших название "Battery Testing Systems". Такие системы выпускаются серийно [1, 2, 3]. Однако эти устройства зачастую не устраивают разработчиков новых электрохимических систем. Так, некоторые устройства предназначены для исследования только двухэлектродных ячеек или готовых аккумуляторов. Для решения таких задач требования многодиапазонности, биполярности и возможности работы по трехэлектродной схеме излишни и не реализованы. Программное обеспечение эксперимента зачастую выполнено для работы под управлением операционной системы, вызывающей сомнения в долговременной стабильной работе устройств. В некоторых случаях невозможно изменить программу эксперимента во время ее испол-

нения без обязательной остановки. Поэтому многие исследователи используют приборы собственной разработки [4, 5, 6].

На основании опыта многолетней работы в области электрохимической энергетики мы считаем, что исследовательская установка должна обладать следующими свойствами:

- иметь широкий диапазон регулирования и регистрации поляризующего тока;
- работать в гальвано- и потенциостатическом режимах по двух- и трехэлектродной схемам;
- поляризирующая цепь должна быть биполярной для обеспечения возможности исследования отдельных электродов при малой катодной и анодной поляризации;
- обеспечивать непрерывную работу в течение нескольких месяцев или даже лет;
- обеспечивать удаленный доступ для получения измеренных данных или управления экспериментом в любое удобное время и из любого места;
- обеспечивать гальваническое отключение образца при аварийной остановке;
- обладать приемлемой стоимостью.

В настоящей работе описываются конструкция и опыт эксплуатации разработанного нами прибора, удовлетворяющего перечисленным требованиям.

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА

Блок-схема прибора приведена на рис. 1. Основу устройства составляют 16 (по количеству рабочих каналов) плат потенциостатов-гальваностатов. Регулирующее звено потенциостата реализовано

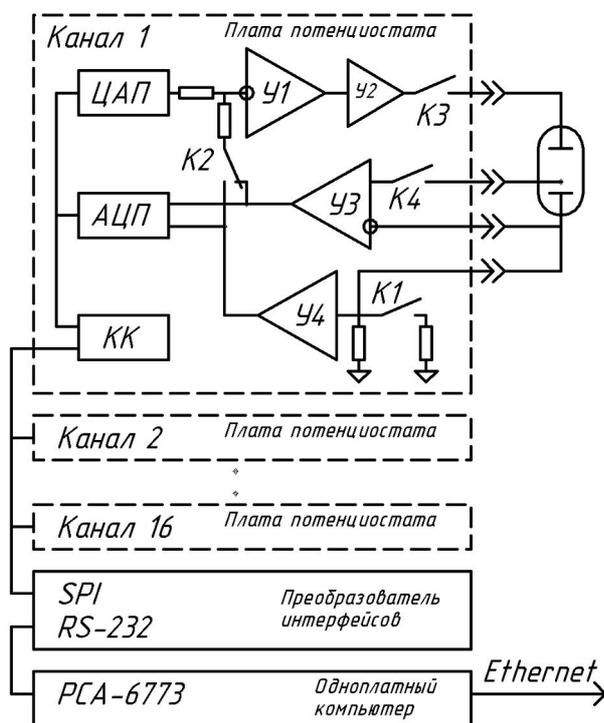


Рис. 1. Блок-схема прибора

на У1 (OP07C) с буферным повторителем У2 (BUF634T, Burr-Brown) по классической схеме с заземленным токоизмерительным резистором. Реализованы два токовых диапазона ± 5 и ± 100 мА, выбираемые ключом К1. В качестве датчика уровня поляризации использован 16-разрядный ЦАП (AD420, Analog Devices); потенциал и ток измеряются 24-разрядным АЦП (AD7714, Analog Devices). Измерения зарядно-разрядных характеристик можно проводить в потенциостатическом и гальваностатическом режимах по двух- и трехэлектродной схеме подключения. Переключение режимов осуществляется ключом К2. На инструментальном У3 (AD620) и повторителе У4 (OP07C) реализованы формирователи сигналов потенциала и тока соответственно. При аварии питающей сети объекты измерений гальванически отключаются нормально-разомкнутыми контактами ключей К3 и К4. Все ключи — миниатюрные реле с герметичными контактами (Meder). Управление ЦАП, АЦП, коммутирующими ключами, а также дешифрацию адреса платы потенциостата осуществляет контроллер канала КК (ATtiny2313, Atmel).

Платы потенциостатов измерительных каналов объединены шиной приборного интерфейса SPI. Для согласования SPI с последовательным портом управляющего компьютера используется преобразователь интерфейсов

преобразователь интерфейсов RS-232/SPI, размещенный на отдельной плате.

Управляет экспериментом одноплатный компьютер PCA-6773 (Advantech) с процессором Intel ULV Celeron 400/650 Fanless.

Устройство смонтировано в стандартном 17-дюймовом корпусе IPC-623 (Advantech), имеющем 20 слотов для устанавливаемых плат, систему вентиляции, блок питания и систему контроля уровня питания, температуры в корпусе и исправности вентиляторов.

УДАЛЕННЫЙ ДОСТУП

Управление приборами осуществляется удаленно с внешних (клиентских) компьютеров. Доступ к устройству для управления экспериментом и обмена данными реализован через сетевой интерфейс управляющего компьютера PCA-6773 (Ethernet) в соответствии с назначенным ему статическим IP-адресом. Использование Ethernet, кроме того, позволяет удаленно осуществлять сервисное обслуживание прибора, обновление его программного обеспечения, управление дополнительным оборудованием, например ПИД-регуляторами термостатов (CNI16D43-EI, Omega).

Прием управляющих команд от клиентского компьютера и передача текущих данных осуществляется по TCP/IP протоколу. Для обеспечения безопасности доступа каждому прибору присваиваются логин и пароль.

Файлы с результатами измерений и программы эксперимента хранятся на локальном жестком диске устройства, доступ к данным реализован по стандартному FTP-протоколу. В целях сетевой безопасности доступ по FTP также ограничивается паролем.

Учитывая доступность интерфейса Ethernet для внешнего подключения, возможны различные варианты сетевой конфигурации оборудования:

Вариант 1

Каждому прибору присваивается *публичный* статический IP-адрес в глобальной сети. В этом случае прибор доступен для управления с любого компьютера, имеющего выход в Интернет. Т. е. любой удаленный ПК может являться клиентским по отношению ко всем приборам, имеющим публичные сетевые адреса.

Вариант 2

Приборы и клиентские ПК находятся в одной подсети с назначенными *приватными* статическими IP-адресами (приватные адреса назначаются самим потребителем из диапазонов адресов 10.0.0.0–10.25.255.255, 172.16.0.0–172.31.255.255,

192.168.0.0–192.168.255.255). При такой конфигурации скорость обмена данными выше, однако прямой доступ к приборам извне локальной сети невозможен. В этом случае можно осуществить доступ по Интернету к клиентскому ПК с помощью программ удаленного терминального доступа, например VNC, LogMein [7, 8] или посредством VPN [9].

Описанные конфигурации не исчерпывают многообразия возможных вариантов подключения.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРВЕРА

Программное обеспечение управления экспериментом реализовано на основе архитектуры клиент—сервер.

Серверная часть работает на одноплатном управляющем компьютере прибора под управлением Unix-подобной операционной системы NetBSD [10], которая предоставляет достаточно надежные сетевые службы и эффективное управление памятью, имеет низкие затраты на системное взаимодействие. Unix-подобные системы устойчивы и широко представлены в списке Web-серверов с наибольшим временем непрерывной работы (согласно исследованию компании Netcraft [11]).

Целевое программное обеспечение сервера составляют две программы фонового режима (daemon) — **Spihostd** и **Scyclerd**. **Spihostd** мультиплексирует обращения к SPI-шине в поток данных для последовательного порта RS-232, обеспечивая удобство отладки и гибкость системы. Данная программа при исполнении образует единичный процесс, мультиплексирование осуществляется очередью UDP-пакетов с запросами на операцию с шиной.

Непосредственно ходом эксперимента и обменом данными управляет программа **Scyclerd**. Для работы с узлами прибора программа **Scyclerd** обменивается данными с **Spihostd** по предопределенному UDP-порту. Основной процесс программы представляет собой 17 основных потоков (threads). Один из потоков контролирует внешние соединения, остальные обслуживают непосредственно платы потенциостатов каналов. При присоединении каждого клиента порождаются два дополнительных потока процесса — первый обрабатывает полученные входящие команды, второй собирает и отправляет сообщения с "рабочих" каналов.

Взаимодействие сервера с клиентом происходит путем обмена текстовыми сообщениями. Сервер принимает от клиента для исполнения строки вида

команда [список аргументов],

например:

LOAD [номер_канала, имя_файла] — загрузка программы измерений из указанного файла для исполнения в указанном канале;

FULL [номер_канала] — запрос на выдачу текущего состояния канала.

После выполнения команды сервер передает клиенту строки с результатами ее выполнения и служебные флаги состояния канала. Формат ответа определяется типом исполненной команды.

КЛИЕНТСКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В состав клиентской части пакета программ (т. е. пакета программ, размещаемого на клиентском ПК) входят следующие приложения:

- основная управляющая программа;
- утилита для быстрого просмотра измеренных данных в графической форме;
- программа, предназначенная для численной и графической обработки экспериментальных данных и экспорта фрагментов данных во внешние приложения: MS Excel, MS Word и т. д.

Вид основного окна работающего приложения показан на рис. 2. Окно содержит таблицу для отображения текущего состояния в каждом канале и элементы управления, позволяющие начать измерения, остановить их, принудительно перейти на следующий шаг цикла. Кроме того, можно запустить утилиту просмотра результатов измерений в графическом виде (**View**) или программу численной и графической обработки результатов (**Calc**).

При нажатии кнопки **Setup** в строке соответствующего канала открывается окно программирования цикла измерений (передний план рис. 2). Цикл измерений состоит из последовательности шагов. Для каждого шага цикла измерений задаются режим и амплитуда поляризации, условия записи измерений и перехода на следующий шаг. Доступны для выбора режимы гальваностатического и потенциостатического заряда и разряда и режим "отдыха" **idle**. В этом режиме гальванически размыкается цепь поляризации образца и через ячейку протекает только ток цепи измерения потенциала, около 10^{-9} А.

Для удобства программирования однотипных экспериментов предусмотрено копирование программ из одного канала в другой. Параметры программы доступны для изменения во время эксперимента.

Программа обработки данных позволяет графически обрабатывать как произвольные наборы отдельных циклов (задний план рис. 3), так и эксперимент в целом, т. е. осуществлять групповую



Рис. 2. Рабочее окно клиентской программы и окно программирования цикла измерений

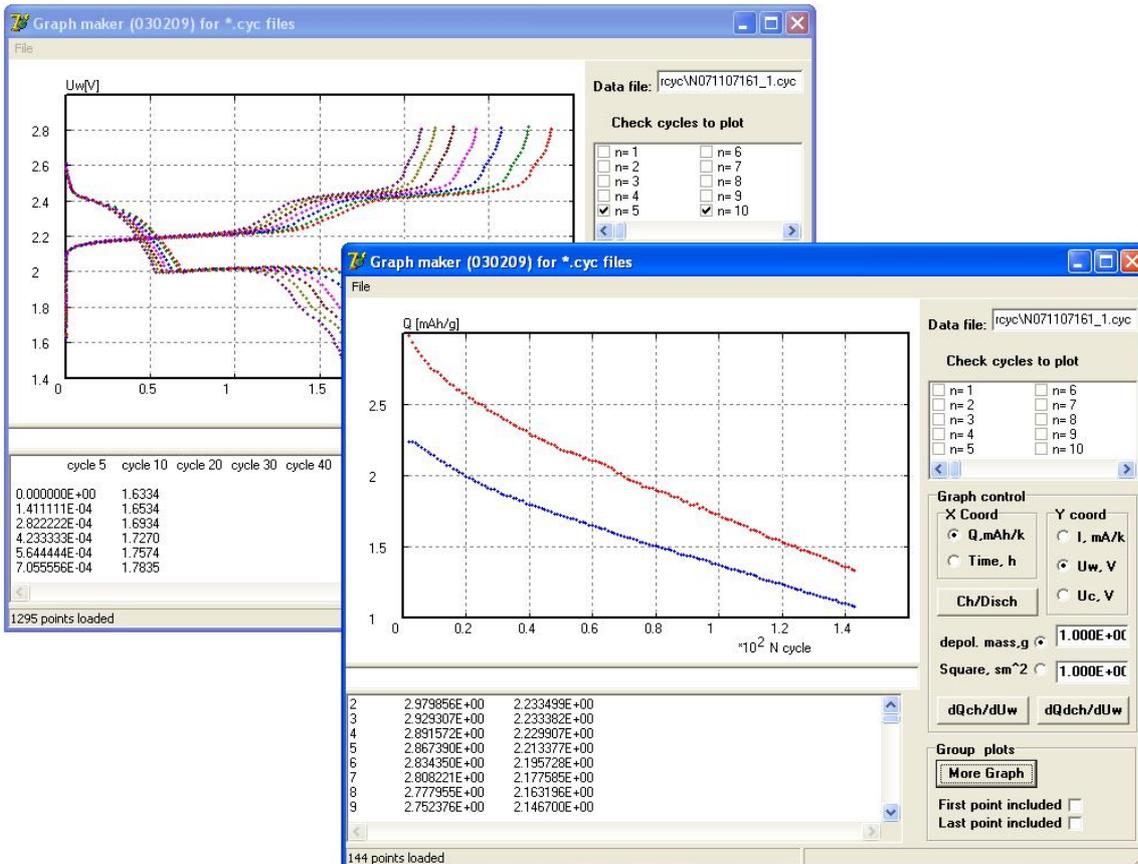


Рис. 3. Окна программы обработки данных

обработку. Например, на переднем плане рис. 3 представлены рассчитанные зависимости зарядной и разрядной емкостей литий-серной ячейки для 144 циклов заряда-разряда. Обработанные данные могут быть экспортированы во внешние приложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в работе прибор тиражирован в количестве 6 экземпляров. Устройства показали надежную работу за двухлетний период эксплуатации в России и за рубежом, обеспечивая удобное управление и доступ к экспериментальным данным независимо от места нахождения экспериментатора.

Работа выполнена при поддержке компании "Oxis Energy Ltd", Culham Science Centre, Abingdon Oxfordshire OX 14 3DB, UK.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: (<http://www.bitrode.com/products/access/battaccess.htm>).
2. URL: (<http://www.maccor.com/>).
3. URL: (<http://www.neware.com.cn/>).
4. Бубнов Ю.И., Матвеев К.А. Модульное устройство для испытаний трехэлектродных электрохимических ячеек // Сборник материалов IX Международной конференции "Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах". Уфа: Реактив, 2006. С. 314.
5. Стрилецкий Ю.И., Гасюк И.М., Угорчук В.В. Вариант разработки автоматизированной многоканальной установки циклирования электрохимических ячеек // Сборник материалов IX Международной конференции "Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах". Уфа: Реактив, 2006. С. 315.
6. Чернухин С.И., Мартынюк В.В., Третьяков Д.О., Войтюк О.П., Страшко Г.В. Многофункциональный автоматический стенд для исследования электродных материалов и образцов ХИТ // Сборник материалов IX Международной конференции "Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах". Уфа: Реактив, 2006. С. 316.
7. URL: (<http://www.realvnc.com/>).
8. URL: (<https://secure.logmein.com/>).
9. URL: (<http://lug-wiki.nnov.ru/index.php/Openvpn>).
10. URL: (<http://www.netbsd.org/>).
11. URL: (<http://uptime.netcraft.com/up/today/top.avg.html>).

Институт органической химии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

Материал поступил в редакцию 21.04.2009.

MULTICHANNEL TEST SYSTEM FOR SECONDARY CHEMICAL CURRENT SOURCES AND ELECTROCHEMICAL CELLS

S. E. Mochalov, A. V. Antipin, V. S. Kolosnitsyn

Institute of Organic Chemistry of Ufa Scientific Center of RAS, Ufa

The 16-channel charge-discharge testing system for secondary chemical current sources and cells is described. Each channel works at constant current or constant voltage modes. The cell can be connected by two- or three-electrode scheme. Channels are completely independent. The system provides ± 5 mA and ± 100 mA current output ranges at ± 10 V voltage range. Current and voltage set accuracy is 0.1 %. The system is remotely controlled via Ethernet.

Keywords: firmware equipment, remote experiment control, battery testing systems