

## НОВОЕ ВЫСОКОТОЧНОЕ РОССИЙСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ SMARTSTAT®

© 2023 г. Е. А. Астафьев\*

Компания *Electrochemical instruments*, Спортивный бульвар, 9, Черноголовка, Московская обл., 142432 Россия

\*e-mail: [tdsipch@list.ru](mailto:tdsipch@list.ru)

Поступила в редакцию 12.12.2022 г.

**Ключевые слова:** потенциостат, электрохимия, приборостроение

**DOI:** 10.31857/S0424857023050031, **EDN:** KJNNMQ

В современных научных исследованиях, связанных с электрохимией, можно обнаружить две интересные тенденции. С одной стороны, есть специалисты и даже целые рабочие коллективы профессиональных электрохимиков, выполняющие весьма нетривиальные исследования, для осуществления которых от электрохимического научного оборудования – потенциостатов, требуются очень широкие возможности. Часто необходимо выполнение комплексных комбинаций различных рабочих режимов, следующих друг за другом.

Кроме того, для этой профессиональной среды все чаще становится необходимым исследование многоэлектродных систем, в том числе с одновременным измерением отдельных спектров импеданса катода и анода, например, химического источника тока. Помимо этого, часто возникают задачи, требующие регистрации сигналов от другого, неэлектрохимического оборудования, при их синхронизации во времени с данными для тока и потенциала. Все это требует от потенциостата наличия дополнительных высокоточных и быстродействующих каналов регистрации данных.

С другой стороны, в современном научном мире также можно наблюдать ситуацию, когда электрохимическими экспериментами начинают заниматься ученые, зачастую безусловно талантливые в своей области, но никогда не имевшие дела с электрохимическими измерениями. В этом случае от современного потенциостата, как основного инструмента в электрохимических исследованиях, требуется наличие удобного и понятного неспециалисту программного обеспечения, пригодного для быстрого старта. В аппаратурном же плане здесь требуется очень высокая устойчивость потенциостата, т.к. на первых порах экспериментатор может допускать ошибки, и прибор должен вытягивать эксперимент даже с ними.

Как видно, рассмотрев даже весьма ограниченный набор аспектов современных электрохи-

мических исследований, можно сделать вывод, что от современного потенциостата требуются не только весьма высокие характеристики и возможности, но и своеобразная эргономика.

Понимая эти и многие другие обстоятельства, учитывая собственный профессиональный опыт в проведении широкого класса электрохимических исследований, коллектив компании *Electrochemical Instruments* спроектировал новую линейку современных высококлассных потенциостатов *SmartStat*. В качестве ориентиров на характеристики и возможности были выбраны топовые европейский бренды, так как более чем двадцатилетний опыт разработки электрохимического оборудования позволяет создавать серийные российские потенциостаты подобного уровня с приемлемой для отечественной науки стоимостью.

Линейка *SmartStat* изначально задумывалась со специализацией каждой проектируемой модели по классу исследуемых объектов. Например, мощный прибор *PS-250* позволяет работать с химическими источниками тока при токах до 25 А, а высокочастотный *PS-20* создавался для решения задач по ионике твердого тела и позволяет высококачественно измерять импеданс до 3 МГц. Для рутинной, но тонкой работы с большим количеством образцов, имеется четырехканальный потенциостат *PS-10-4* с выходным током 1 А на канал.

В то же время закладывалась и максимально широкая универсальность. Аппаратурно она выражается в том, что даже у младшей модели *PS-10* имеется 9 диапазонов тока, позволяющие ей измерять импеданс до 300 ГОм и обрабатывать токи в десятки пикоампер с высокой точностью. Наиболее же совершенная модель *PS-50* реализует шестиелектродную схему подключения, имеющуюся до сих пор только у самых дорогих зарубежных приборов. 10 диапазонов тока, расширенный диапазон потенциала 12 В, и все это в сочетании с новейшей прецизионной и быстродействующей си-

стемой сбора данных. Именно она позволила реализовать шестиэлектродную схему подключения, а также возможность подключения внешних приборов.

Следующим шагом в сторону универсальности является то, что любая модель SmartStat, включая многоканальный PS-10-4 и мощный PS-250, обеспечивает высокоточное измерение электрохимического импеданса до 50 кГц уже при амплитуде 1 мВ в базовой комплектации. Установка же модуля высокочастотного импеданса FRA, позволяет для некоторых моделей расширить верхний частотный предел до 1 МГц и выше. Та же система сбора данных дает возможность синхронной с током и потенциалом оцифровки внешних аналоговых сигналов, причем с реальным разрешением 20 бит, как и для основных сигналов тока и потенциала.

Каждый производитель потенциостатов закладывает в свои разработки свойственные только ему, сильные – зачастую инновационные, возможности, недоступные другим компаниям. Для SmartStat одной из таких – беспрецедентных в мировой практике – особенностей стало применение в качестве синтезатора развертки ультрасовременного цифро-аналогового преобразователя разрядностью 20 бит, что обеспечило на диапазоне потенциала 5 В шаг синтеза развертки на уровне 10 мкВ. В отличие от традиционных аналоговых модулей развертки такое решение не ограничено снизу скоростями в несколько милливольт в секунду или даже их десятков.

Решение части поставленных выше задач отразилось также и на аналоговых узлах SmartStat – их новая идеология позволила достичь требуемого уровня устойчивости и низких шумов прибора. Все это положительно сказалось на качестве работы в самой требовательной к этим характеристикам области – в жидкостных трехэлектродных ячейках.

Отдельного внимания заслуживает новое программное обеспечение SmartSoft. Помимо продуманного современного интерфейса, сочетающего в себе простоту и понятность, именно оно дает пользователю широчайшие возможности для гибкой реализации самых сложных экспериментальных программ и методик, а также их комби-

наций. Речь прежде всего идет о новом программаторе, позволяющем циклически повторять до 50 индивидуальных шагов. Можно выбрать несколько шагов, которые нужно отработать однократно, без заикливания для выполнения предобработки или формировки образца.

В сочетании с программатором работает новая мощнейшая, но предельно простая для пользователя функция множителей. Она позволяет через определенное число циклов программатора умножить на заданное значение выбранный параметр, например скорость развертки или зарядный ток. Девять критериев досрочного завершения эксперимента предлагают до шести вариантов индивидуальных действий при срабатывании любого из них, в том числе и переход к определенному шагу программатора. Также есть режим планировщика, позволяющий загрузить в прибор до 10 независимых программаторов или простых режимов работы.

В программное обеспечение SmartSoft зашито 32 вида базовых комбинаций осей диаграмм – для отображения постояннотоковых данных, импеданса, а также различных смешанных, например Мотта–Шоттки. В качестве первичной автоматической обработки данных предлагается настраиваемый расчет более 70 параметров по постоянному и переменному току, которые можно строить на гистограмме от номера цикла или шага. Все данные можно легко копировать и сохранять для стороннего использования.

Помимо прочего, потенциостаты SmartStat имеют энергонезависимую память, пользовательские настройки безопасности образца, функцию контроля обрыва цепи, а также возможность отключения всех профессиональных настроек начинающим ученым для максимально удобной работы.

Потенциостаты SmartStat разработаны и выпускаются в России, поэтому поставляются в кратчайшие сроки из наличия на складе. Обслуживанием приборов и консультированием по ним занимаются специалисты с ученой степенью по электрохимии, сами активно занимающиеся научной деятельностью и хорошо понимающие существующие экспериментальные проблемы и задачи.