

Информатика и информационные технологии

УДК 004.021:004.67

МЕТОД ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ХРОНОПОТЕНЦИОМЕТРИИ

И.В. Суровцев

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины

Рассмотрен метод цифровой фильтрации, основанный на использовании способа определения спектра аналогового сигнала по точкам экстремумов. При его использовании в хронопотенциометрии показано, что он позволяет выполнить высокочастотную обработку разных видов электрохимических сигналов, не искажая форму полезного сигнала и не приводя к размыванию границ диапазона изменения компонентов. Метод прост в реализации, обладает большой скоростью фильтрации и обеспечивает высокую надежность в технических системах измерения сигналов различной природы.

Ключевые слова: цифровая фильтрация, точки экстремумов сигнала, хронопотенциометрия.

Розглянуто метод цифрової фільтрації, заснований на використанні способу визначення спектру аналогового сигналу по точках екстремумів. При його використанні в хронопотенціометрії показано, що він дозволяє виконувати високочастотне оброблення різних видів електрохімічних сигналів, не спотворюючи форми корисного сигналу та не призводячи до розмиву меж діапазонів зміни компонентів. Метод простий у застосуванні, має велику швидкість фільтрації та забезпечує високу надійність у технічних системах вимірювання сигналів різної природи.

Ключові слова: цифрова фільтрація, точки екстремумів сигналу, хронопотенціометрія.

ВВЕДЕНИЕ

В технических системах электрохимического определения концентрации токсичных элементов методами инверсионной хронопотенциометрии полезный сигнал, поступающий от измерительного и вспомогательного электрода, представляет собой интегральную сумму последовательного измерения во времени монотонно возрастающих потенциалов инверсии отдельных элементов после их предварительного накопления [1].

Цифровая обработка электрохимических сигналов по созданной информационной технологии определения концентрации предусматривает выполнение целенаправленного преобразования структуры данных измерения. Преобразование состоит из цифровой фильтрации исходного

сигнала, получения обратного сигнала и его дифференцирования. Полученный сигнал интенсивности рассматривают как линейную сумму компонентов измерения, при этом площадь компонента представляет собой значение времени инверсии, которое используется при определении концентрации элемента. Точность расчета концентрации напрямую связана с точностью определения значения времени инверсии и зависит от качества моделирования сигнала интенсивности, а также от правильности выбора диапазонов изменения каждого компонента [2].

Анализ исходных сигналов показывает, что создание метода цифровой фильтрации, который способен выполнить предварительную обработку всех видов электрохимических сигналов на фоне разнообразных высокочастотных помех при сохранении формы полезного и преобразованного сигнала, является довольно сложной и многоплановой задачей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Прежде чем перейти к решению задачи, рассмотрим наиболее характерные виды сигналов при выполнении хронопотенциометрических методов анализа.

Представим на рис. 1 фрагменты сигналов инверсии при измерении концентрации четырех разных токсичных элементов с одинаковой длительностью в 0,15 с.

Необходимо отметить, что видов сигналов инверсии гораздо больше, и в продолжительных по времени сигналах один вид может плавно переходить в другой. Вид сигнала не связан с химическим элементом, а зависит от продолжительности (от 0,05 до 800 с.) и условий проведения измерения. Это, прежде всего, концентрация и диапазон инверсии анализируемого элемента, химический состав фонового раствора, тип и техническое состояние используемых электродов, а также другие факторы, трудно поддающиеся формализации.

В общем виде задача предварительной обработки связана с выделением полезного сигнала $f_0(t)$ по реализации $f(t) = f_0(t) + \zeta(t)$ на фоне аддитивной помехи $\zeta(t)$. Можно предположить, что помехи $\zeta(t)$ могут быть разных типов, одновременно присутствующие и независимо искажающие полезный сигнал [3–5]. Поэтому рассмотрим их как сумму аддитивных случайных помех

$$\zeta(t) = \zeta_1(t) + \zeta_2(t) + \dots + \zeta_k(t) \quad (1)$$

и построим цифровой фильтр в виде последовательности k фильтров.

К разным типам случайных помех можно отнести:

ζ_1 — ошибки квантования аналого-цифрового преобразования сигнала;

ζ_2 — ошибки округления вычислений;

ζ_3 — шум устройства измерения или внешние воздействия («наводки»);

ζ_4 — гармонические сетевые помехи на частоте 50 Гц;

ζ_5 — импульсные одиночные помехи малой длительности («выбросы»);

ζ_6 — значительные электромагнитные помехи (молния, работающий электродвигатель, мобильный телефон).

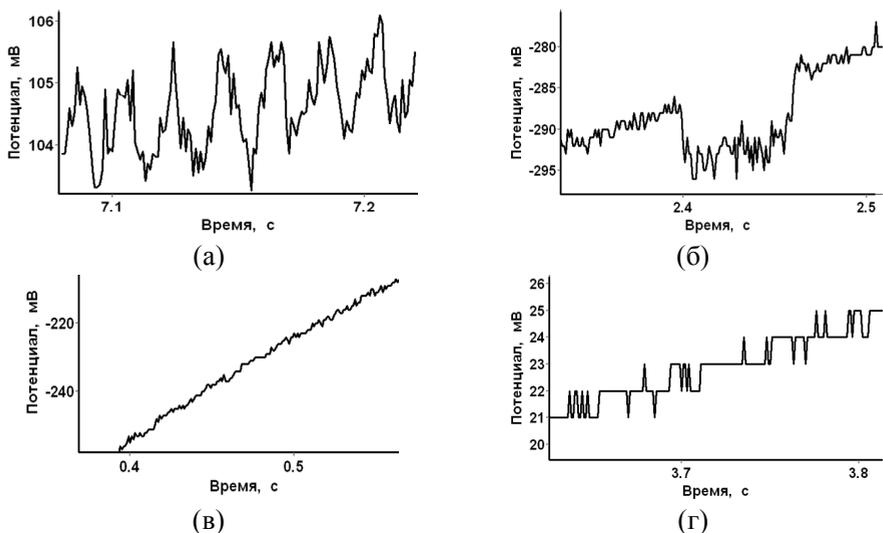


Рис. 1. Фрагменты измерения сигнала инверсии: а — ионов мышьяка, б — ионов свинца, в — ионов меди, г — ионов ртути

При создании реальных систем электрохимических измерений случайные помехи ($\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3$) объединяют и рассматривают как «белый» шум [3, 5] с равномерным распределением, нулевым математическим ожиданием и ограниченной величиной дисперсии. «Белый» шум и гармонические сетевые помехи ζ_4 устраняют разнообразными методами цифровой фильтрации. Одиочные «выбросы» ζ_5 обрабатывают специальными программами, которые учитывают свойства и характер измеряемых сигналов. Значительные электромагнитные помехи ζ_6 являются неустраняемыми, их ограничивают на системном уровне при организации самого процесса анализа.

Рассмотрим возможность использования известных методов цифровой фильтрации для обработки указанных на рис. 1 видов сигналов инверсии.

На рис. 1а показан высокочастотный «белый» шум и гармонические сетевые помехи. Для цифровой фильтрации таких сигналов используют различные фильтры, например, широко известный фильтр нижних частот Баттерворта [3] с максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой в полосе пропускания. Однако практическое его использование ограничено, поскольку он не обеспечивает полное подавление частот в полосе заграждения и искажает сигнал в полосе пропускания [4].

На рис. 1б сигнал содержит одиочный «выброс», который обрабатывается отдельно, после устранения «белого» шума и гармонических сетевых помех.

На рис. 1в сигнал может быть обработан одним из известных методов сглаживания. Например, с использованием метода экспоненциального сглаживания, предложенного Р. Брауном; модификацией метода скользящего среднего (алгоритм адаптивного сглаживания [4]); с помощью эрмитовых сплайнов и метода наименьших квадратов [6] и других. Однако использование всех этих методов приводит к искажению формы полезного

сигнала и к размыванию границ диапазона изменения компонентов на сигнале интенсивности, что существенно увеличивает ошибку определения концентрации элемента.

На рис. 1г для обработки сигнала можно использовать метод группировки данных, по которому исходный сигнал разбивается на равные участки во времени и в них определяются средние значения амплитуды [6]. Далее точки со средними значениями интерполируются по всему исходному сигналу. Однако такой подход применим только для простой формы сигнала и для него также присущи указанные выше ограничения. Кроме того, довольно сложно определить длину участка во времени для сигналов разной продолжительности.

Из сказанного следует, что трудно выбрать один какой-то существующий метод цифровой фильтрации для предварительной обработки одновременно всех видов электрохимических сигналов.

Как показали исследования, наиболее перспективным для выполнения высокочастотной предварительной обработки оказалось применение подхода, использованного при создании способа определения спектра аналогового сигнала [7]. Суть его заключается в использовании точек экстремумов для спектрального и корреляционного анализа, а также для цифровой фильтрации сигнала [8]. Основным элементом при построении спектра является значение временного интервала между соседними экстремумами и амплитудное приращение, соответствующее полуволне частоты. Главным преимуществом такого подхода является чрезвычайная простота программной реализации, ее высокая скорость и эффективность.

Использование точек экстремумов сигнала для выполнения цифровой фильтрации позволило преодолеть описанные трудности. Многократное и успешное использование такого подхода к задачам фильтрации и сглаживания не утратило актуальности, несмотря на появление новых методов предварительной обработки сигналов.

Цель работы — создать метод цифровой фильтрации, основанный на использовании способа определения спектра аналогового сигнала по точкам экстремумов, для технических систем электрохимического измерения, в которых значения полезного сигнала монотонно возрастают или убывают.

Математически эта проблема может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеется некоторый полезный сигнал $s(t)$, монотонно возрастающий или убывающий в пределах временного интервала $[0, T]$ на фоне помехи $\xi(t)$. Иными словами, во времени t наблюдается случайный процесс $y(t) = s(t) + \xi(t)$. Требуется восстановить полезный сигнал $s(t)$ путем фильтрации исходного сигнала $y(t)$ с использованием точек экстремумов, когда величина помехи $\xi(t) \rightarrow 0$ на интервале $[0, T]$.

ПОСТРОЕНИЕ СПЕКТРА АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ПО ТОЧКАМ ЭКСТРЕМУМОВ

Прежде чем перейти к изложению основных принципов построения предложенного метода цифровой фильтрации, остановимся на вопросе построения спектра аналогового сигнала путем анализа его точек

экстремумов [8]. Для этого в исходном сигнале $y(t)$ с постоянным временем дискретизации $\Delta\tau$, выбранным согласно теореме Котельникова-Найквиста-Шеннона, и длиной выборки N определяют точки экстремумов с учетом их амплитудно-временных параметров, в которых $y'(t) = 0$.

За точку экстремума сигнала (t_j, y_j) принимается отсчет (t_i, y_i) , для которого выполняется условие:

$$(y_i - y_{i-1})(y_{i+1} - y_i) < 0, \quad (t_j, y_j) = (t_i, y_i), \quad i = 1 \dots N, \quad j = 1 \dots L, \quad (2)$$

где L — общее число точек экстремумов.

Измеряют временной интервал Δt_k между соседними точками экстремумов:

$$\Delta t_k = t_{j+1} - t_j. \quad (3)$$

Временной интервал Δt_k указывает на наличие в сигнале $y(t)$ полуволн k -й частоты f_k , поскольку

$$f_k = 1 / (2 \Delta t_k), \quad (4)$$

при этом текущую амплитуду Δy_k частоты f_k определяют по величине

$$\Delta y_k = |y_{j+1} - y_j| / 2. \quad (5)$$

Суммируют и усредняют по числу значений p_k приращения Δy_k , которые относятся к одинаковым временным интервалам Δt_k , и получают оценку амплитуды a_k спектральной составляющей частоты f_k :

$$a_k = (\sum \Delta y_{kj}) / p_k; \quad j = 1 \dots p_k. \quad (6)$$

В первой итерации обнаруживают высокочастотные компоненты сигнала по отсчетам (t_i, y_i) . В последующих итерациях анализируют в качестве исходных найденные в предыдущей итерации точки экстремумов (t_j, y_j) . Число итераций M зависит от длины массива L начальных точек экстремумов:

$$M \leq \log_2(L). \quad (7)$$

Как правило, в программах фильтрации вместо текущего времени отсчета t_i используют значение $i \Delta\tau$ или только порядковый номер i .

Для дальнейшего изложения, согласно выражению (6), назовем множество точек (f_k, a_k) оценок амплитуды a_k спектральной составляющей частоты f_k — *спектр амплитуд*, а множество точек (f_k, p_k) числа приращений p_k спектральной составляющей частоты f_k — *спектр числа приращений*.

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА ПО ДВУМ ИЛИ ТРЕМ ЭКСТРЕМУМАМ

Рассмотрим метод цифровой фильтрации, основанный на использовании временных интервалов между точками экстремумов, для выполнения высокочастотной предварительной обработки электрохимических сигналов.

Существует два алгоритма этого метода — фильтрация сигнала по двум или по трем точкам экстремумов. Выбор необходимого алгоритма определяется для каждой технической системы отдельно путем опытного сравнения полученных результатов обработки измерения.

Для обоих алгоритмов метода цифровой фильтрации в исходном сигнале $y(t)$ определяют точки экстремумов (t_j, y_j) в первой итерации, рассчитывают спектр амплитуд (f_k, a_k) и спектр числа приращений (f_k, p_k) . Для выполнения фильтрации $y(t)$ и подавления высокочастотных аддитивных помех $\xi(t)$ задаются значением граничной частоты фильтра f_0 (частоты среза) или граничного временного интервала Δt_0 .

Фильтрацию проводят в два этапа. На первом этапе фильтруют высокочастотные составляющие, вызванные «белым» шумом, при этом считают, что граничный временной интервал фильтра равняется $\Delta t_0 = 3 \cdot \Delta \tau$. На втором этапе фильтрации используют исходное значение граничного интервала Δt_0 , которое соответствует частоте среза фильтра f_0 .

Алгоритм фильтрации сигнала по двум экстремумам включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. По точкам экстремумов (t_j, y_j) находят временной интервал (3), который меньше временного интервала фильтра

$$\Delta t_k \leq \Delta t_0. \quad (8)$$

Шаг 2. Определяют среднюю точку временного интервала Δt_k :

$$y_m = (y_{j+1} + y_j) / 2, \quad t_m = (t_{j+1} + t_j) / 2. \quad (9)$$

Шаг 3. Производят децимацию (прореживание) сигнала, т.е. обнуляют все точки из временного интервала Δt_k и заменяют их одной точкой (t_m, y_m) , которую добавляют в сигнал фильтрации.

Шаг 4. Копируют точки (t_i, y_i) , не соответствующие условию (8), в сигнал фильтрации.

Шаг 5. По найденным координатам точек фильтрации выполняют восстановление и сглаживание сигнала для всех N исходных точек.

Разреженный сигнал фильтрации восстанавливают одним из известных способов, например, с помощью модифицированного алгоритма построения локальных кубических эрмитовых сплайнов по четырем точкам сигнала [6]. Модификация алгоритма заключается в уточнении интерполяции граничных диапазонов путем добавления двух точек в начало и конец сигнала. Их амплитуды определяются экстраполяцией кубическим полиномом по четырем крайним точкам. При этом выполнение интерполяции на граничных участках значительно улучшается.

Процесс фильтрации сигнала контролируют по спектру числа приращений (f_k, p_k) , при этом значения числа интервалов p_k для частот f_k , которые выше f_0 , должны стать нулевыми.

Фильтрация сигнала по трем экстремумам выполняется аналогично описанному алгоритму. Изменения в алгоритме касаются способа определения координат точки фильтрации (t_m, y_m) на шаге 2. В данном случае находят средневзвешенную точку временных интервалов Δt_{k-1} и Δt_k по трем экстремумам:

$$y_m = (y_{j+1} + 2y_j + y_{j+1}) / 4, \quad t_m = t_j \quad (10)$$

Как видно из сравнения выражений (9) и (10), в алгоритме фильтрации сигнала по трем экстремумам, временная средневзвешенная координата t_m

совпадает с координатой времени средней точки экстремума. При этом в алгоритмах фильтрации и интерполяции могут использоваться только порядковые номера точек сигнала, а не значения координат времени, что значительно упрощает их программную реализацию.

Рассмотрим пример выполнения предварительной обработки сигнала инверсии при измерении концентрации элемента методом хронопотенциометрии.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ПО ТРЕМ ЭКСТРЕМУМАМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ИНВЕРСИИ МЫШЬЯКА

Используем описанную техническую систему определения концентрации токсичных химических элементов в жидких растворах пробы методами инверсионной хронопотенциометрии.

Рассмотрим пример алгоритма фильтрации по трем экстремумам для высокочастотной обработки небольшого фрагмента сигнала инверсии мышьяка с полной длиной выборки $N = 98500$, частотой дискретизации $\Delta\tau = 0,001$ с и граничной частотой фильтра $f_0 = 35$ Гц в положительной области потенциалов.

На первом этапе используем временной интервал фильтрации равный $\Delta t_0 = 3 \cdot \Delta\tau$, что соответствует частоте фильтра $f_0 = 166,7$ Гц. Вид фрагмента исходного сигнала измерения и полученный сигнал фильтрации в этом случае представлен на рис. 2.

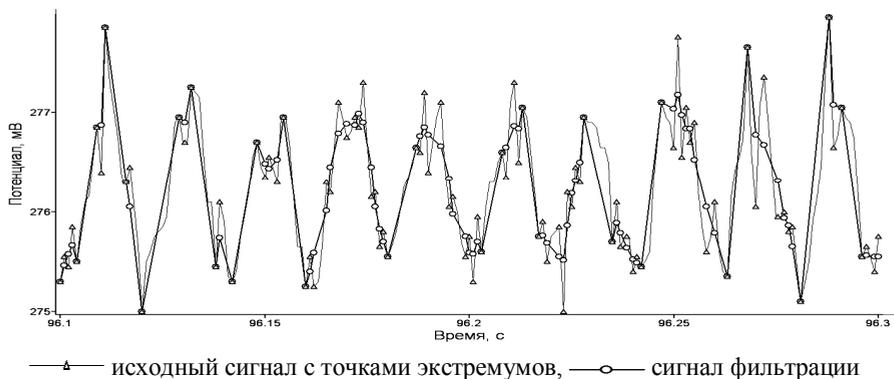


Рис. 2. Фильтрация сигнала по трем точкам экстремумов на первом этапе

Согласно спектру числа приращений, спектральные составляющие, которые больше частоты фильтра $f_0 = 166,7$ Гц, присутствуют в исходном сигнале. Поэтому выполнение первого этапа фильтрации необходимо и обычно его повторяют дважды, контролируя качество фильтрации по значениям спектра.

После интерполяции и сглаживания амплитуд сигнала для всех исходных точек отфильтрованный сигнал (толстая линия) после первого этапа представлен на рис. 3 на фоне исходного сигнала (тонкая линия).

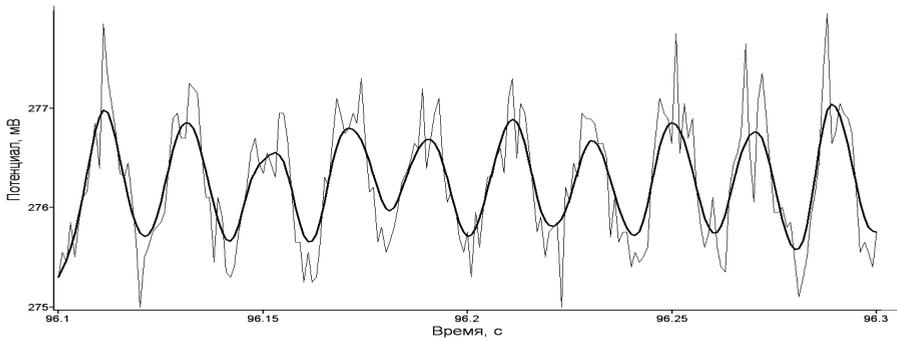


Рис. 3. Отфильтрованный сигнал после первого этапа фильтрации

Согласно спектру числа приращений, спектральные составляющие большие, чем заданная граничная частота фильтра $f_0 = 35$ Гц, наблюдаются в исходном сигнале. Поэтому выполнение второго этапа фильтрации необходимо.

После интерполяции и сглаживания амплитуд сигнала фильтрации второго этапа полностью отфильтрованный сигнал (толстая линия) представлен на рис. 4 на фоне исходного сигнала (тонкая линия).

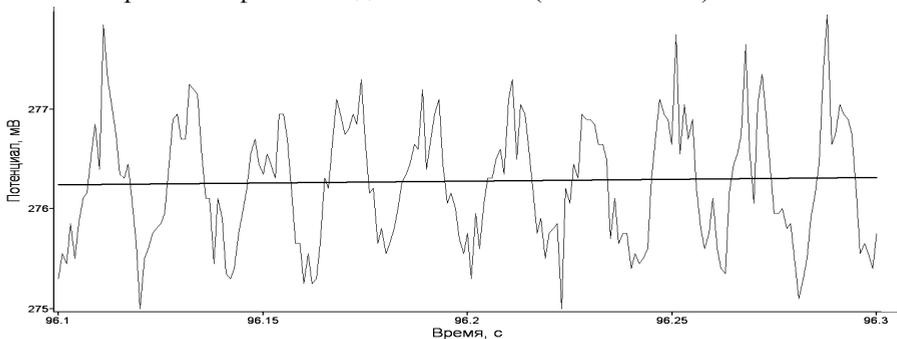


Рис. 4. Отфильтрованный и сглаженный сигнал по трем точкам экстремумов

Рассмотренный пример применения предложенного метода цифровой фильтрации продемонстрировал большую наглядность и простоту предварительной цифровой обработки реального электрохимического сигнала инверсии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЙ

Реализация метода включена в специализированный базовый пакет программ «ТС-ПО», обеспечивающий решение ряда задач цифровой обработки сигналов при создании технических систем измерения, а именно: фильтрации, сглаживания, интерполяции, аппроксимации и моделирования.

Описанный метод цифровой фильтрации показал свою работоспособность, быстродействие, надежность и был многократно внедрен автором в программное обеспечение ряда систем измерений, действующих по настоящее время в разных областях техники.

Создан серийно выпускаемый анализатор солей тяжелых металлов «М-ХА1000-5», который выполняет измерение пяти тяжелых металлов (свинца, кадмия, цинка, меди и олова) с чувствительностью 0,001 мкг/мл. Более 300 приборов используются в аналитических лабораториях СЭС МЗ Украины.

В Международном научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины разработан прибор «Анализатор ИХП», позволяющий определять содержание 14-ти токсичных элементов в растворе пробы (ртути, мышьяка, свинца, кадмия, цинка, меди, никеля, кобальта, олова, марганца, селена, йода, хрома и железа) с чувствительностью 0,0001 мкг/мл. В этом анализаторе удалось реализовать новые методы электрохимического анализа, защищенные патентами Украины: импульсной хронопотенциометрии [9], окислительной хронопотенциометрии [10], дифференциальной хронопотенциометрии [1]. Анализатор широко используется в научных лабораториях университетов и институтов для осуществления экологического мониторинга окружающей среды.

Ярким примером надежности и качества описанного метода цифровой фильтрации является его применение в действующих системах определения массы и нагрузок на оси при взвешивании автомобилей в движении на поосных весах в Международных таможенных пунктах пропуска Украины (МАПП): «Ягодин — Дорогуск РЛ» Волынской таможни; «Мамалыга — Крива МД», «Росошаны — Бричень МД» Черновицкой таможни. А также при создании системы динамического взвешивания автомобилей на платформенных весах, защищенной патентом Украины [11] и действующей на МАПП «Табаки–Мирное МД» Одесской таможни.

Метод также нашел применение в системах непрерывного дозирования руды, штыба и известняка на транспортерных весах для Побужского ферроникелевого комбината Николаевской области и в других технических системах.

Необходимо отметить, что описание приведенного метода цифровой фильтрации и конкретные результаты его применения в реальных системах измерений долгое время не освещались в научной литературе, так как способ построения спектра аналогового сигнала был закрыт для печати.

Выводы

Метод цифровой фильтрации, основанный на использовании точек экстремумов, дает возможность выполнить предварительную высокочастотную обработку разных видов электрохимических сигналов. Он не искажает форму полезного сигнала, не приводит к размыванию границ диапазона изменения компонентов на сигнале интенсивности и существенно минимизирует ошибку определения концентрации токсичных элементов методами хронопотенциометрии.

Круг задач, решаемых с помощью предложенного метода, не ограничивается приведенными техническими системами и может быть

значительно расширен. Объясняется это тем, что метод цифровой фильтрации по существу имеет универсальный характер и поэтому может быть использован для предварительной высокочастотной обработки сигналов физической или химической природы при создании систем измерения в различных предметных областях науки и техники.

1. Пат. 107412 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. Пристрій для вимірювання концентрації токсичних елементів / І.В. Суровцев, С.К. Галімов, І.А. Мартинов, О.В. Бабак, В.М. Галімова; Заяв. 21.05.2013; Опубл. 25.12.2014 // Промислова власність. — 2014. — № 24.
2. Суровцев И. В., Татаринов А. Э., Галимов С. К. Моделирование дифференциальных хронопотенциограмм суммой нормальных распределений // Управляющие системы и машины. — 2009. — № 5. — С. 40–45.
3. Оппенгейм А.В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов / — М: Техносфера, 2006. — 856 с.
4. Файнзильберг Л.С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. — К.: Наук. думка, 2008. — 333 с.
5. Задирака В.К., Мельникова С. С. Цифровая обработка сигналов. — К.: Наук. думка, 1993. — 294 с.
6. Сплайни в цифровій обробці даних і сигналів / І.В. Шелевицький, М.О. Шутко, В.М. Шутко та ін. — Кривий Ріг: Видавничий дім. — 2008. — 232 с.
7. А.С. 845600 СССР. Способ определения спектра аналогового сигнала / В.И. Скурихин, И.Д. Пономарева, П.М. Сиверский, Г.В. Цепков. — 1981.
8. Цепков Г.В. Методы сжатия данных для быстрых корреляционно-спектральных преобразований // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. — 2013. — № 15 (204). — С. 222–229.
9. Пат. 96375 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. Пристрій для вимірювання концентрації важких металів / І.В. Суровцев, І.А. Мартинов, В.М. Галімова, О.В. Бабак; Заяв. 02.06.2010; Опубл. 25.10.2011 // Промислова власність. — 2011. — № 20.
10. Пат. 104062 Україна: МПК (2006) G01N 27/48. Аналого-цифровий електрохімічний пристрій для вимірювання параметрів розчинів / І.В. Суровцев, В.А. Копілевич, В.М. Галімова, І.А. Мартинов, О.В. Бабак; Заяв. 28.05.2012; Опубл. 25.12.2013 // Промислова власність. — 2013. — № 24.
11. Пат. 106013 Україна: МПК (2006) G01G 19/02. Система поєсового зважування на платформних вагах / І.В. Суровцев, О.В. Бабак, О.Е. Татарінов, Ю.А. Крижановський; Заяв. 06.08.2013; Опубл. 10.07.2014 // Промислова власність. — 2014. — № 13.

UDC 004.021:004.67

THE METHOD OF DIGITAL FILTERING OF ELECTROCHEMICAL SIGNALS IN THE CHRONOPOTENTIOMETRY

I.V. Surovtsev

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine (Kiev)

Introduction. It is important to use methods of digital filtration of signals, that do not distort the form of signal and use its internal characteristics, such as points of extrema for systems of measuring the concentration of toxic elements in chronopotentiometry.

The purpose of research is to create a method digital filtering by using extrema points for performing high-frequency treatment of different types of electrochemical signals while maintaining the shape of the useful signal which increases monotonically.

Methods. The method of digital filtering is based on using of the method of determining the spectrum of the analog signal by points of extrema.

Results. Created method of high-frequency filtration of electrochemical signals has reduced errors in determining the concentration, since it does not distort the form of the useful signal and does not lead to a blurring of the boundaries of the components of measurement of elements. The method is actively used in existing devices measuring the concentration toxic elements in the systems of dynamic axle-by-axle weighting of automobiles and continuous dosing, as well as in many other technical systems of measurement.

Conclusion. The proposed method of digital filtering has substantially universal character and can be used for preliminary digital processing of very different physical or chemical signals.

Keywords: digital filtering, extrema points of signal, chronopotentiometry.

1. Surovtsev I.V., Galimov S.K., Martynov I.A., Babak O.V., Galimova V.M. *Device for measurement of concentration of toxic elements*. Patent 107412 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2014 (in Ukrainian).
2. Surovtsev I.V., Tatarinov A.E., Galimov S.K. The modeling of the Differential Chronopotentiograms by the Sum of Normal Distributions//*Control System and Computers* — 2009. — № 5. — pp.40–45 (in Russian).
3. Oppenheim A.V., Schaffer R.W. *Discrete-Time Signal Processing* — NJ: Prentice-Hall, 1999. — 860 p.
4. Fainzilberg L.S. *Information technologies of signal processing complex form. Theory and practice* — Kiev: Naukova dumka, 2008 — 333 p. (in Russian).
5. Zadiraka V.K., Melnikova S.S. *Digital signal processing* — Kiev: Naukova dumka, 1993. — 294 p. (in Russian).
6. Shelevitsky I.V., Shutko M.O., Shutko V.M., Kolganova O.O. *Splines in digital data processing and signals* — Kryvyi Rih: Vydavnychyy dim, 2008. — 232 p. (in Ukrainian).
7. Skurykhin V.I., Ponomareva I.D., Siverskij P.M., Tsepkov G.V. Method of determining the spectrum of the analogue signal. Patent 845600 SSSR, 1981 (in Russian).
8. Tsepkov G.V. Methods of data compression for quick spectrum and correlation transformations//*Visnyk Shidnoukrains'kogo nacional'nogo universytetu im. V.Dalja* — 2013. — № 15 (204). — pp. 222–229 (in Russian).
9. Surovtsev I.V., Martynov I.A., Galimova V.M., Babak O.V. *Device for measurement of concentration of heavy metals*. Patent 96375 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2011 (in Ukrainian).
10. Surovtsev I.V., Kopilevych V.A., Galimova V.M., Martynov I.A., Babak O.V. *Analog-digital electro-chemical device for measurement of parameters of solutions*. Patent 104062 Ukraine, Int.C1. (2006) G01N 27/48, 2013 (in Ukrainian).
11. Surovtsev I.V., Babak O.V., Tatarinov O.E., Kryzhanovskiy Y.A. *System for axle-by-axle weighing on platform scales*. Patent 106013 Ukraine, Int.C1. (2006) G01G 19/02, 2014 (in Ukrainian).

Получено 06.07.2015