УДК 691.391.25

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБЛИЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩЕЙ ИГЛЫ И ОБРАЗЦА В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ТУННЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

П.В. Гуляев, Н.И. Осипов, М.Р. Гафаров, Е.Ю. Шелковников, С.Р. Кизнерцев

В статье рассмотрены особенности автоматизированной системы управления сближением иглы и образца электрохимического туннельного микроскопа. Показано, что для реализации подобной системы кроме средств шагового сближения необходимо иметь аппаратуру управляемого плавного сближения, позволяющую выполнять анализ динамики изменения протекающих через иглу токов. Приведено описание структурной схемы, алгоритма работы и конструкции разработанной системы управления.

Ключевые слова: электрохимический туннельный микроскоп, сближение иглы и образца, автоматизация, туннельный ток, фарадеевский ток

Введение

Сканирующий электрохимический туннельный микроскоп (СЭТМ) является в настоящее время единственным прибором, способным получать данные о химических процессах на поверхностях, находящихся в растворах электролитов с разрешением, близким к атомному в режиме in situ. Однако СЭТМ (в отличие от туннельного микроскопа) регистрирует не только туннельный ток, протекающий между зондирующей иглой и исследуемой поверхностью, но и так называемый фарадеевский ток, обусловленный химической природой эксперимента. При этом система сближения иглы и образца (СИО) для формирования туннельного зазора СЭТМ играет весьма важную роль. Это объясняется тем, что кроме определения момента появления туннельного тока на фоне фарадеевских токов она должна обеспечивать сохранность весьма дорогостоящих игл. В СЭТМ используются сверхострые зондирующие иглы с малой площадью неизолированного кончика конической формы. Фарадеевский ток через такие иглы (в отличие от туннельного) имеет малую чувствительность к изменению расстояния игла – образец [1]. Для разделения токов необходимо кроме контролируемого шагового СИО иметь возможность контролируемого плавного сближения. При этом погрешность шагового СИО должна быть на уровне единиц нм, погрешность плавного сближения – долей ангстрем. Кроме того, для повышения надежности работы микроскопа система СИО должна учитывать особенности используемых приводов и динамику изменения протекающих через иглу токов. Поэтому в условиях значительного усложнения процедуры сближения автоматизация этого процесса становится актуальной задачей.

Описание системы сближения

Наиболее распространенной концепцией построения СЭТМ (позволяющей минимизировать его размерные цепи) является шаговое перемещение образца к игле с помощью специализированных приводов и плавный подвод иглы к образцу посредством пьезоэлектрического сканера. На рисунке 1 представлена конструкция привода СЭТМ, в которой для подвода иглы используется трубчатый пьезоэлектрический сканер [2], а для перемещения электрохимической кюветы с образцом – высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод [3-5] (рисунок 2).

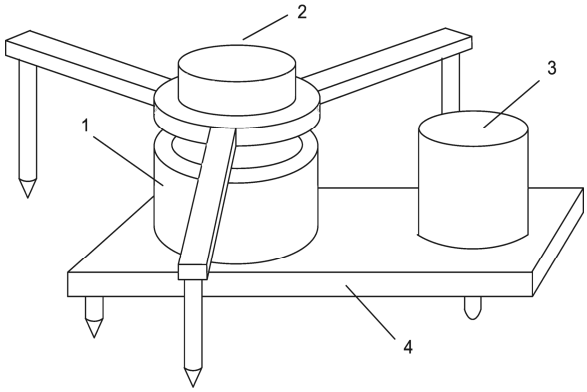

Рисунок 1 - Конструкция привода СЭТМ (1 – кювета, 2 – сканер, 3 - инерционный привод, 4 – платформа)

Сканер микроскопа закреплен с помощью трех опор на основании. Привод с кюветой размещены на платформе, также установленной на основании с помощью трех опор, одна из которых является подвижной и управляется шаговым инерционным приводом.

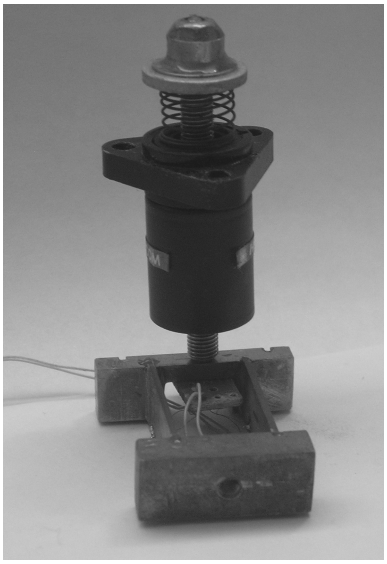

Рисунок 2 - Инерционный привод

При использовании шагового инерционного привода без дополнительного демпфирования график движения кюветы (рисунок 3) может иметь значительные «выбросы» перемещения с достаточно продолжительным временем релаксации. Поэтому для обеспечения сохранности иглы система управления сближением использует возможности контролируемого плавного СИО.

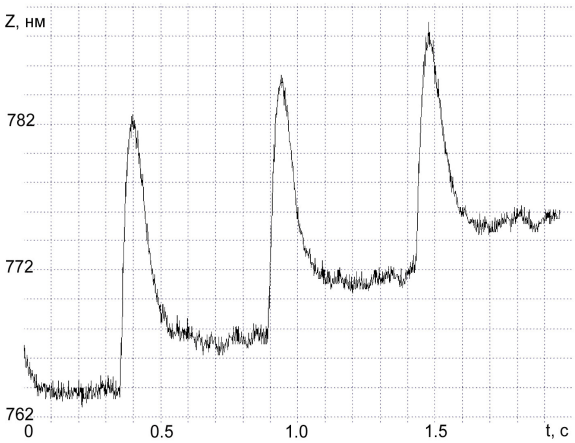

Рисунок 3 - Кривая поступательного перемещения кюветы

Существенное влияние на управление сближением оказывает и динамика изменения токов, протекающих через иглу микроскопа, при этом система СИО должна распознавать следующие случаи:

– скачкообразное изменение тока в момент касания иглой поверхности электролита (возникновение токов утечки);

– экспоненциальный рост тока за счет протекания туннельного тока между иглой и образцом.

Своевременное распознавание этих процессов и соответствующая реакция на них являются важными факторами успешного завершения процесса сближения.

Структурная схема системы управления сближением представлена на рисунке 4, где АЦП, ЦАП – аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи; СВТТ – схема выделения туннельного тока; ПТН - преобразователь ток-напряжение; У – операционный усилитель; СУМ – сумматоры напряжения; ЛУ – логарифмический усилитель; ИНТ - интегратор; ВВУ – высоковольтные усилители; ШППZ, ТППZ – шаговый инерционный и точный пьезоприводы, соответственно; СП - сигнальный процессор.

Система СИО работает следующим образом.

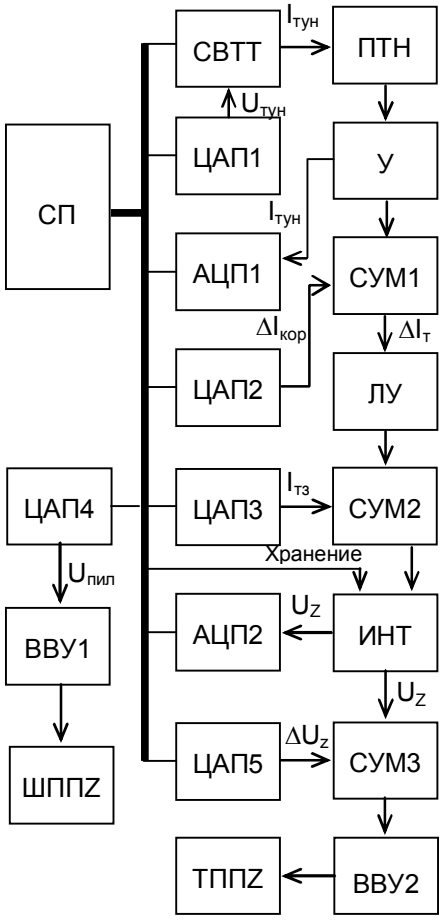

Рисунок 4 - Структурная схема системы управления СИО

Перед запуском системы на сближение иглы с образцом задаются рабочие значения Uтун (с выхода ЦАП1), Iтун (с выхода ЦАП3), нулевые величины корректирующих значений Iкор туннельного тока (с выхода ЦАП2) и напряжения U_Z дополнительного канала управ-

ления положением ТППZ (с выхода ЦАП5). При этом ТППZ под действием заданного туннельного тока и соответствующего напряжения с выхода интегратора устанавливает иглу в крайнее близкое положение к образцу, после чего интегратор переключается в режим хранения.

Управление ШППZ осуществляется по сигналам СП посредством ЦАП4 – управляющее пилообразное напряжение с его выхода усиливается ВВУ1 и подается на ШППZ для подвода кюветы к игле. После включения ШППZ работает в ускоренном режиме до момента первого касания поверхности электролита острием зондирующей иглы и скачкообразного возрастания тока утечки iУ [6] на входе ПТН (рисунок 5).

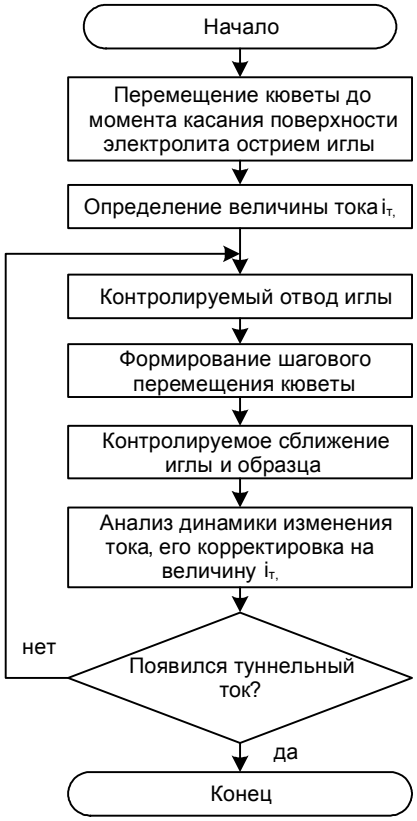

Рисунок 5 - Блок-схема алгоритма захвата туннельного тока

Величина тока iУ измеряется АЦП1 и запоминается в памяти СП. При дальнейшем сближении иглы и образца перед каждым шагом инерционного привода игла с помощью ЦАП5 отводится на максимальное расстояние от образца, а после шагового перемещения (с помощью того же ЦАП5) осуществляется контролируемое сближение с анализом характера изменения тока через иглу. Если это изменение на единицу приращения ЦАП превышает определенный порог, то оно сигнализирует о появлении туннельного тока и завершении процедуры предварительного грубого сближения. После этого с помощью напряжения, задаваемого с ЦАП2, производится коррекция суммарного тока на величину iУ и интегратор переключается в режим интегрирования входного тока (замыкается цепь обратной связи ТППZ).

Последующий этап сближения (рисунок 6) сводится к выведению сканера в середину диапазона посредством перемещений кюветы с минимально допустимым шагом инерционного привода.

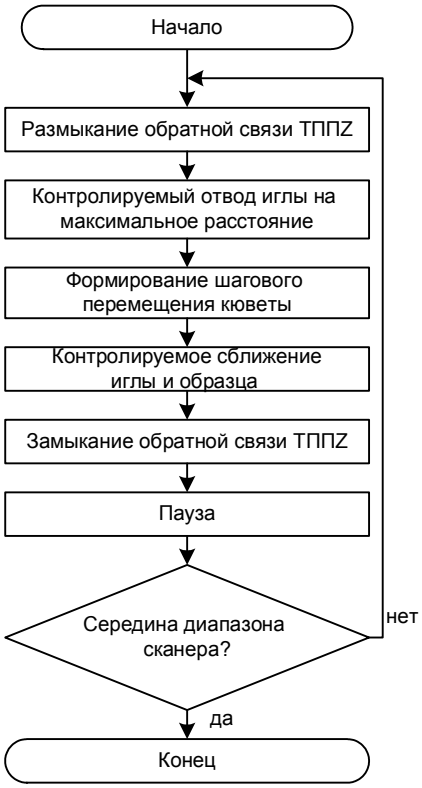

Рисунок 6 - Блок-схема алгоритма вывода сканера в середину диапазона

Перед каждым последующим шагом кюветы для исключения касания иглой поверхности образца необходимо разомкнуть обратную связь и отвести иглу в крайнее удаленное от образца положение (с помощью ЦАП5). После формирования шага привода осуществляется контролируемое плавное сближение иглы с поверхностью образца до появления туннельного тока, затем обратная связь замыкается. После временной задержки для успокоения ТППZ производится определение положения сканера с помощью АЦП2, и если он находится в середине диапазона, то подвод завершается.

Как показал опыт практического применения процедур сближения, они оказываются

успешными, если погрешность шагового перемещения кюветы составляет не более 5-10% от диапазона перемещений сканера, а погрешность плавного сближения – не более 1 ангстрем. При этом признаком протекания туннельного тока является изменение его величины примерно на порядок при изменении расстояния игла-образец на один ангстрем.

Заключение

Таким образом, автоматизация процесса сближения иглы и образца в электрохимическом туннельном микроскопе возможна при условии комплексного решения задач обеспечения высокой точности позиционирования, защиты острия иглы от повреждений, а также разработки методов и средств анализа протекающих через иглу токов. Представленные в данной работе технические решения использовались, в частности, для расширения функциональных возможностей существующего воздушного туннельного микроскопа до уровня гибридного, позволяющего вести исследования как в воздушной, так и в жидких средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bard, A. J. Scanning electrochemical microscopy [Текст] / A.J. Bard, M.V. Mirkin. - Dekker Inc. 2001. – 650 p.
2. Binnig, G. Single tube three dimensional scanner for scanning tunneling microscopy [Текст] // G. Binnig, D.P.E. Smith.- Rev. Sci. Instr. – 1986. – v.57. – № 8. – P. 1688.
3. Патент 2297072 Российская Федерация, МПК H01J37/28, G01B11/08, H01L41/09. Инерционный двигатель [Текст] / В.А. Быков. – № 2005134280/28, заявл. 08.11.05; опубл. 10.04.07. Бюл. № 10.
4. Гуляев, П.В., Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа [Текст] // П.В. Гуляев, Ю.К. Шелковников, А.В. Тюриков. – Электротехника. –2010. – №10. – С. 8-11.
5. Hongzhuang, Z. Impact drive rotary precision actuator with piezoelectric bimorphs [Текст] // Z. Hongzhuang, ZENG Ping, Hua Shunming и др. – Front. Mech. Eng. China. – 2008. – v.3. – № 1. – P 71-75.
6. Lindsey, G., Scanning Electrochemical Microscopy: Approach Curves for Sphere-Cap Scanning Electrochemical Microscopy Tips [Текст] // G. Lindsey Stuart Abercrombie, Guy Denuault, Salvatore Daniele, Eddy De Faveri - Analytical Chemistry. – V.79. – №.7. – 2007.

К.т.н., с.н.с. ***А.Н. Попов****, д.т.н., зав.лаб.* ***В.А. Серяков*** *- (495) 123-45-67, Институт проблем управления РАН; аспирант* ***Д.С. Апарин****, тел. (3852) 36-77-72, aparin@google.com - Алтайский гостехуниверситет. К.т.н., с.н.с.* ***П.В. Гуляев****, к.т.н., с.н.с.* ***Н.И. Осипов****,. м.н.с.* ***М.Р. Гафаров****, д.т.н., зав. лаб.* ***Е.Ю. Шелковников****, к.т.н., с.н.с.* ***С.Р. Кизнерцев*** *– 8(904)31-25-291, Институт прикладной механики УрО РАН, г. Ижевск.*

УДК 621.396.44

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

С.А. Калабанов, А.В. Карпов, Р.С. Кириллов, Р.И. Шагиев

Описывается разработка системы защиты и управления низковольтной сетью 0,4 кВ на базе технологии Smart Grid. Разработан стек протоколов обмена данными. Создан действующий макет системы и проведены натурные испытания.

Ключевые слова: Smart Grid, PLC модем, частотная манипуляция, дифференциальная токовая защита.

Введение

Одним из бурно развивающихся направлений в мировой науке и технике начиная с 2008-2009 годов является технология Smart Grid (умные электросети). Технология Smart Grid призвана превратить обычную домашнюю электросеть 0,4 кВ, имеющую в своей основе односторонний поток электрической энергии от производителя электроэнергии до потребителя, в двухсторонний канал электрической энергии и потока информации. Такие особенности интеллектуальной электросети дадут конечным потребителям возможность широкого выбора действий в плане сохранения и рационального использования электроэнергии.

Для реализации технологии Smart Grid необходимо решить определенный спектр задач. Во-первых, нужно разработать концепцию интеллектуальной электросети, реализуемые ею функции (управление электросетью, защита электросети и т.д.), а также