

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ, ВОДЫ И ХИМИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Б.С. Первухин, В.Б. Юшкова

Статья посвящена модернизации метода измерения удельной электропроводности жидкостей, воды и химических растворов. Модернизация заключается в определении параметров контактного первичного преобразователя. Анализ метода показал наличие систематической погрешности. Для устранения систематической погрешности предложено два способа. Устранение систематической погрешности позволит более качественно осуществлять контроль состава жидкостей, предназначенных для химико-технологических процессов.

Ключевые слова: химико-технологический процесс, кондуктометрия, первичный измерительный преобразователь, импеданс, переходная проводимость, характеристическое уравнение, переходная функция по напряжению, экспериментальная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Вода для химическо-технологических процессов должна быть химически чистой и электронейтральной. Чаще всего для контроля качества воды применяются кондуктометрические методы анализа. Как известно, кондуктометрия – это метод физико-химического анализа электропроводности жидкости, обладающий рядом преимуществ перед химическими методами. Одним из преимуществ кондуктометрического метода является то, что он позволяет определять содержание конкретного вещества в химическом растворе простым измерением электропроводности раствора. Кроме того, кондуктометрия является одним из наиболее точных способов определения растворимости труднорастворимых соединений. А самое главное кондуктометрия используется для определения констант равновесия химических реакций в растворах и констант диссоциации слабых электролитов. Поэтому качество измерения электропроводности воды, жидких сред и химических растворов является очень важной задачей.

Существует множество методов измерения электропроводности жидких сред. Знание процессов, влияющих на результат измерения и оценка их величин, позволяет исключить или учесть их влияние на результат измерения. Анализ частотной зависимости при последовательной или параллельной схемах замещения первичного измерительного преобразователя (ПИП) позволяет понять процессы, влияющие на результат измерения. В [1] производится подробный анализ последовательной схемы замещения ПИП. В данной

работе рассматриваются методы измерения удельной электропроводности (УЭП) жидких сред при параллельной схеме замещения ПИП.

Существует метод определения составляющих импеданса электродов [4]. Метод заключается в измерении сопротивления первичных преобразователей с раствором известной удельной электропроводности для нескольких частот при параллельной и последовательной схемах замещения первичного преобразователя. Далее для определения составляющих импеданса обрабатываются полученные значения. Составляющими импеданса являются: поляризационное сопротивление электродов, активное сопротивление анализируемого раствора и другие.

Данный метод сопровождается наличием большого массива данных и его длительной обработкой, что сильно усложняет процесс измерения, и как следствие – измерительный прибор.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО МЕТОДА

Чтобы упростить процесс получения измерительной информации о контролируемом объекте (контактном ПИП с анализируемым раствором) целесообразно рассмотреть возможность использования параметров переходного процесса.

Чтобы определить параметры контактного первичного преобразователя можно использовать переходную функцию по току (переходную проводимость). Переходная проводимость равна току в цепи при подаче на нее импульсного напряжения в 1 В. Длительность

импульса должна быть такой, чтобы к началу следующего импульса выполнялись нулевые начальные условия.

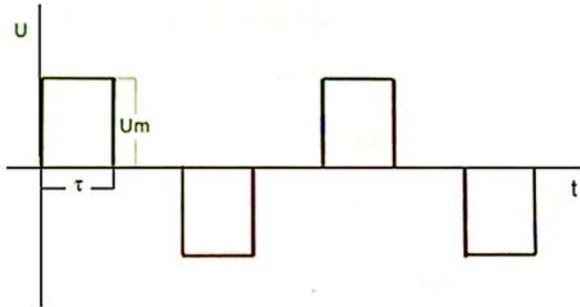


Рисунок 1 – Форма напряжения питания измерительной цепи

Проводимость ПИП на n-ой гармонике Y_n напряжения питания при использовании параллельной эквивалентной схемы замещения (рисунок 2) равна:

$$Y_n = \frac{(R + R_n) + (2n - 1)^2 \omega^2 C^2 R_n^2 R}{(R + R_n)^2 + (2n - 1)^2 \omega^2 C^2 R_n^2 R^2} + j \frac{(2n - 1) \omega C R_n}{(R + R_n)^2 + (2n - 1)^2 \omega^2 C^2 R_n^2 R^2} \quad (1)$$

Переходная функция по току (переходная проводимость) $g(t)$ схемы замещения (рисунок 1) равна:

$$g(t) = \frac{1}{R + R_n} + \frac{R_n}{R(R + R_n)} \exp\left(-\frac{R + R_n}{RR_n C} t\right). \quad (2)$$

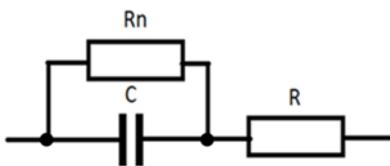


Рисунок 2 – Электрическая схема замещения ПИП

R_n – поляризационное сопротивление; R – активное сопротивление анализируемого раствора; C – суммарная емкость двойного электрического слоя

Параметры ПИП можно определять, используя средние значения переходной проводимости в нескольких временных интервалах во время действия импульса напряжения питания.

Средние значения переходной проводимости аппроксимируются зависимостью:

$$g_{cpi}(t_{cpi}) = a + b \exp(-ct_{cpi}) \quad (3)$$

где: g_{cpi} – среднее значение проводимости в i -тый интервал времени; t_{cpi} – мгновенное значение времени в i -том интервале; a , b , и c – постоянные коэффициенты.

Коэффициенты аппроксимирующей функции (3) связаны с параметрами электрической эквивалентной схемы замещения, приведенной на рисунке 2 следующим образом:

$$a = \frac{1}{R + R_n}, \quad b = \frac{R_n}{R(R + R_n)}, \quad c = \frac{R + R_n}{RR_n C}. \quad (4)$$

У данного метода есть существенный недостаток – систематическая погрешность. Источником систематической погрешности является несовпадение мгновенного значения переходной проводимости в момент времени t_{cpi} средним значением переходной проводимости g_{cpi} в этот интервал времени.

Эта разница Δg в i -том интервале времени равна:

$$\Delta g_i = \frac{1}{t_{j+1} - t_j} \int_{t_j}^{t_{j+1}} \left[\frac{1}{R + R_n} + \frac{R_n}{R(R + R_n)} \exp\left(-\frac{R + R_n}{RR_n C} t\right) \right] dt - \frac{1}{R + R_n} + \frac{R_n}{R(R + R_n)} \exp\left(-\frac{R + R_n}{RR_n C} t_{cpi}\right). \quad (5)$$

где: t_j – начало i -того интервала времени; t_{j+1} – конец i -того интервала времени.

Из предыдущей формулы Δg_i равна:

$$\Delta g_i = \frac{R_n^2 C}{(R + R_n)^2 (t_{j+1} - t_j)} \left[\exp\left(\frac{R + R_n}{RR_n C} t_j\right) - \exp\left(\frac{R + R_n}{RR_n C} t_{j+1}\right) \right] - \frac{R_n}{R(R + R_n)} \exp\left(-\frac{R + R_n}{RR_n C} t_{cpi}\right). \quad (6)$$

АНАЛИЗ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ

Моделирование систематической погрешности Δg_i в программе MathCad позволяет визуально оценить зависимость систематической погрешности от номинального значения поляризационной емкости при изменении емкости от 1 до 10 мкФ, а также зависимость систематической погрешности от числа разбиений.

Из графиков (рисунок 3, 4) видно, что с увеличением номинального значения емкости до 5 мкФ, систематическая погрешность увеличивается. Однако с увеличением емкости свыше 5 мкФ – систематическая погрешность уменьшается.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ, ВОДЫ И ХИМИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

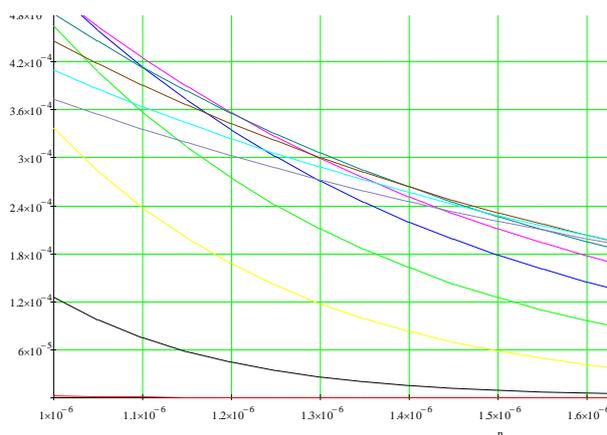


Рисунок 3 – Зависимость Δg_i от поляризационной емкости

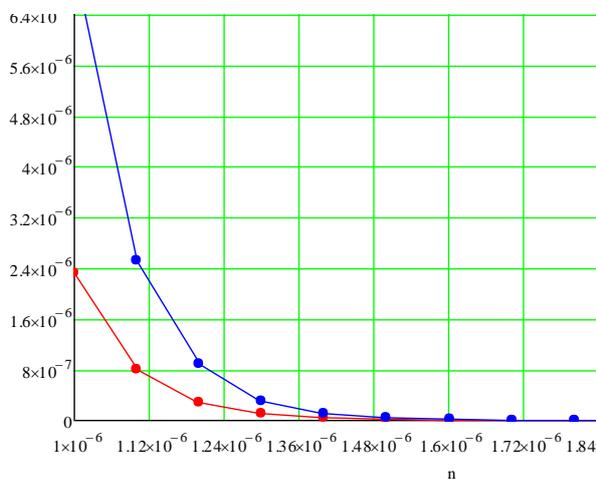


Рисунок 4 – Зависимость Δg_i от числа разбиений

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данного исследования является модернизация метода измерения электропроводности жидких сред, предназначенных для химико-технологических процессов. Модернизация метода заключается в исследовании параметров контактного первичного преобразователя. Исключение систематической погрешности из результата измерения является нашей основной задачей.

ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

Предлагается два способа устранения систематической погрешности:

Первый способ устранения погрешности заключается в том, что за выходной сигнал измерительной цепи принимается время, необходимое для достижения заданного каналом сравнения значения тока через ПИП с анализируемой жидкостью.

Второй способ заключается в исследо-

вании переходной функции по напряжению. Для этого необходимо проанализировать схему замещения, а именно: составить характеристическое уравнение и найти переходную функцию по напряжению.

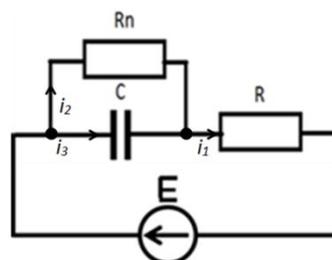


Рисунок 5 – Схема замещения

Для реализации второго метода необходимо проанализировать схему замещения первичного преобразователя с анализируемым раствором.

По схеме замещения (рисунок 5) составим систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1(Rn + R) - I_2Rn = \frac{U}{p} \\ I_2 + I_2 \frac{1}{pc} - I_1Rn = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Комплексное сопротивление равно:

$$Z = R + \frac{Rn \cdot \frac{1}{cp}}{Rn + \frac{1}{cp}} \quad (8)$$

Характеристическое уравнение для послекоммутационной схемы:

$$pRRnC + R + Rn = 0 \quad (9)$$

Данное уравнение имеет один корень:

$$p = -\frac{R+Rn}{RRnC} \quad (10)$$

Постоянная времени равна:

$$\tau = \frac{1}{p} \quad (11)$$

Необходимо найти переходную функцию по напряжению.

Найдем проводимость.

С помощью классического метода определим:

$$i_1 = \frac{E}{R+Rn} + E \frac{Rn}{R(R+Rn)} e^{pt}; \quad (12)$$

$$i_3 = \frac{E}{R} e^{pt}; \quad (13)$$

$$u_c = E \frac{Rn}{R+Rn} (1 - e^{pt}). \quad (14)$$

Корень уравнения возьмем из формулы (10).

Если принять $E = 1$ В, то переходная функция по напряжению:

$$h_{uc}(t) = \frac{Rn}{R+Rn} \left(1 - e^{-\frac{R+Rn}{RRnC}t} \right). \quad (15)$$

Промоделируем работу схемы в программе Multisim (рисунок 6).

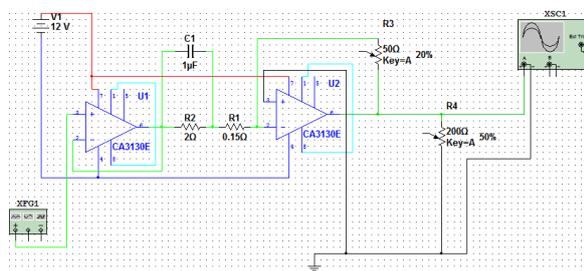


Рисунок 6 – Принципиальная схема для тестирования кондуктометрической ячейки

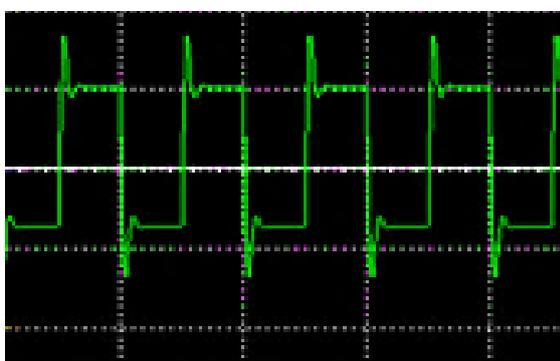


Рисунок 7 – осциллограмма выходного сигнала

На осциллограмме выходного сигнала наблюдаются переходные процессы. Для получения измерительной информации необходима практическая реализация данной схемы, а также обработка полученного сигнала в программе MathCAD.

Практическая реализация такой схемы возможна с использованием устройства ADC-DAC-125_14, а теоретический анализ переходной функции по напряжению поможет лучше понять природу переходных процессов, и уменьшить или исключить систематическую погрешность из результата измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизация метода измерения удельной электропроводности жидкостей, воды и химических растворов позволит упростить процесс получения измерительной информации, а устранение систематической погрешности из результата измерения позволит более точно измерять удельную электропроводность жидких сред.

Как было сказано выше, систематическая погрешность вызвана несовпадением мгновенного значения переходной проводимости в

момент времени со средним значением переходной проводимости в этот интервал времени. Для решения поставленной задачи предложено два способа. В рамках данного исследования было уделено внимание второму способу. Для ее решения была найдена переходная функция по напряжению. Моделирование кондуктометрической ячейки в программе Multisim позволило увидеть выходной сигнал.

Практическая реализация кондуктометрической ячейки с использованием устройства ADC-DAC-125_14, а теоретический анализ переходной функции по напряжению поможет лучше понять природу переходных процессов, и как следствие устранить систематическую погрешность из результата измерения.

Более точное измерение удельной электропроводности жидких сред, воды и химических растворов позволит более качественно осуществлять контроль качества и состава жидкостей, предназначенных для химико-технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кагиров, А. Г. Измерение активной составляющей электрохимического импеданса растворов с использованием миниатюрной двухэлектродной кондуктометрической ячейки / А. Г. Кагиров, С. В. Романенко // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3(4) – С. 68–73.
2. Первухин, Б. С. Методическая погрешность контактных кондуктометров / Б. С. Первухин // Естественные и технические науки. – 2011 – № 1. – С. 176–182.
3. Первухин, Б. С. Использование переходных процессов для определения контактных первичных преобразователей / Б. С. Первухин, В. Б. Юшкова // Ползуновский альманах. – 2014. – № 1. – С. 48–50.
4. Первухин, Б. С. Определение параметров первичных преобразователей контактных кондуктометров на переменном напряжении прямоугольной формы / Б. С. Первухин, Н. В. Суворова, В. Б. Юшкова // Ползуновский альманах. – 2013. – № 1. – С. 65–66.
5. Первухин, Б. С. Определение параметров и контактных первичных преобразователей кондуктометров / Б. С. Первухин // Измерительная техника. – 2008. – № 3. – С. 61–63.
6. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.

Первухин Б.С., д.т.н, профессор кафедры информационных технологий Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, bspervuhin@mail.ru.

Юшкова В.Б., магистрант, старший преподаватель кафедры информационных технологий Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. 8-923-792-1248, zeff007@mail.ru.