

УДК 389.001

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ РАЗМЕРА ЕДИНИЦЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ЭКВИВАЛЕНТАМИ РАБОЧИХ ЭТАЛОНОВ

**Воробей Р.И., Гусев О.К., Киреенко В.П., Тявловский А.К.,
Тявловский К.Л., Яржембицкий В.Б.**
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для поверки и калибровки средств измерений концентрации растворов электролитов используются рабочие эталоны концентрации — поверочные растворы, т. е. смеси веществ с известными (установленными или приписанными) значениями содержания компонентов смеси и характеристиками их погрешности. Большой интерес представляет анализ возможности замены поверочных растворов их электронными моделями (эквивалентами), поскольку такая замена открывает широкие возможности для автоматизации метрологических работ и снижения их себестоимости.

Как следует из литературных данных [1], зависимость удельной электрической проводимости (χ) раствора s от его концентрации при неизменных внешних условиях имеет нелинейный характер и может быть описана некоторой однозначной функцией сохраняющей монотонность в пределах диапазона измерений.

$$\chi = f(c) \Big|_{x_1, x_2, \dots, x_n = \text{const}}, \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n — параметры внешних условий

Поскольку концентрация s поверочного раствора, в соответствии с требованиями методики поверки, может принимать только ограниченное число дискретных значений, то функция $f(c)$ легко может быть протабулирована. Представление функции преобразования $f(c)$ в виде дискретной последовательности позволяет реализовать ее в виде компьютерной модели [2]; таким образом, эквивалент поверочного раствора может быть выполнен в виде цифровой электронной схемы. Определим электрические параметры этой схемы.

Модуль импеданса поверочного раствора между электродами кондуктометрической ячейки $\left| \dot{Z} \right|$ определяется УЭП раствора χ и постоянной ячейки k :

$$\left| \dot{Z} \right| = \frac{k}{\chi}, \quad (2)$$

Функция преобразования системы «поверочный раствор — датчик концентрации» с учетом (1) и (2) может быть записана следующим образом:

$$i = \frac{u}{|Z|} = \frac{1}{k} \cdot f(c) \cdot u, \quad (3)$$

где u — выходное напряжение измерительного генератора; i — ток кондуктометрической ячейки.

Поскольку преобразователи кондуктометрических концентратометров нечувствительны к сдвигу фазы сигнала на выходе кондуктометрической ячейки относительно фазы сигнала измерительного генератора (сдвиг фазы не является информационным параметром), то модуль импеданса может быть представлен эквивалентным активным сопротивлением R :

$$R = |Z|, \quad (4)$$

Диапазон УЭП используемых поверочных растворов для диапазона изменения концентрации от 0 до 3,0 %, составляет порядка $10^{-6} \dots 10^{-1}$ См/см. Постоянная ячейки в этом случае, как правило, принимается равной $k = 0,2$ см⁻¹. Следовательно, минимальное значение эквивалентного активного сопротивления раствора составляет порядка (3, 4)

$$R_{\min} = \frac{0,2 \text{ см}^{-1}}{0,1 \text{ См/см}} = 2 \text{ Ом}, \quad (5)$$

Переходное сопротивление $R_{\text{неп}}$ сухих контактов при подключении к электродам датчика электронного устройства — эквивалента поверочного раствора по порядку величины соответствует R_{\min} и включается последовательно с ним. Следовательно, таким устройством не может быть прецизионный резистор, поскольку в этом случае функция преобразования датчика концентрации примет вид

$$i = \frac{u}{R + R_{\text{неп}}} = \frac{1}{k + R_{\text{неп}} \cdot f(c)} \cdot f(c) \cdot u, \quad (6)$$

что не соответствует требуемой зависимости (3). Случайный характер распределения величины $R_{\text{неп}}$ исключает возможность внесения в результат поправки на величину $R_{\text{неп}} \cdot f(c)$.

Эквивалентом поверочного раствора может служить преобразователь напряжение-ток, коэффициент преобразования S которого, в соответствии с (3), равен

$$S = \frac{1}{k} \cdot f(c) \neq f(R_{\text{неп}}), \quad (7)$$

Условие (7) может быть выполнено, если входное сопротивление электронного эквивалента $R_{\text{вх}}^2$ удовлетворяет условию

$$R_{\text{ex}}^2 \gg R_{\text{вых}}^{CI} + R_{\text{пер}}, \quad (8)$$

где $R_{\text{вых}}^{CI}$ — выходное сопротивление генератора измерительного напряжения концентромера;

$$R_{\text{вых}}^2 \gg R_{\text{ex}}^{CI} + R_{\text{пер}}, \quad (9)$$

где $R_{\text{вых}}^2$ — внутреннее сопротивление источника тока на выходе электронного эквивалента; R_{ex}^{CI} — входное сопротивление измерительной цепи преобразователя концентромера.

Функция преобразования $u \rightarrow i$ эквивалента должна быть линейной, причем коэффициент преобразования $f(c)$ в формуле (3) должен задаваться табличным способом. Таблица значений $f(c)$ должна выбираться в зависимости от температуры измеряемого раствора. Полное математическое описание поверочного раствора, таким образом, имеет вид

$$i = \frac{1}{k} \cdot f(c, T) \cdot u, \quad (10)$$

где $f(c, T)$ — табличная функция.

С учетом изложенных соображений, модель эквивалента поверочного раствора может быть реализована в виде структурной схемы, которая включает 3 основных узла (рис. 1):

- 1 — буферный усилитель;
- 2 — программируемый преобразователь напряжения, коэффициент преобразования которого задается в табличном цифровом виде;
- 3 — преобразователь напряжение — ток.

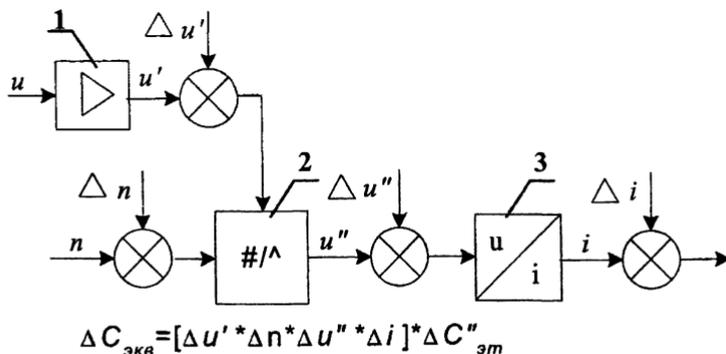


Рис. 1. Модель электронного эквивалента рабочего эталона концентрации

Буферный усилитель 1, обладающий высоким входным сопротивлением (порядка 100 МОм), служит для согласования уровня выходного напряжения генератора концентратомера и диапазона входных напряжений преобразователя 2, и для сведения к пренебрежимо малой величине методической погрешности, связанной с ненулевыми значениями внутреннего сопротивления генератора концентратомера и переходного сопротивления электрод — контакт эквивалента. Преобразователь 2 непосредственно выполняет функцию преобразования мгновенных значений напряжения генератора в значения выходного сигнала в соответствии с уравнением (10). Преобразователь 3 напряжение-ток служит для преобразования выходного сигнала блока 2 в требуемую физическую величину — силу тока и согласования выходного сопротивления эквивалента с ненулевым входным сопротивлением концентратомера.

Выводы

Математическая модель поверочного раствора и его электронного эквивалента включает в себя преобразование измерительного напряжения в ток кондуктометрической ячейки при бесконечном входном электрическом сопротивлении преобразователя и идеальном источнике тока на его выходе. Коэффициент преобразования задается табличной функцией, в качестве входных параметров которой выступают концентрация поверочного раствора и его температура. Данная модель может быть реализована в виде структурной электрической схемы, основными узлами которой являются буферный усилитель, программируемый преобразователь напряжения и преобразователь напряжение-ток.

Литература

1. Алексеев В. И. Количественный анализ. Под ред. д-ра хим. наук П. К. Агасяна. Издание 4-е, перераб. М.: Химия, 1972. — 504 с., ил.
2. Джиладдари И.З., Сидорик В.В. Физика в компьютерных моделях. Минск, Пион, 1998, 248 с.