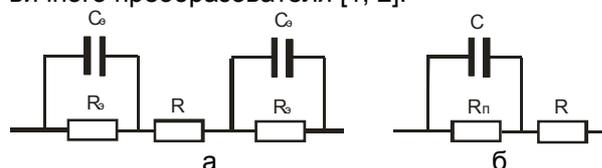


# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЖИДКОСТИ

Б.С. Первухин, И.А. Щастливец

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

При проверке эксплуатируемых кондуктометров и кондуктометрических анализаторов, использующих контактные первичные преобразователи, одной из операций является проверка постоянной первичного преобразователя. При проектировании кондуктометров также необходимо знать оценку величины неинформативных параметров, влияющих на результат измерения удельной электрической проводимости. Такими параметрами для контактных первичных преобразователей в области измерения больших проводимостей являются поляризационное сопротивление электродов и емкость двойного электрического слоя на границе раздела сред. Известна эквивалентная схема замещения контактного двухэлектродного первичного преобразователя с равными площадями электродов (рис 1а), учитывающая электрохимические процессы, происходящие на электродах первичного преобразователя [1, 2].



$C_0$  – электрическая емкость двойного электрического слоя электрода;  $R_0$  – поляризационное сопротивление электрода;  $R$  – сопротивление анализируемого раствора.

Рисунок 1

Для цели определения постоянной первичного преобразователя и оценки величины, влияющих на результат измерения удельной электрической проводимости анализируемого раствора неинформативных параметров, используем суммарную емкость электродов первичного преобразователя  $C$  и их суммарное поляризационное сопротивление  $R_n$  (рис. 1б).

При измерении сопротивления первичного с использованием компенсационного метода и компенсации по разным схемам замещения получатся разные результаты измерения. Их можно использовать для опре-

деления составляющих суммарного импеданса электродов первичного преобразователя, а величину разницы этих результатов – в качестве критерия окончания процесса измерения сопротивления анализируемого раствора.

При последовательной схеме компенсирующего элемента и питания измерительной цепи переменным напряжением синусоидальной формы результат измерения активной составляющей первичного преобразователя равен

$$R_1 = R + \frac{R_n}{1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2} \quad (1)$$

При параллельной схеме компенсирующего элемента получим следующий результат измерения:

$$R_2 = R + \frac{R_n}{1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2} + \frac{\omega^2 \times C^2 \times R_n^4}{[R_n + R \times (1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2)] \times (1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2)} \quad (2)$$

Различие результатов измерения при использовании параллельной и последовательной схемах компенсирующего элемента отличаются на величину  $\Delta R$ .

$$\Delta R = \frac{\omega^2 \times C^2 \times R_n^4}{R_n \times (1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2) + R \times (1 + \omega^2 \times C^2 \times R_n^2)^2} \quad (3)$$

Приближенное равенство  $\Delta R$  нулю возможно при выполнении следующего условия  $\omega^2 \cdot C^2 \cdot R_n^2$  много больше 1. Выполнение этого условия приводит к тому, что  $R_1 = R_2 = R$ .

Таким образом, критерием отсутствия влияния на результат измерения сопротивления анализируемой жидкости поляризационного импеданса является равенство результатов измерения сопротивления первичного преобразователя при использовании последовательной и параллельной схем соединения компенсирующего элемента.

Для оценки величины суммарной емкости, составляющей можно использовать соотношение для  $\Delta R$  если учесть что с ростом частоты наибольший вклад вносит член  $\omega^4 \cdot C^4 \cdot R_n^4 \cdot R$ . При этом условии получим

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЖИДКОСТИ

$$C \approx \frac{1}{\omega} \times \sqrt{\frac{1}{R \times \Delta R}}. \quad (4)$$

Оценку величины поляризационного сопротивления можно получить из результатов измерения сопротивления первичного преобразователя с анализируемым раствором при последовательной схеме компенсирующего элемента и при условии, что  $R_1 \neq R$ . Все рассмотренные параметры связаны следующим соотношением:

$$\omega^2 \times C^2 \times (R_1 - R) \times R_n^2 - R_g + (R_1 - R) = 0. \quad (5)$$

Используя соотношение (5), можно получить оценку поляризационного сопротивления

$$R_n \approx \frac{1 + \sqrt{1 - 4 \times \omega^2 \times C^2 \times (R_1 - R)^2}}{2 \times \omega^2 \times C^2 \times (R_1 - R)}. \quad (6)$$

Аналогичные результаты измерения активной составляющей сопротивления первичного преобразователя с анализируемым раствором можно получить, если использовать в канале сравнения чисто активную меру. В качестве критерия равенства активной составляющей сопротивления измеряемого объекта активной составляющей в канале сравнения используется критерий равенства нулю среднего значения разнице токов через первичный преобразователь и канал сравнения за пол периода их напряжения питания. При этом результат измерения, отсчитываемый по каналу сравнения, будет связан с параметрами первичного преобразователя соотношением (1). Во втором случае за критерий окончания процесса измерения принимается равенство нулю разнице падений напряжения на первичном преобразователе и канале сравнения за пол периода тока через них. Результат измерения активной составляющей первичного преобразователя связан в этом случае с параметрами первичного преобразователя соотношением (2).

Экспериментально постоянная первичного преобразователя  $A$  определяется произведение измеренного активного сопротивления первичного преобразователя с эталонным раствором на его удельную электрическую проводимость. При этом способе определения постоянной не учитываются влияние импеданса электродов первичного преобразователя и активного сопротивления соединительных проводов на результат ее определения.

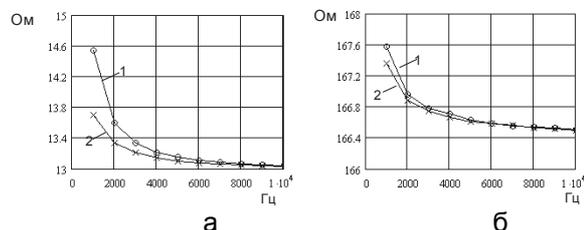
Можно предложить следующую последовательность операций определения посто-

янной первичного преобразователя с гладкими платиновыми электродами:

- приготовить несколько растворов с известной удельной электрической проводимостью  $\chi$ ;
- измерить сопротивление первичного преобразователя с каждым раствором по последовательной и параллельной схемам соединения компенсирующего элемента;
- определить активное сопротивление раствора в первичном преобразователе из линейной зависимости  $R=f(\omega^2)$  при частоте  $\omega=\infty$ ;
- определение постоянной первичного преобразователя  $A$  и суммарного активного сопротивления контактов и подводящих проводов  $r$  из линейной зависимости  $R=r+A \cdot \chi^{-1}$ .

Для прецизионных измерений в распространенных лабораторных кондуктометрах КЛ-3, КЛ-4, КЛ-С и поверочных установках КПУ-1 для измерения удельной электрической проводимости менее 0,1 см/м используются проточно-погружные и наливные первичные преобразователи с гладкими платиновыми электродами.

Целесообразно проиллюстрировать предложенную методику на примере этих первичных преобразователей. В таблице 1 приведены экспериментальные данные по измерению активного сопротивления первичного преобразователя с растворами различной удельной электрической проводимости при параллельной и последовательной схемах соединения компенсирующего элемента. Растворы приготовлены по методике, изложенной в [3]. На рисунках 2 а и 2 б приведены эти зависимости для первичного преобразователя типа «В» при двух значениях удельной электрической проводимости жидкости в первичном преобразователе.



- 1 – активное сопротивление первичного преобразователя при параллельной схеме соединения компенсирующего элемента;  
2 – активное сопротивление первичного преобразователя при последовательной схеме соединения компенсирующего элемента

Рисунок 2

Таблица 1

Частота Гц	Сопротивление П.П при УЭП контрольного раствора, Ом					
	0.628206 См/м		0.50946 См/м		0.24265 См/м	
	Посл.	Парал.	Посл.	Парал.	Посл.	Парал.
1000	13.695	14.541	16.799	18.188	33.99	34.822
2000	13.335	13.599	16.347	16.774	33.506	33.752
3000	13.205	13.336	16.181	16.393	33.344	33.462
4000	13.141	13.212	16.099	16.224	33.264	33.334
5000	13.101	13.149	16.05	16.131	33.218	33.262
6000	13.076	13.109	16.016	16.075	33.19	33.221
7000	13.059	13.084	15.994	16.037	33.168	33.19
8000	13.046	13.061	15.979	16.012	33.154	33.171
9000	13.036	13.049	15.967	15.991	33.141	33.153
10000	13.03	13.039	15.949	15.969	33.134	33.144

Частота Гц	Сопротивление П.П при УЭП контрольного раствора, Ом					
	0.12600 См/м		0.07772 См/м		0.047968 См/м	
	Посл.	Парал.	Посл.	Парал.	Посл.	Парал.
1000	64.421	64.93	103.739	104.078	167.358	167.579
2000	63.931	64.077	103.245	103.345	166.878	166.96
3000	63.775	63.844	103.07	103.116	166.743	166.78
4000	63.688	63.73	102.981	103.01	166.67	166.71
5000	63.641	63.667	102.926	102.946	166.608	166.628
6000	63.602	63.621	102.885	102.895	166.585	166.59
7000	63.579	63.578	102.858	102.863	166.558	166.548
8000	63.557	63.557	102.835	102.841	166.53	166.535
9000	63.542	63.55	102.814	102.823	166.52	166.525
10000	63.53	63.541	102.793	102.795	166.498	166.508

Использовать линейную функцию для экстраполяции зависимости  $R=f(\omega^{-2})$  на частоте  $\omega \rightarrow \infty$  целесообразно в диапазоне частот, где она отражается этой функцией наилучшим образом. Для определения этого диапазона можно использовать критерий постоянства результатов экстраполяции сопротивления на  $\omega \rightarrow \infty$ . На рисунке 3а приведены результаты экстраполяции в зависимости от диапазона частот, который определялся как разница между неизменной максимальной частотой и изменяемой минимальной частотой.

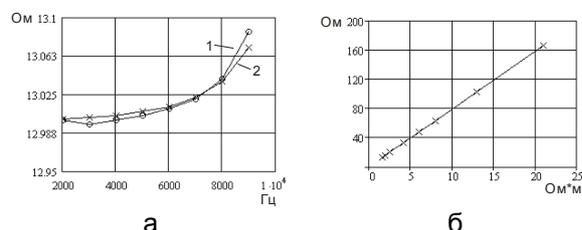


Рисунок 3

Из рисунка 3а видно, что данному критерию удовлетворяет диапазон частот от 5000 до 10000 Гц. Зависимость определенного активного сопротивления первичного преобразователя от удельного сопротивления эта-

лонных растворов приведена на рис. 3б и хорошо аппроксимируется функцией,  $R = 0,26 + +7,9695 \cdot p$ , т. е. постоянная первичного преобразователя  $A=7,9695$  м-1, а сопротивление соединительных проводов  $r=0,268$  Ом.

Предложенная методика определения постоянной контактного двухэлектродного первичного преобразователя кондуктометров позволяет исключить влияние на результат ее определения факторов, связанных с электрохимическими процессами, происходящими на электродах первичного преобразователя и активным сопротивлением подводящих проводов. Оценка величины влияющих факторов и активного сопротивления проводов позволяют их учесть при проектировании измерительного преобразователя.

### Список литературы

1. Лопатин Б.А. Кондуктометрия / Б.А. Лопатин. – Новосибирск, 1964. – 280 с.
2. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа / Б.А. Лопатин. – М.: Высшая школа, 1975. – 296 с.
3. Р 50.2.021-2002 Эталонные растворы удельной электрической проводимости. Методика приготовления и первичной поверки, 2002.