

ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ВОДИ ІМПЕДАНСНИМ МЕТОДОМ ЗА ЧАСТОТОЮ ТЕСТОВОГО СИГНАЛУ

© Походило Є.В., Мартинович Н.В., 2011

Запропоновано спосіб вимірювання твердості води за зміною частоти тестового сигналу, як інформативного параметра. Зміна реактивної складової адмітансу об'єкта контролю при цьому використовується як індикатор. Наведено схему реалізації запропонованого способу.

Предложен способ измерения жесткости воды за изменением частоты тестового сигнала, как информативного параметра. Изменение реактивной составляющей адмитансу объекта контроля при этом используется в качестве индикатора. Приведена схема реализации предложенного способа.

The method of measuring of hardness of water is offered after the change of frequency of test signal, as an informing parameter. The change of reactive constituent of admittance object of control is here utilized as an indicator. The chart of realization of the offered method is resulted.

Вступ. Вимірювання твердості води сьогодні здійснюється як хімічними методами [1], так і з допомогою технічних засобів [2, 3]. Для інструментального вимірювання загальної твердості в основному використовують кондуктометри різного конструктивного виконання [4]. Основним інформативним параметром таких вимірювальних засобів є електрична провідність контрольованої води (повна або її активна складова). Оскільки провідність суттєво залежить від температури води [5], то кондуктометри окрім вимірювання провідності додатково вимірюють температуру. У такому разі є можливість скоригувати температурну похибку. Останні дослідження показників якості води здійснюються з використанням імітансного методу [6], який передбачає на відміну від кондуктометричних вимірювань одночасне вимірювання двох параметрів: активної та реактивної складової імітансу як на одній частоті, так і в широкому діапазоні частот. Це дозволяє отримати більше інформації про вимірювальний об'єкт і тим самим краще ідентифікувати об'єкт дослідження. Однак, незважаючи на додаткові переваги такого методу контролю, інформативним параметром все-таки залишається провідність. Вона суттєво залежить від температури, природи електроліту та багатьох інших факторів, які на твердість не впливають.

Мета роботи полягає у розвитку імітансного методу вимірювання твердості води, забезпечивши при цьому інваріантність результату до впливних факторів, які не впливають на твердість, однак впливають на електропровідність.

Спосіб вимірювання твердості води. Аналіз результатів дослідження твердості води за параметрами адмітансу, а саме дослідження як зразків води з різною концентрацією кальцію та магнію [7], так і води з різних джерел постачання з різним рівнем твердості в частотному діапазоні 50Гц-100кГц (рис.1) показують, що реактивна складова із зростанням

частоти спочатку зростає, досягає максимального значення (екстремуму), а потім спадає. Твердість досліджуваної води з різних джерел визначалася хімічним методом.

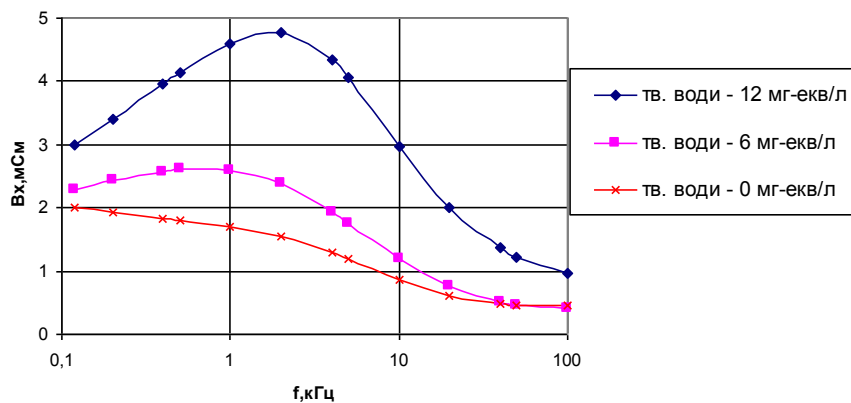


Рис.1.Залежності реактивної складової адмітансу комірки з водою різної твердості від частоти тестового сигналу 0,12-100 кГц

Інформативним параметром такого дослідження є реактивна складова, яка змінюється від твердості та частоти. При цьому аналіз отриманих залежностей показує, що є певна закономірність зміни цієї складової як від частоти, так і від твердості. Вона полягає в тому, що залежності в частотному діапазоні характеризуються максимальними (екстремальними) значеннями на окремих частотах, причому значення кожної частоти залежить від рівня твердості води. Тобто певний рівень твердості призводить до максимального значення реактивної складової на певній (своїй) частоті тестового сигналу. При цьому більшій твердості відповідає вища частота. На основі зазначеного можна сформулювати спосіб вимірювання твердості води, який полягає у вирішенні зворотної задачі, а саме: за частотою тестового сигналу (вже як інформативного параметру) можна контролювати твердість. Для цього змінюючи частоту тестового сигналу вимірювача імітансу в заданому діапазоні, контролюють значення реактивної складової. Частоту необхідно змінювати до тих пір, доки значення реактивної складової не виявиться максимальним. Особливістю такого способу є фіксація точки зміни градієнта реактивної провідності. Зафіксувавши таку точку, необхідно зробити відлік частоти. Таким чином, частота тестового сигналу у даному разі є інформативним параметром, а реактивна складова використовується при цьому як індикатор вимірювання частоти.

З отриманих залежностей (рис.1) видно, що для виявлення екстремальних значень реактивної складової в заданих межах рівня твердості води, можна обмежити частотний діапазон тестового сигналу, що показано на рис.2.

Як видно з рис.2, для нульової твердості контрольованої води, реактивна складова адмітансу немає екстремального значення. Вона плавно спадає від максимального значення на початку частотного діапазону. Однак для води з твердістю 6мг-екв/л для вибраної дискретності частоти реактивна складова досягає екстремального значення на частоті 0,5кГц (рис.2), а для води з твердістю 12мг-екв/л частота досягнення екстремального значення вже 2кГц.

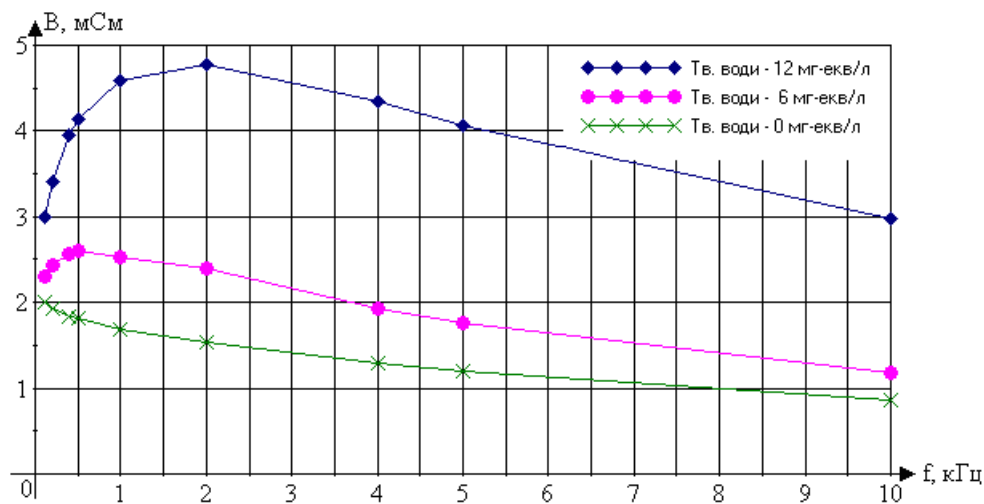


Рис.2.Залежності реактивної складової адмітансу комірки з водою різної твердості від частоти тестового сигналу 0,12-10 кГц

З метою виявлення впливу температури води на зміну реактивної складової провідності досліджено також об'єкт контролю при різних значеннях температури (рис.3).

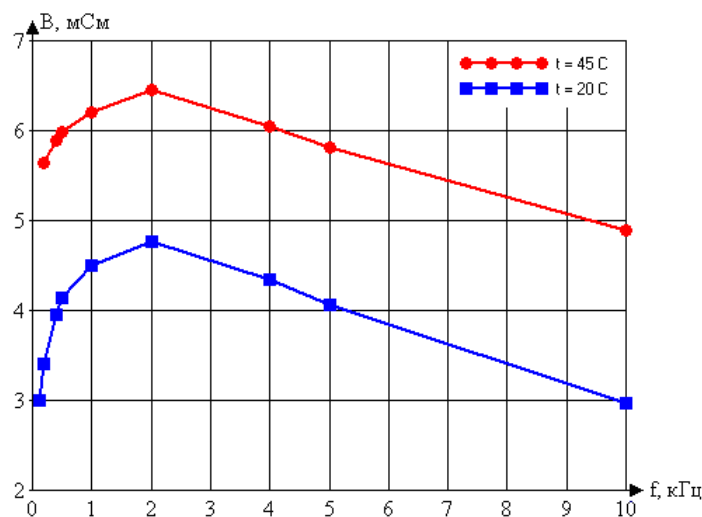


Рис.3. Залежності реактивної складової адмітансу комірки з водою фіксованого рівня твердості від частоти при різних значеннях температури

За отриманими залежностями (рис.3) видно, що зміна температури суттєво вплинула на абсолютне значення складової, однак при цьому частота, на якій виявлено максимальне значення під впливом температури не змінилася. Тобто, таким чином можна стверджувати, що інформативний параметр у данному разі не залежить від температури.

Реалізація способу вимірювання. На основі зазначеного методу для контролю твердості води можна здійснювати, використовуючи традиційні вимірювачі імітансу, зокрема вимірювач реактивної складової адмітансу, наприклад. Як показують дослідження частотний діапазон такого вимірювача для дослідження твердості води в зазначених межах (0-12 мг-екв/л) може бути в діапазоні (0,3-3) кГц. Дискретність зміни частоти при цьому буде визначати точність вимірювання. За частотою, при якій досягається максимальне (екстремальне) значення реактивної складової можна визначити твердість води. Для цього

необхідно отримати градувальну залежність частоти від твердості. Отримати її можна шляхом вимірювання реактивної складової стандартних зразків різної твердості в межах градації води (від дуже м'якої до дуже твердої).

Структура засобу, який може реалізувати запропонований спосіб вимірювання в автоматичному режимі, зображена на рис.4.

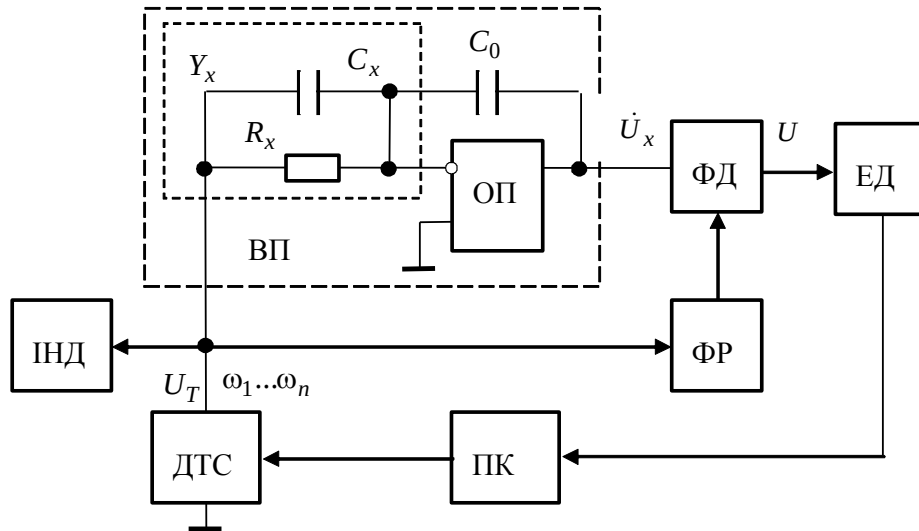


Рис. 4. Структурна схема засобу реалізації способу вимірювання твердості води за частотою тестового сигналу

Вимірювач містить джерело тестового сигналу ДТС фіксованого рівня U_T та частотою з діапазоном $\omega_1 \dots \omega_n$, векторний перетворювач ВП на операційному підсилювачі ОП, елементами від'ємного зв'язку якого є контрольований Y_x та зразковий C_0 елементи, фазочутливий детектор ФД, формувач ФР, екстремум-детектор ЕД, пристрій керування ПК та індикатор ІНД. Пристрій керування задає діапазон зміни частоти тестового сигналу ДТС та його значення по чергово задаючи фіксоване значення.

Під дією тестового сигналу ДТС фіксованої частоти ω_1 , заданою ПК, векторним перетворювачем здійснюється перетворення адмітансу Y_x контрольованої води в комплексну напругу, а саме:

$$\dot{U}_x = -U_T \frac{Y_x}{j\omega C_0} = -U_T \frac{jB_x + G_x}{j\omega C_0}, \quad (1)$$

де B_x та G_x - реактивна та активна складові адмітансу.

З допомогою фазочутливого детектора, на керуючий вхід якого подається сформована ФР напруга, виділяється з вихідної напруги $\dot{U}_x$ ВП складова напруги, пропорційна реактивній складовій B_x адмітансу Y_x контрольованого об'єкта.

Враховуючи, що реактивна складова об'єкта $B_x = j\omega C_x$, з виразу (1) маємо

$$\dot{U}_x = U_T \frac{C_x}{C_0} + U_T \frac{G_x}{j\omega C_0}. \quad (2)$$

Тоді на виході фазочутливого детектора отримуємо

$$U = \operatorname{Re}(\dot{U}_x) = k U_T \frac{C_x}{C_0}, \quad (3)$$

де k - коефіцієнт перетворення векторної величини в скалярну.

Як зазначено вище, реактивна складова змінюється із зростанням частоти, а тому і вихідна напруга ФД буде також змінюватися відповідно. Екстремальне значення такої залежності фіксує ЕД, який через ПК зупиняє зміну частоти ДТС. Значення частоти, що відповідає екстремальному значенню індукується ІНД, а заодно за градуальною характеристикою індукується рівень твердості.

Висновки. На основі розглянутого в даній роботі можна зробити наступні висновки.

1. На відміну від звичних вимірювань твердості води за зміною електропровідності, як інформативного параметра, запропоновано оцінювати твердість води за частотою тестового (як інформативного параметра) сигналу, при якій реактивна складова досягає екстремального значення.

2. Реалізація такого способу засобами вимірювання забезпечить інваріантність результату вимірювання до зміни температури об'єкта контролю та селективність лише до компонентів води, що впливають на електропровідність.

1. ГОСТ 4151-72. Вода питьевая. Метод определения общей жесткости. – Взамен ГОСТ 4151-48 ; введ. 1974–01–01. – Государств. комитет стандартов Совета Министров СССР от 09.10.72 № 1855; М. : Изд-во стандартов, сор. 2002. – 3 с.
2. ГОСТ Р 52407-2005. Вода питьевая. Методы определения жесткости. – введ. 2007-01-01. – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ. 2006. – 24 с.
3. Зорі А.А. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ / А.А Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов // РВА ДонНТУ. – 2000. С. 110 – 123.
4. Маркет вимірювальних приладів. Товари на сайті Символьт [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://www.simvolt.com.ua/ukr/conduct.html?gclid=CM6TrPO_hagCFQK-zAoduk5IqQ
5. Кондуктометр / Концентратометр МАРК-1102. – Руководство по эксплуатации. ВР56.00.000РЭ. – 2009. – Н. Новгород : Предприятие «ВЗОР». – 83 с.
6. Походило Є.В. Контроль якості питної води за електричними параметрами / Є.В. Походило, О.В. Гонсьор // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. – №68. – С. 237 – 242.
7. Стратегия качества в промышленности и образовании – 2010 [Текст] : Материалы VI междунар. конф. [Болгария], 4–11 июня 2010г. – Варна : Междун. науч. журнал. Спец. выпуск, 4 том. – 2010. – 335 – 336 с.

