

Измерение диэлектрической проницаемости воды на сверхнизких частотах

А.Т. Ситников^{1,2}, И.Л. Шейнман^{1,3}

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

²Санкт-Петербургский государственный университет

³Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: На основе измерения электрической емкости конденсатора с жидкостью в статическом режиме была определена диэлектрическая проницаемость воды. На сверхнизких частотах относительная диэлектрическая проницаемость воды, определяемая через емкость, существенно отличается от справочных и табличных значений, полученных на основе измерений на средних и высоких частотах, и принимает значения порядка $10^4 \dots 10^6$. Аномальные значения диэлектрической проницаемости воды свидетельствуют о влиянии на емкость электрогальванического эффекта и формирования двойного заряженного слоя. Разработанный метод может оказаться полезным для определения содержания примесей в воде.

Ключевые слова: емкостной сенсор, электроемкость, диэлектрическая проницаемость, жидкость, диэлектрическая проницаемость жидкости, цилиндрический конденсатор

1. Введение

Изучение электрических свойств жидкостей является традиционной областью интереса экспериментальной физики материалов [1]. Измеряются и анализируются емкость, импеданс, сопротивление, диэлектрическая проницаемость, проводимость. Эти характеристики используют во многих отраслях промышленности для контроля состава и свойств жидких веществ.

Емкость является комплексным параметром, который зависит как от свойств исследуемой жидкости, так и от геометрических размеров и формы прибора. При фиксированных геометрических размерах и форме сенсора электроемкость определяется диэлектрической проницаемостью жидкости. На измеренное прибором значение емкости также могут оказывать влияние электропроводность и электрогальванический эффект.

Для определения диэлектрической проницаемости жидкостей используют различного рода конденсаторы, где в качестве диэлектрика выступает исследуемая жидкость. Различные варианты конструкции, характеристик, работы и возможные применения устройства представлены в [2], [3].

2. Методика измерений

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества ε может быть определена путем сравнения емкости тестового конденсатора с исследуемой жидкостью C_x и емкости того же конденсатора в вакууме C_0 : $\varepsilon = C_x/C_0$. Емкость C_0 практически не зависит от частоты, тогда как C_x с уменьшением частоты резко возрастает.

На основе измерения электрической емкости конденсатора с жидкостью в статическом режиме была определена диэлектрическая проницаемость воды. На сверхнизких частотах диэлектрическая проницаемость воды, определяемая через емкость, существенно отличается от справочных и табличных значений, полученных на основе измерений на средних и высоких частотах.

Емкостной сенсор, использованный для измерений, выполнен в виде анодированного алюминиевого коаксиального цилиндрического конденсатора, оксидная пленка которого изолирует воду от контактов. Емкость определялась двумя способами: исследованием разрядки через постоянное сопротивление, а также через контакт исследуемого элемента с референсным сухим конденсатором в течение 0.1...3 секунд. Оба метода дали сходные значения емкости.

При разрядке конденсатора через известное сопротивление наблюдаются значения диэлектрической проницаемости в диапазоне $10^4...10^6$, в то время как табличные данные [4] на частотах 1...100 кГц близки к 80 с небольшой зависимостью от количества примесей и температуры.

При измерении напряжения на емкостном элементе наблюдается также неоднородная слабозатухающая от времени компонента напряжения, со временем релаксации много больше основной затухающей моды, особенно заметная при долгой зарядке на больших напряжениях. Предположительно, она связана с электрогальваническими эффектами, которые также меняются в зависимости от состава жидкости. Методика измерений выбрана таким образом, чтобы минимизировать вклад этой составляющей.

3. Заключение

Столь разительное расхождение полученных значений диэлектрической проницаемости с табличными значениями свидетельствует о влиянии на емкость механизмов, связанных с формированием двойного заряженного слоя и ионным обменом между примесями в воде и электродами.

Благодаря большим различиям в измеряемой емкости для различного содержания примесей в воде, разработанный метод может оказаться полезным для определения содержания примесей [5].

Список литературы

1. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии, Казань: КГУ, 2008. 112 с.
2. Anaraki P.A. Study of liquid mixtures electrical properties as a function of electrical conductivity using capacitive sensor // Res. J. Applied Sci. Eng. Technol, 25: 439-446, 2014
3. Ahn H.J., Kim I.H. and Han D.C. Nonlinear analysis of cylindrical capacitive sensor. Meas. Sci. Technol. 16: 699-706. 2005
4. Н. В. Желвакова, И. Л. Шейнман. Разработка емкостного сенсора для детектирования примесей в воде. 79-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докладов / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург. 2024. 512 с. 22 – 26 апреля 2024. Санкт-Петербург. С. 481-485.
5. C. G. Malmberg and A. A. Maryott. Dielectric Constant of Water from 0 0 to 1000 C. Journal of Research of the National Bureau of Standards Vol. 56, No. I, January 1956 Research Paper 2641. Pp. 1-8.
6. Н. В. Желвакова, И. Л. Шейнман. Разработка емкостного сенсора для детектирования примесей в воде. 79-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докладов / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург. 2024. 512 с. 22 – 26 апреля 2024. Санкт-Петербург. С. 481-485.