

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТИ IN SITU СПОСОБОМ "АКТИВНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ"

В.А. Гайский

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Предлагается способ измерения удельной электрической проводимости жидкости с использованием электролитической ячейки с однородным электрическим полем и вкладышей, полное сопротивление которых подстраивается под эквивалентное сопротивление вытесненного вкладышем объема жидкости.

Известны способы измерения удельной электрической проводимости жидкости с использованием вкладышей простой геометрической формы, например [1], двух подобных разных вкладышей с известными размерами, помещаемых в проточную электролитическую ячейку с однородным электрическим полем, тремя токовыми и пятью потенциальными электродами. Технически этот способ трудно реализуем из-за необходимости точного измерения трех электрических параметров, обеспечения однородности электрического поля в ячейке и постоянства или текущего контроля четырех геометрических размеров.

В рассматриваемом ниже способе упрощается конструкция электролитической ячейки, а искажения однородности электрического поля используются как полезные эффекты.

Суть способа состоит в следующем.

В некотором объеме однородной жидкости (или в среде) создается однородное электрическое поле, например, между двумя плоскопараллельными электродами так, как это показано на рисунке 1. Для такого поля характерно наличие параллельных силовых линий тока с падением потенциала внутри ячейки между пластинами и перпендикулярных силовым линиям эквипотенциальных поверхностей [2].

Если поместить в поле диэлектрический вкладыш простой геометрической формы, например, цилиндр таким образом, что образующие цилиндра будут направлены па-

раллельно силовым линиям поля, а торцевые поверхности цилиндра окажутся на месте эквипотенциальных поверхностей, то электрическое поле в ячейке исказится. Силовые линии электрического поля будут обтекать вкладыш и в плоскости бывших эквипотенциальных поверхностей вблизи торцов вкладыша возникнет градиент потенциала, направленный, например, так, как это показано на рисунке 2.

Допустим, что торцевые поверхности вкладыша покрыты проводящей пленкой и образуют торцевые электроды. Искажения однородности электрического поля при этом за границами вкладыша также имеет место (рис. 3) с сохранением направления градиента потенциала.

Если электроды вкладыша закоротить, то силовые линии поля стянутся к торцам вкладыша и градиент потенциала вблизи торцов изменит направление (рис. 4).

Следовательно, есть такое полное сопротивление Z , при включении которого между электродами вкладыша градиент потенциала на месте эквипотенциальной поверхности вблизи торца и вне вкладыша будет равен нулю. Это полное сопротивление равно полному сопротивлению объема жидкости, вытесненному вкладышем (рис. 5).

При известных геометрических размерах вкладыша – цилиндра длины l и площади поперечного сечения S , удельная электрическая проводимость жидкости определится по формуле $\chi = \frac{l}{S \cdot R}$.

Сопротивление R является вещественной частью комплексного сопротивления Z , которое может быть определено мостовым или компенсационным способом. Структурная схема мостового измерителя Z представлена на рисунке 6.

В этом устройстве вкладыш одной из торцевых поверхностей совмещен с одним из электродов, поскольку для измерительной процедуры достаточно использовать изменение поля вблизи одной торцевой поверхности вкладыша.

В мостовом измерителе (рис. 6) источник питания I замкнут на плоские электроды 2_1 и 2_2 электролитической ячейки, вкладыш 3 с торцевыми электродами 3_1 и 3_2 включен в одно из плеч

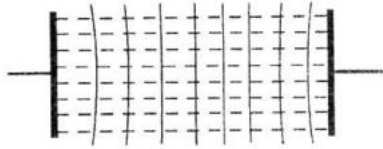


Рисунок 1 – Однородное электрическое поле в однородной жидкости между двумя плоско-параллельными пластинами

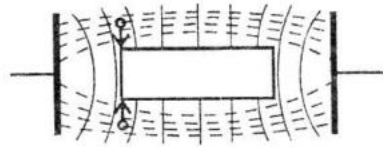


Рисунок 2 – Искажение однородного электрического поля диэлектрическим вкладышем

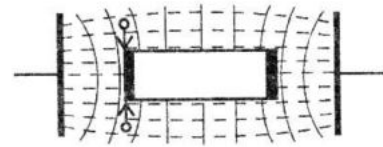


Рисунок 3 – Искажения однородного электрического поля диэлектрическим вкладышем с проводящими электродами на торцах

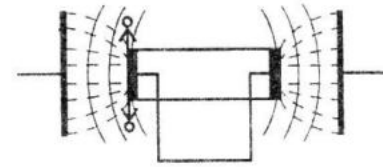


Рисунок 4 – Искажение однородного электрического поля диэлектрическим вкладышем с закороченными торцевыми электродами

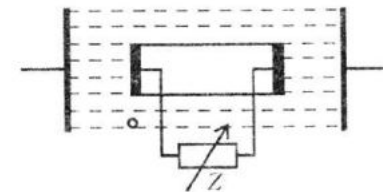


Рисунок 5 – Однородное электрическое поле с диэлектрическим вкладышем, между торцевыми электродами которого включено полное сопротивление, эквивалентное полному сопротивлению вытесненного вкладышем объема жидкости

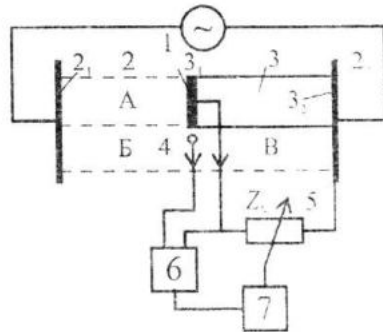


Рисунок 6 – Структурная схема мостового измерителя удельной электропроводимости с магазином образцовых полных сопротивлений Z_N в плече моста, где 1 – источник питания, 2 – электролитическая ячейка с электродами 2₁ и 2₂, вкладыш 3 с торцевыми электродами 3₁ и 3₂, электрод градиента потенциала 4, магазин образцовых полных сопротивлений 5, компаратор 6, блок управления уравновешиванием 7

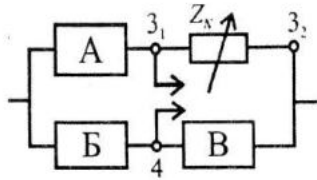


Рисунок 7 – Схема эквивалентного измерительного моста

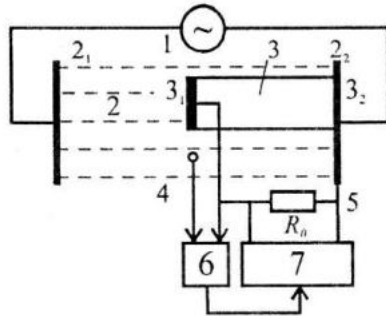


Рисунок 8 – Структурная схема измерителя с компенсацией напряжения на электродах вкладыша током на резисторе $5 R_0$, где 7 – источник тока уравнивания, остальные обозначения аналогичны схеме на рисунке 6

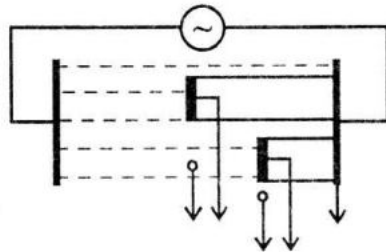


Рисунок 9 – Схема электролитической ячейки с двумя вкладышами разных размеров

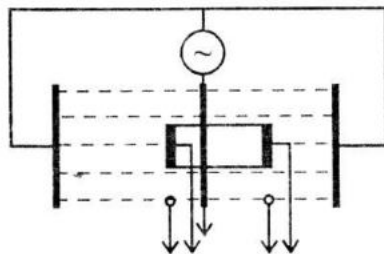


Рисунок 10 – Схема варианта электролитической ячейки с двумя вкладышами разных размеров

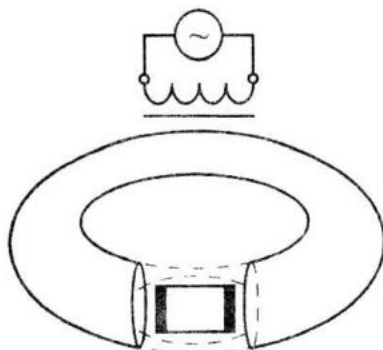


Рисунок 11 – Вариант электролитической ячейки с индуктивным формирователем электрического поля

эквивалентного моста, образованного сопротивлениями объемов жидкости А, Б, В и магазином 5 образцовых полных сопротивлений Z_N , включенным между электродами 3₁ и 3₂ вкладыша так, как это показано на рисунке 7.

Диагональ моста образована электродом 3₁ вкладыша и дополнительным электродом 4, расположенным в плоскости торца и вблизи него. Эти электроды 3₁ и 4 соединены со входами компаратора 6, выход которого соединен с блоком уравнивания 7. Уравнивание моста осуществляется по активной и реактивной составляющим Z известным способом для мостов переменного тока с использованием сигнала разбаланса с электродов 3₁ и 4.

Структурная схема измерителя с компенсацией напряжения на электродах вкладыша показана на рисунке 8. В отличие от схемы мостового измерителя в этой схеме между электродами вкладыша включено постоянное образцовое сопротивление R_0 , компенсирующее напряжение на котором формируется током от источника 7, управляемым сигналом разбаланса с выхода компаратора 6.

Фактически принцип компенсации состоит в формировании таких амплитуды и фазы переменного тока (возможно из суммы двух квадратурных составляющих с подстройкой амплитуд), при котором сигнал разбаланса будет равен нулю.

Одним из возможных ограничений при технической реализации способа активных вкладышей является двойной приповерхностный слой, образующийся на электродах вкладыша.

Исключить влияние этого слоя на результат измерения возможно путем использования двух вкладышей с одинаковыми площадями S поверхности торцов и разными длинами l_1 и l_2 . При этом вычисление удельной электрической проводимости выполняется по формуле
$$\chi = \frac{l_1 - l_2}{S \cdot (R_1 - R_2)},$$

где R_1 и R_2 – активные сопротивления объемов жидкости, вытесненных первым и вторым вкладышами.

Схемы вариантов электролитических ячеек с двумя вкладышами представлены на рисунках 9, 10.

Однородное электрическое поле в жидкости можно создать и бесконтактным способом если его сформировать диэлектрическими раструбами на выходе витка вторичной обмотки (рис. 11) тороидального трансформатора такого, какой используется в качестве передающего в индуктивных датчиках электропроводимости [3].

В предлагаемом способе точность результата измерения удельной электрической проводимости непосредственно определяется точностью измерения внешних размеров тел простой геометрической формы и электрических параметров: величин сопротивлений, токов и напряжений.

В том случае, если требуемая точность по изготовлению и обеспечению постоянства абсолютных параметров измерения не будет достигнута, то после градуировки способ "активных" вкладышей все равно обеспечит более высокую точность определения и сохранения "геометрической постоянной" электролитической ячейки, чем способы с прямыми измерениями электропроводимости контактными или индуктивными датчиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Гайский. Измерение удельной электрической проводимости морской воды *in situ*. Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2004. – С. 44–51.
2. А.В. Нетушил. К.М. Поливанов. Теория электромагнитного поля. Ч. 3 ГЭИ, – М.– Л. 1956. – 192 с.
3. N.L. Brown. B.V. Hamon. An inductive saemometer. Deep-Sea Research, 1961, Vol. 8, No. 1. – P. 65–75.