

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ МОРСКОЙ ВОДЫ

*М.Н. Сурду, А.Л. Ламеко, Е.В. Олигов,
И.С. Петрунина, А.В. Павлов*

Киевский институт
прецизионных измерений
г. Киев, ул. Фрунзе, 104
E-mail: msurdu@nbi.com.ua

Описывается принцип действия, структурная схема термокондуктометра и приводятся его технические характеристики.

Работа является продолжением [1]. В настоящей работе описывается разработанный авторами термокондуктометр ТК-4100 с расчетной кондуктометрической ячейкой, в котором четырехэлектродная контактная ячейка выполнена с компланарными смежными токовыми и потенциальными электродами.

ТК-4100 автоматически измеряет комплексную проводимость кондуктометрической ячейки и сопротивление датчика температуры. Результаты измерений выдаются на жидко-кристаллический дисплей в виде значений проводимости используемых датчиков электропроводности и температуры, в виде значений измеряемых удельной электропроводности и температуры, рассчитанных в соответствии с характеристиками указанных датчиков.

ТК-4100 имеет следующие технические характеристики:

Диапазон измерения температуры: от минус 5 °С до плюс 50 °С.

Диапазоны измерений и основная погрешность измерения проводимости G_x приведены в таблице 1.

Приведенная относительная чувствительность по проводимости: не хуже 2×10^{-3} % на основных диапазонах измерения.

Чувствительность по температуре: не хуже $(2 \cdot 10^{-3})$ °С.

Константа ячейки в четырехэлектродной конфигурации – $47,5 \text{ м}^{-1} \pm 1 \text{ м}^{-1}$.

Таблица 1 – Диапазоны измерений и основная погрешность измерения проводимости G_x

Диапазоны измерений ($G_{\text{xmin}} - G_{\text{xmax}}$)	Основная погрешность измерений
$10^{-1} - 10^0 \text{ S}$	$\delta = 0,1(1 + 0,1G_x/G_{\text{xmax}}) \%$
$10^{-2} - 10^{-1} \text{ S}$	$\delta = 0,05(1 + 0,1G_x/G_{\text{xmax}}) \%$
$10^{-3} - 10^{-2} \text{ S}$	$\delta = 0,01(1 + 0,1G_{\text{xmax}}/G_x) \%$
$10^{-4} - 10^{-3} \text{ S}$	$\delta = 0,01(1 + 0,1G_x/G_{\text{xmax}}) \%$
$10^{-5} - 10^{-4} \text{ S}$	$\delta = 0,05(1 + 0,2G_{\text{xmax}}/G_x) \%$
$0 - 10^{-5} \text{ S}$	$\delta = 0,1(1 + 0,4G_{\text{xmax}}/G_x) \%$

Рабочая частота – 175 Гц.

Процесс измерения выполняется автоматически. Предусмотрен режим ввода параметров аппроксимирующих функций для кондуктометрической ячейки и датчика температуры, обеспечивающий выдачу результатов измерений в виде значений удельной электрической проводимости и температуры в градусах Цельсия.

Питание термокондуктометра ТК-4100 осуществляется от выносного сетевого блока питания. Мощность, потребляемая термокондуктометром ТК-4100 от сети, не более 2 ВА. Масса прибора – не более 0,5 кг. Габариты – (150×60×50) мм.

Структурная схема термокондуктометра ТК-4100 приведена на рисунке 1.

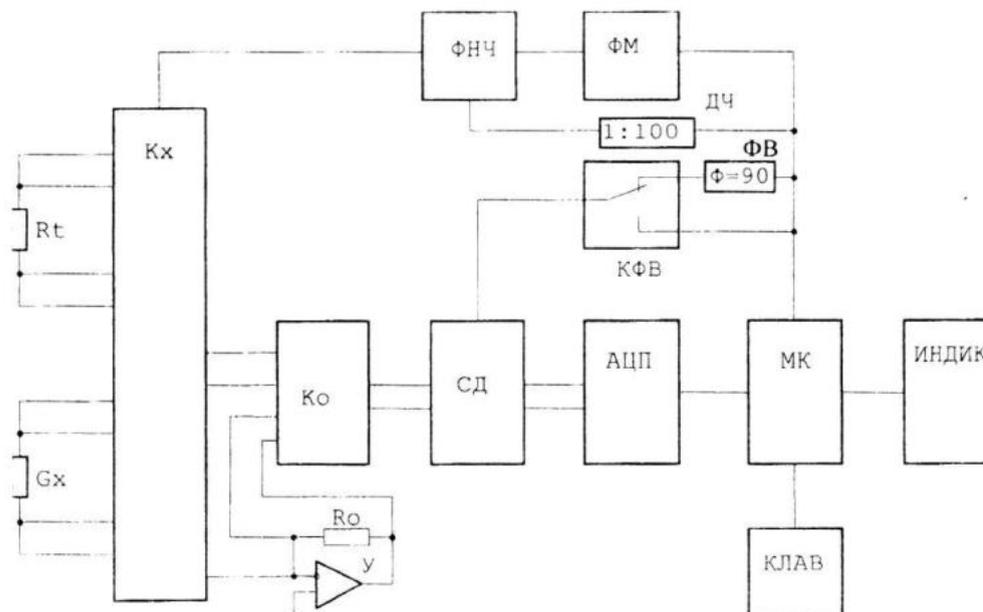


Рисунок 1 – Измерительная цепь ТК-4100

Термокондуктометр состоит из генератора, питающего измерительную цепь, который содержит формирователь меандра строго заданной амплитуды ФМ (частота которого задается микропроцессором МК) и избирательный коммутационный фильтр ФНЧ (опорная частота которого также формируется микропроцессором). Соотношение опорной частоты фильтра и рабочей частоты задается в виде константы аппаратно при помощи делителя ДЧ и равно 100. Синусоидальное выходное напряжение генератора поступает на измерительную цепь, которая представляет собой последовательно соединенные объект измерения (R_t или G_x) и эталонную меру R_0 , которые включены в цепь прямой и обратной связи защитного усилителя $У$. В качестве образцовой меры используются два коммутируемых эталонных резистора с сопротивлением 100 Ом и 10000 Ом. В качестве объекта измерения выступают датчик температуры или датчик электропроводности, которые включаются в измерительную цепь при помощи коммутатора K_x . Падения напряжения на эталонной мере и объекте измерения по очереди, при помощи коммутатора K_0 , подаются на синхронный детектор СД. На последний в качестве опорных сигналов через коммутатор КФВ подаются по очереди синфазное и квадратурное напряжения,

формируемые микропроцессором при помощи фазовращателя ФВ.

Квадратурная и синфазная составляющие U_{xc} , U_{xk} , U_{oc} , U_{ok} напряжений U_x и U_0 , действующих на объекте измерения и образцовой мере, выпрямляются при помощи синхронного детектора и по очереди измеряются аналого-цифровым преобразователем АЦП.

На основе проведенных измерений микропроцессор рассчитывает результаты измерений по формулам:

$$\begin{aligned} G_x &= G_0 (U_{oc} U_{xc} - U_{ok} U_{xk}) / ((U_{xc})^2 + (U_{xk})^2), \\ B_x &= G_0 (U_{ok} U_{xc} - U_{oc} U_{xk}) / ((U_{xc})^2 + (U_{xk})^2), \\ R_x &= R_0 (U_{oc} U_{xc} - U_{ok} U_{xk}) / ((U_{oc})^2 + (U_{ok})^2), \end{aligned} \quad (1)$$

где G_0 и R_0 – проводимость и сопротивление эталонной меры.

Рассчитанные значения сопротивления и проводимости объекта измерения выводятся на индикаторное табло и используются для расчета температуры t , удельной электрической проводимости G_s , приведенной удельной электрической проводимости G_u по формулам:

$$\begin{aligned} t &= ((R_x/R_T) - 1)/a, \\ G_s &= K \cdot G_x, \\ G_u &= G_s / (1 + A \cdot (t - t_0) + B \cdot (t - t_0)^2), \end{aligned} \quad (2)$$

где K – константа кондуктометрической ячейки;

a – крутизна преобразования датчика температуры;

R_t – сопротивление датчика температуры;

A и B – коэффициенты полиномиальной зависимости электропроводности раствора от температуры;

t_0 – температура приведения.

Управление выводом измерительной информации и вводом констант производится оператором при помощи клавиатуры на передней панели прибора. Общий вид прибора показан на рисунке 2.

Основной особенностью кондуктометра является специфическая конструкция датчика, внешний вид которого показан на рисунке 3.

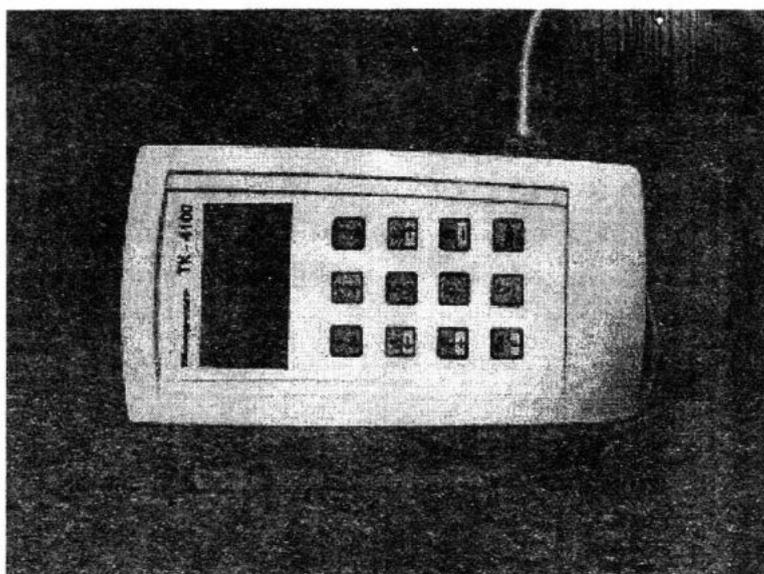


Рисунок 2 – Вид термокондуктометра ТК-4100

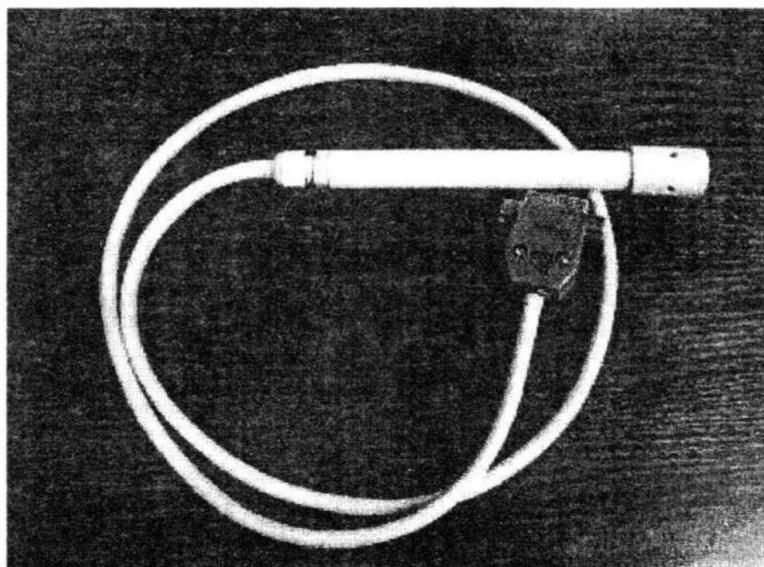


Рисунок 3 – Вид четырехэлектродной кондуктометрической ячейки

Датчик состоит из двух пластинок, плоские поверхности которых расположены параллельно друг относительно друга. На каждой из этих пластинок расположена пара смежных токовых и потенциальных электродов. При этом, потенциальный электрод представляет собой тонкую линию, окруженную с двух сторон широким токовым электродом.

При использовании защитных электродов константа такого четырехэлектродного датчика определяется отношением расстояния между пластинами, несущими токовые электроды, к площади токовых электродов. Отклонения от расчетности определяются отношением суммарной ширины потенциального электрода и ширины зазора между токовым и потенциальным электродами к ширине токового электрода. Если, например, ширина токового электрода составляет 10 мм, а ширина зазора между токовым и потенциальным электродами составляет 2 микрона, то отклонение константы ячейки от простейшим образом вычисленного значения составит 0,02 %. Для повышения точности расчета константы можно провести расчеты поля в ячейке любым из многих известных сегодня способов.

Рассматриваемая четырехэлектродная ячейка позволяет повысить точность изме-

рения также за счет того, что разность потенциалов и сопротивление между смежными потенциальным и токовым электродами являются малыми величинами, которые соответствующим конструированием можно устремить к нулю.

Описанный выше термокондуктометр не требует для своего изготовления сложных технологий и поэтому позволяет добиться высокой точности измерения при невысокой цене изделия.

В дополнение к обычно измеряемым кондуктометрами параметрам, описанное устройство позволяет измерять также и реактивную составляющую проводимости растворов. Это позволяет фиксировать появление в растворе ряда веществ, которые растворяются без диссоциации молекул (например, появление некоторых органических загрязнителей).

Л и т е р а т у р а

1. М.Н. Сурду, А.Л. Ламеко, Т.В. Швец. Прецизионный малогабаритный измеритель электропроводности и температуры морской воды // Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. тр. НАН Украины, МГИ. – Севастополь. – 2004. – С. 33–36.