

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ С КОНТАКТНЫМ ДАТЧИКОМ

А.В. Клименко, К.А. Кузьмин,
О.Ф. Дмитриев

Морской гидрофизический институт
НАН Украины,
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

В статье приведена схема и алгоритм автоматической коррекции влияния изменчивости параметров электронной схемы во времени и от внешних окружающих условий на градуировочную характеристику измерителя электрической проводимости с контактным датчиком.

Введение. Измерительные каналы, в которых имеется возможность самоградуировки, обладают существенно большей точностью и долговременной стабильностью (в сравнении с каналами без самоградуировки). В этом случае точность и долговременная стабильность зависят от точности и стабильности выбранных образцовых мер, их количества и погрешности аппроксимации применяемого при градуировке полинома. Схемотехническая сложность состоит в способе подключения эталонных мер, при котором влияние их на измеряемый параметр минимально.

Наибольшая погрешность измерения в схемах без самоградуировки для зондирующих приборов вызвана изменением внутренней температуры контейнера, которая может изменяться в диапазоне от 0 до 30 °С, оказывая влияние на активные и пассивные элементы электронной схемы.

Алгоритмическая коррекция градуировочной характеристики канала методом сквозной градуировки по образцовым проводимостям позволяет существенно ослабить влияние изменения температуры контейнера на результат измерения.

Этот метод коррекции был успешно применён в канале измерения электрической проводимости гидролого-химического модуля (ГХМ) морской прибрежной стан-

ции БРИЗ-1 и описан в работе [1]. Суть его состоит в том, что для оценки температурного влияния на электронные компоненты схемы предварительно проводился эксперимент, в котором датчик электрической проводимости (ЭП) замещался шестью образцовыми проводимостями, значения которых заносились в память с максимальной точностью. При этом образцовые проводимости оставались при комнатной температуре, а контейнер с электроникой подвергался ступенчатому нагреву с выдержкой на каждой ступени по 30 мин в диапазоне от 6 до 37 °С. Температура внутри контейнера $t_{в.к.}$ измерялась встроенным цифровым термометром. В результате устанавливалась связь выходного кода преобразователя с внутренней температурой контейнера для каждой из образцовых мер по выражению

$$N_i = N_{0i} + K_i(t_{в.к.} - t_0). \quad (1)$$

В выражении (1) находилась зависимость коэффициента K_i от кода i , решая это уравнение относительно N_{0i} , вычислялся скорректированный код, приведенный к 0 °С. Свободный член N_{0i} в этом выражении соответствует значению кода при $t_{в.к.} = 0$ °С, является константой для каждого значения проводимости и не зависит от $t_{в.к.}$. Его можно назвать "кодом, приведённым к 0 °С".

Описанный метод, к сожалению, не позволяет учесть временной дрейф компонентов электронной схемы. Выходом из ситуации может быть опрос ряда образцовых проводимостей в рабочем режиме одновременно с датчиком ЭП. Выход из этой ситуации был найден путем размещения образцовых резисторов внутри контейнера ГХМ непосредственно на плате измерителя электрической проводимости. В этой статье излагается основная суть данного метода повышения долговременной стабильности измерительного канала электрической проводимости.

Схема измерительного канала. На рисунке 1 представлена структурная схема кондуктометра, обеспечивающая самокоррекцию градуировочной характеристики, где показаны: 1 – первичный измерительный преобразователь электрической

проводимости (ПИП ЭП) с токовыми электродами Т1 и Т2 и потенциальными электродами П1 и П2; 2 – блок образцовых резистивных проводимостей G_1-G_5 ; 3 – токовые ключи – модулятор (K_1-K_{10}); 4 – ключи напряжения – демодулятор ($K_{11}-K_{26}$); 5 – усилитель напряжения; 6 – источник опорного напряжения (ИОН); 7 – генератор тока (ГТ1); 8 – генератор тока (ГТ2); 9 – аналого-цифровой преобразователь; 10 – микропроцессор.

В измерительную схему работы [1] добавлены блок образцовых проводимостей 2, а так же токовые ключи 3 и ключи напряжения 4, позволяющие последовательно опрашивать G_1-G_5 .

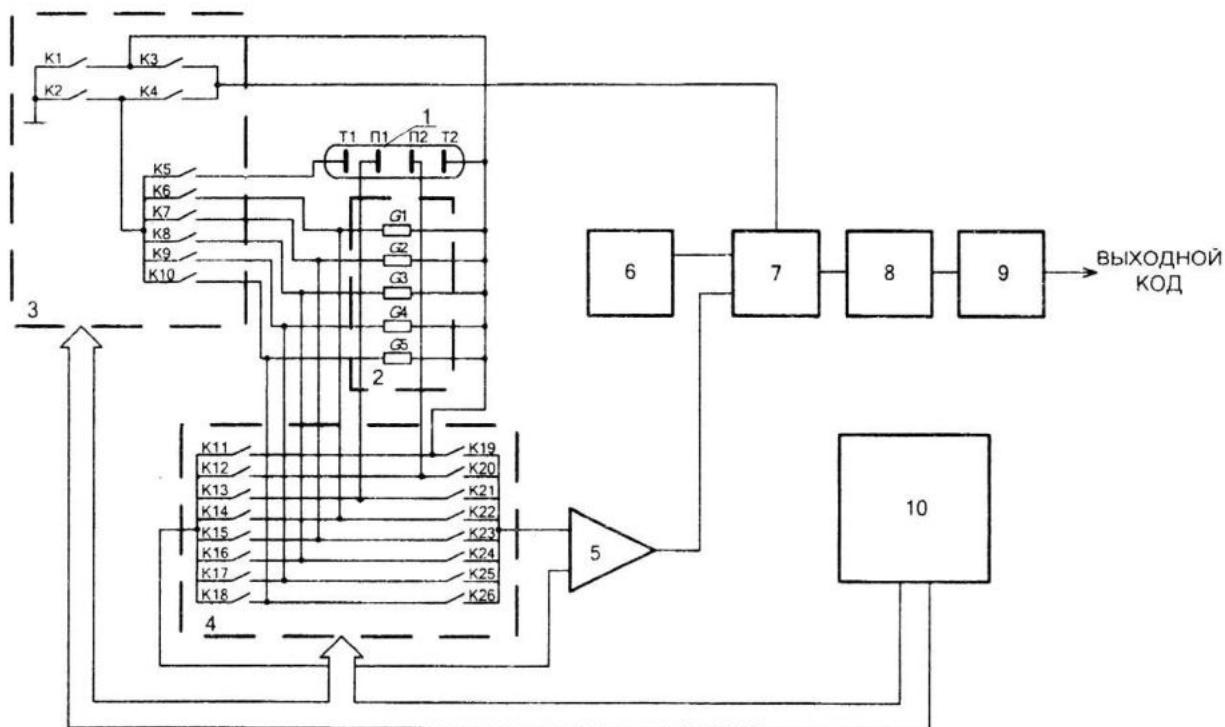


Рисунок 1 – Структурная схема кондуктометра с самоградуировкой

Демодулятор работает синхронно с модулятором, в результате чего на его выходе сохраняется необходимая полярность напряжения.

Цепь обратной связи через ключи напряжения 4, усилитель напряжения 5 и генератор тока 7 на токовые электроды и образцовые проводимости позволяет поддерживать на потенциальных электродах напряжение, равное

Ток ГТ1 поступает на модулятор, где он последовательно переключается на токовые электроды датчика и эквивалентные нагрузки.

Образцовые проводимости представляют собой термостабильные резистивные проводимости марки *MFROWY* с $TCC = 15 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$. Их номиналы выбираются из диапазона, соответствующего используемому датчику. Количество образцовых мер выбирается из необходимой точности принятого аппроксимирующего полинома.

$$U_n = \frac{I_{ГТ1}}{G},$$

где $I_{ГТ1}$ – выходной ток ГТ1, G – проводимость участка воды между П1 и П2, или проводимостей набора образцовых резистивных проводимостей.

В свою очередь задаваемое напряжение между потенциальными электродами будет равно

$$U_n = \frac{U_0}{k},$$

где U_0 – напряжение ИОН, k – коэффициент усиления усилителя напряжения 5.

Эквивалентная электрическая схема четырёхэлектродного датчика электрической проводимости достаточно хорошо описывается моделью, представленной на рисунке 2.

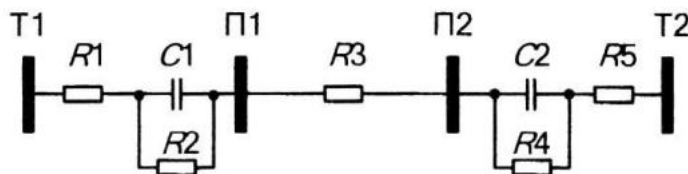


Рисунок 2 – Эквивалентная схема датчика электрической проводимости

T1, T2 – токовые электроды; П1, П2 – потенциальные электроды; R1, R3, R5 – эквивалентные сопротивления, соответствующие электрической проводимости морской воды; R2, R4 – сопротивления утечки; C1, C2 – приэлектродные ёмкости.

Значения R1, R3, R5 в этой схеме примерно одинаковы, однако, номинал сопротивлений R1 и R5 не оказывает влияния на рабочий ток ГТ1, поскольку они вынесены

за пределы измерительной цепи ГТ1. Именно это обстоятельство и позволяет подключить образцовые проводимости по схеме на рисунке 1.

Рассчитаем диапазон номиналов образцовых проводимостей. На рисунке 3 представлена зависимость относительной электрической проводимости (ОЭП) от кода для канала ЭП МПС БРИЗ-1, которая имеет вид

$$R_x = 0,1594 + 2,1576 \cdot 10^{-8} N + 1,2011 \cdot 10^{-14} N^2 - 7,6908 \cdot 10^{-22} N^3 + 1,5892 \cdot 10^{-29} N^4.$$

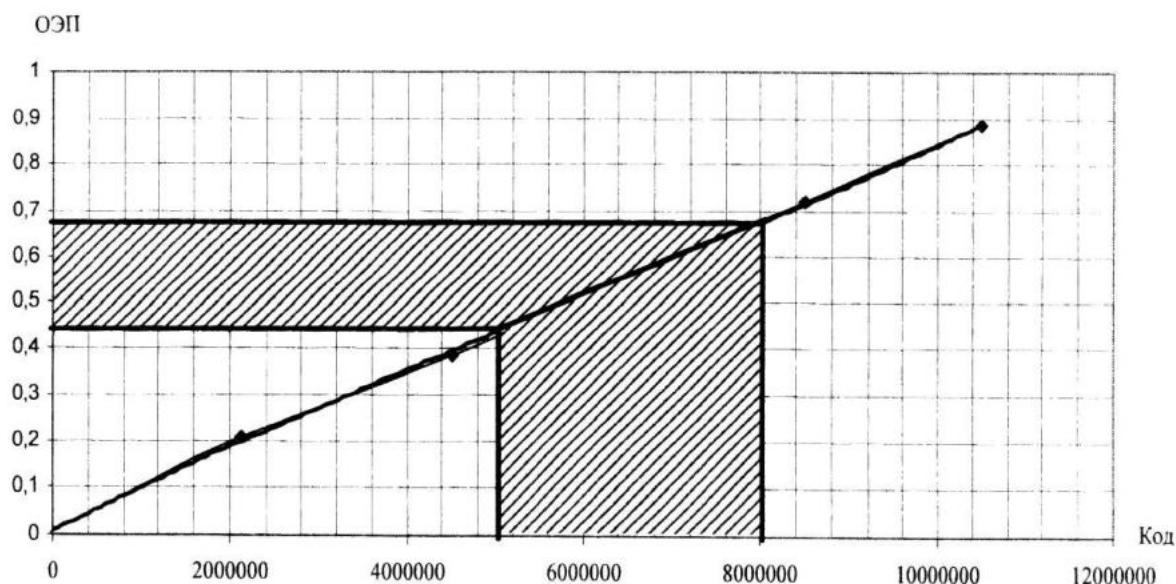


Рисунок 3 – Зависимость относительной электрической проводимости от кода

Из приведённой зависимости следует, что диапазону изменения ОЭП 0,433 – 0,6866 ед., соответствует диапазон изменения кода 5000000 – 8000000.

На рисунке 4 представлена экспериментальная зависимость кода электрической проводимости от образцовых проводимостей, из которой следует, что искомый диапазон номиналов резистивных образцовых проводимостей, лежащих в этом же диапазоне значений кода 5000000 – 8000000, составляет 0,24 – 0,38 См.

Разобьём этот диапазон на четыре части, тогда получим пять значений образцовых резистивных проводимостей, а именно: 0,24; 0,275; 0,31; 0,345; 0,38 См, что в пересчёте на значения номиналов сопротивлений составит 4,17; 3,64; 3,23; 2,9; 2,63 Ом.

В канале ОЭП применены близкие к ним по значению образцовые резисторы с номиналами 4,5435; 4,2358; 3,6633; 3,0415; 2,5758 Ом, которым соответствуют проводимости со следующими номиналами 0,220095; 0,236083; 0,272978; 0,328785; 0,388229 См.

Функция преобразования $G = f(N)$ аппроксимируется:

– полиномом третьей степени

$$G = a_0 + a_1N + a_2N^2 + a_3N^3, \quad (2)$$

где G – электрическая проводимость;

N – код;

$$a_0 = 3,449397 \cdot 10^{-2};$$

$$a_1 = 2,806005 \cdot 10^{-8};$$

$$a_2 = 2,748097 \cdot 10^{-15};$$

$$a_3 = -1,350956 \cdot 10^{-22};$$

(дисперсия = $2,6 \cdot 10^{-9}$, среднее квадратическое отклонение в диапазоне ОЭП 0,433 – 0,6866 ед. равно $5,06 \cdot 10^{-5}$).

– полиномом четвёртой степени

$$G = a_0 + a_1N + a_2N^2 + a_3N^3 + a_4N^4, \quad (3)$$

где $a_0 = 1,762229 \cdot 10^{-1};$

$$a_1 = -6,177674 \cdot 10^{-8};$$

$$a_2 = 2,380529 \cdot 10^{-14};$$

$$a_3 = -2,297777 \cdot 10^{-21};$$

$$a_4 = 8,211993 \cdot 10^{-29}.$$

(дисперсия = $1,29 \cdot 10^{-23}$, среднее квадратическое отклонение в диапазоне ОЭП 0,433 – 0,6866 ед. равно $3,6 \cdot 10^{-12}$).

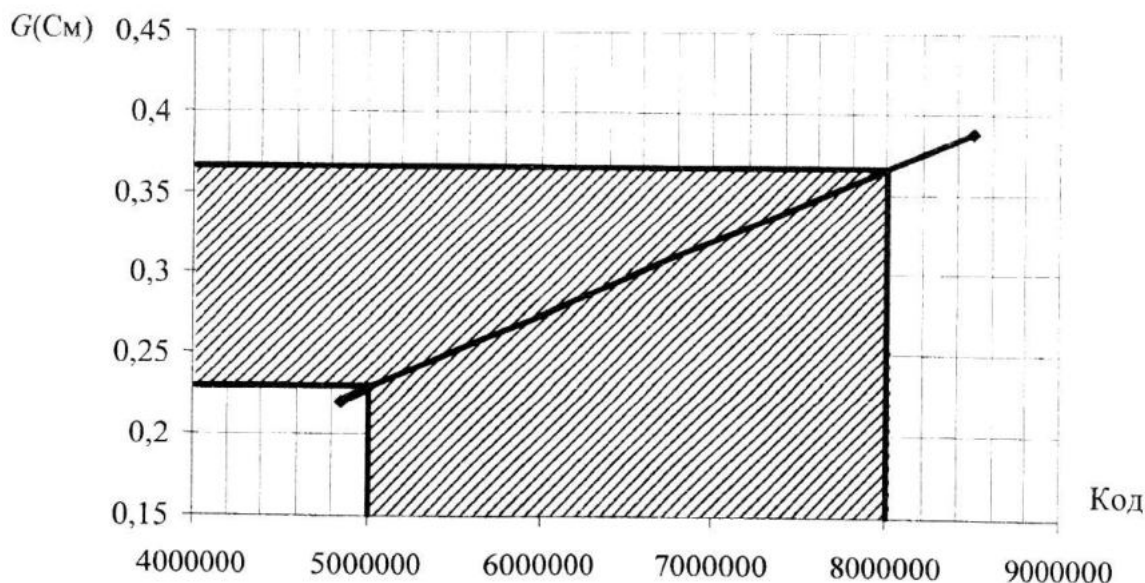


Рисунок 4 – Зависимость значений проводимости образцовых мер от кода

В каждом измерительном такте, подставляя значение кодов, соответствующих образцовым проводимостям, в формулы (2) либо (3), находим G_0 – проводимость, соответствующую электрической проводимости датчика в объёме, лежащем вокруг потенциальных электродов П1 и П2 этого датчика, и лишённую погрешности, вызванной нестабильностью компонентов электронной схемы. Полученное значение G_0 можно использовать при градуировке измерителя, при этом вместо кодов соответствующих n пробам образцовых растворов, необходимо взять n соответствующих им значений G_0 , тогда градуировочное выражение примет вид

$$R_x = b_0 + b_1 G_0 + b_2 G_0^2 + b_3 G_0^3 + b_4 G_0^4,$$

где $b_0 - b_4$ – коэффициенты, полученные при градуировке измерителя.

В работе [1] показано, что в случае применения образцовых мер резисторов марки *MFROWY*, в диапазоне изменения внутренней температуры 0–30 °С, абсолютная погрешность измерения ЭП с учётом температурной зависимости с помощью образцовых

резисторов по сравнению с абсолютной погрешностью без учёта влияния внутренней температуры, улучшается в 47 раз, – аналогичное соотношение можно ожидать и в случае измерения ЭП.

Заключение. Предложена схема измерительного канала ЭП, которая за счёт применения сквозной градуировки по образцовым проводимостям в рабочем режиме позволяет снизить погрешность измерения ОЭП путём уменьшения влияния изменения внутренней температуры контейнера на электронные компоненты схемы и их нестабильности во времени.

Л и т е р а т у р а

1. Клименко А.В., Кузьмин К.А., Алексеев А.П., Забурдаев В.И. Результаты исследования метрологических характеристик измерителя относительной электропроводности гидрологохимического модуля морской прибрежной станции. Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины МГИ: – Севастополь. 2007. – С. 54 – 61.