

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ И ФАЗО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

С.П. Пронин, В.С. Цуриков, А.С. Воронов

Кондуктометрический датчик состоит из двух параллельных пластин, изготовленных из нержавеющей стали, с контактными поверхностями площадью $S = 9 \text{ см}^2$, распо-

расположенных на расстоянии 3 см друг от друга. Вид датчика изображен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведена эквивалентная схема кондуктометрического датчика.

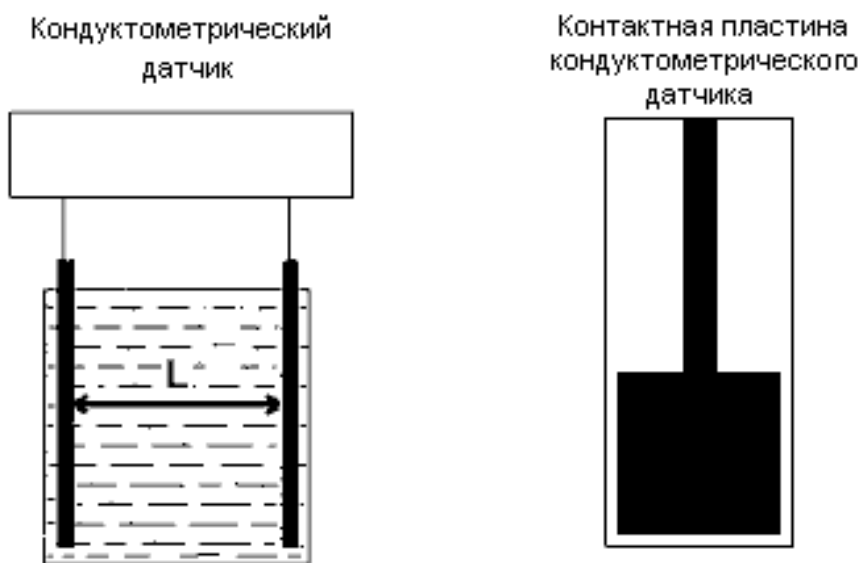
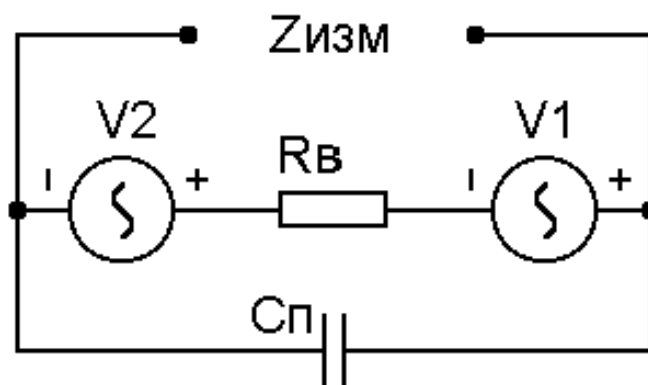


Рисунок 1 – Вид кондуктометрического датчика



$V1, V2$ – паразитная контактная разность потенциалов, возникающая на каждой из пластин;
 $R_{\text{в}}$ – эквивалентное сопротивление воды, которое требуется измерить;
 $C_{\text{п}}$ – паразитная емкость между кондуктометрическими пластинами;
 $Z_{\text{изм}}$ – импеданс, поступающий на вход измерительной системы

Рисунок 2 – Эквивалентная схема кондуктометрического датчика

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ И ФАЗО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Величина сопротивления R_v зависит от формы и размеров проводника, а также свойств материала, из которого он сделан. Пренебрегая краевыми эффектами, рассчитывается сопротивление воды R_v как сопротивление однородного цилиндрического проводника:

$$R_g = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где $l = 3$ см – расстояние между пластинами;

$S = 9$ см² – площадь контактной поверхности пластин;

ρ – удельное сопротивление воды:

$$\rho = k \cdot R_g,$$

где k – коэффициент пропорциональности, равный:

$$k = \frac{S}{l}.$$

Фактически, требуется измерить удельное сопротивление воды ρ , но т.к. параметры кондуктометрической системы l и S являются константами, то зависимость R от ρ – линейная. Следовательно, в качестве оценки ρ вполне допустимо использовать R . К тому же при выборе R в качестве оценки, упрощается задача калибровки измерительной системы: в качестве эталонного значения можно вклю-

чить сопротивление резистора, измеренное более точным прибором.

Паразитная емкость:

$$C_n = \frac{\epsilon_{\text{воды}} \cdot \epsilon_0 \cdot S}{l} = 21 \text{ (пФ)},$$

где $\epsilon_{\text{воды}} = 80$ – диэлектрическая проницаемость воды;

ϵ_0 – электрическая постоянная, равная

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ (Ф/м)}.$$

Погрешность тракта измерения сопротивления составляет 0,1 %. Паразитные разности потенциалов $V1$ и $V2$ являются известными величинами (4-5 мВ), что по отношению к напряжению, подаваемому на пластины для измерения сопротивления жидкости (1,4 В) составит погрешность порядка 0,3 %, которая принимается за основную. Паразитная емкость $C_n \approx 21$ пФ добавляет в схему некоторую инерционность, не оказывая при этом существенного влияния на измеряемую величину. Ослабление реакции кондуктометрического датчика на изменение сопротивления в рабочем диапазоне частот было смоделировано с помощью программы «MultiSim 8». Результат моделирования представлен на рисунке 3.

Обобщенная схема кондуктометрического датчика представлена на рисунке 4.

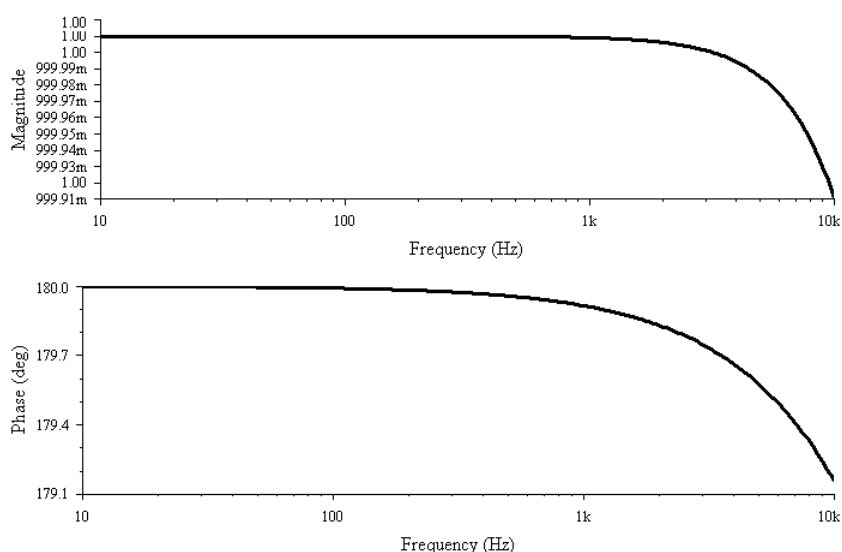


Рисунок 3 – АЧХ и ФЧХ модели кондуктометрической ячейки

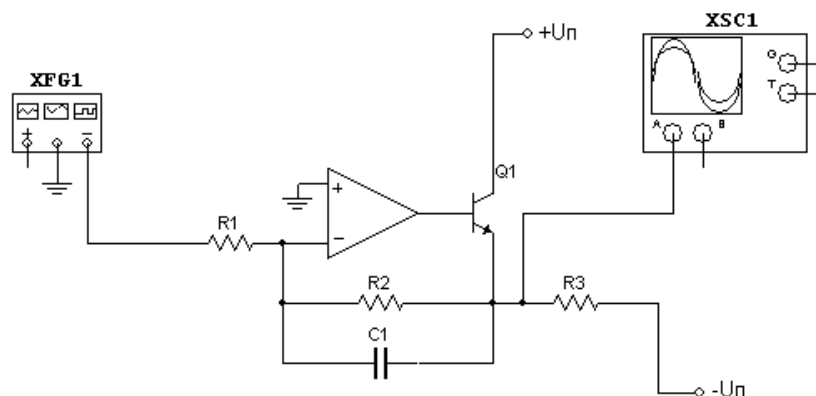


Рисунок 4 – Обобщенная схема преобразования импеданса жидкости в напряжение

Принцип действия схемы следующий: переменное напряжение с генератора через R1 (резистор, задающий диапазон измерения) поступает на вход ОУ. С выхода ОУ напряжение с усиленным током (при помощи эмиттерного повторителя) поступает в цепь обратной связи, в которую последовательно включается система кондуктометрических пластин. Таким образом, можно получить линейную зависимость амплитуды напряжения на выходе транзистора от импеданса цепи обратной связи.

Использование переменного напряжения обусловлено природой носителей заряда в воде. Ионы, являясь основными носи-

телями заряда, при подаче постоянного тока разделяются, что приводит к увеличению сопротивления жидкости с течением времени. Экспериментальные данные показывают, что оптимальной частотой, позволяющей избежать разделения ионов, является 15-20 Гц. Для задач исследования генератор способен работать в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц. Реальные исследования показали, что эквивалентное сопротивление в модели для обычной питьевой воды приблизительно равно 0,5 мкФ. Результаты моделирования представлены на рисунке 5. Такая модель хорошо коррелирует с практическими данными.

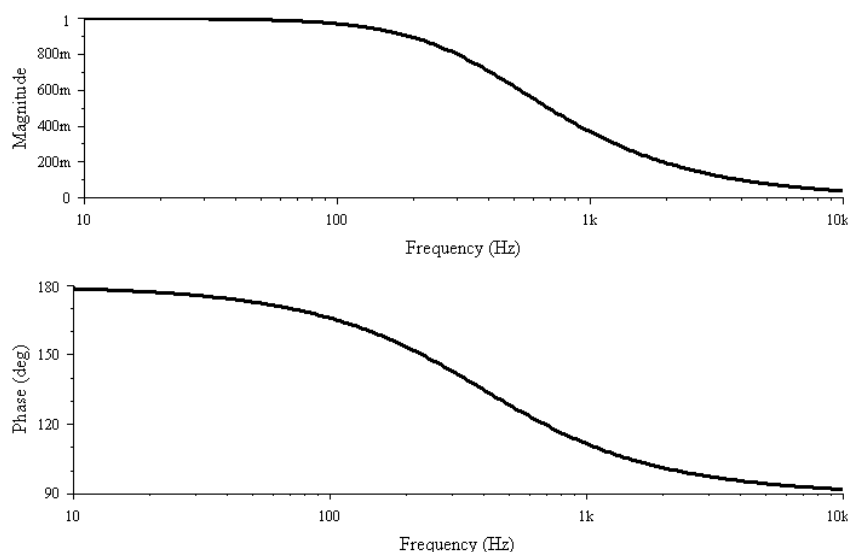


Рисунок 5 – АЧХ и ФЧХ эквивалентной модели питьевой воды

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ И ФАЗО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Для автоматизации процесса измерения применяется аудио-карта компьютера и соответствующее программное обеспечение. В такой системе аудио-карта выполняет функции генератора качающейся частоты, а также роль платы сбора данных. Однако аудио карта вносит искажения в измеряемый сигнал

посредством частотных фильтров. Измерительная цепь с частотными фильтрами представлена на рисунке 6.

АЧХ и ФЧХ данной цепи при замыкании выхода на вход будет выглядеть так, как показано на рисунке 7.

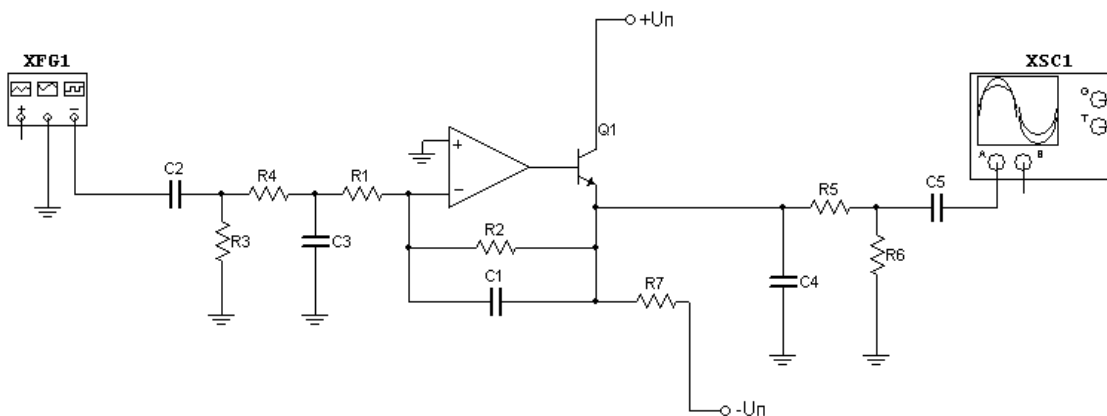


Рисунок 6 – Измерительная цепь кондуктометрического датчика с использованием аудио-карты

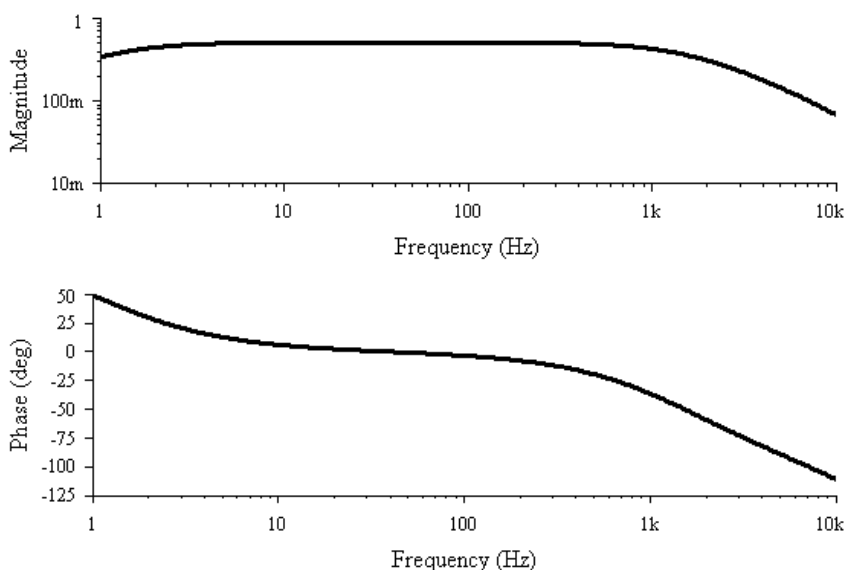


Рисунок 7 – Типичные АЧХ и ФЧХ звуковой карты

При включении объекта измерения в измерительную цепь получаем результаты, представленные на рисунке 8.

На рисунке 9 представлены результаты практического измерения по описанному методу полученные при помощи прибора «Спек-

тро-Фазо-Анализатор Воды и Водных Растворов» (СФАВиВР) и программного обеспечения, написанного в среде MatLab 7.0. Результаты не противоречат построенной теоретической модели, что является основанием для продолжения исследований.

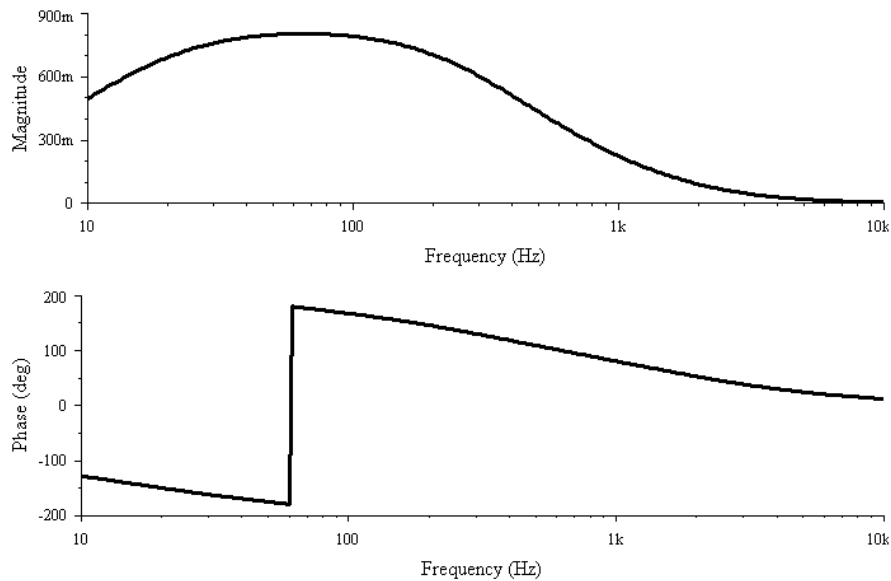


Рисунок 8 – Полная измерительная цепь

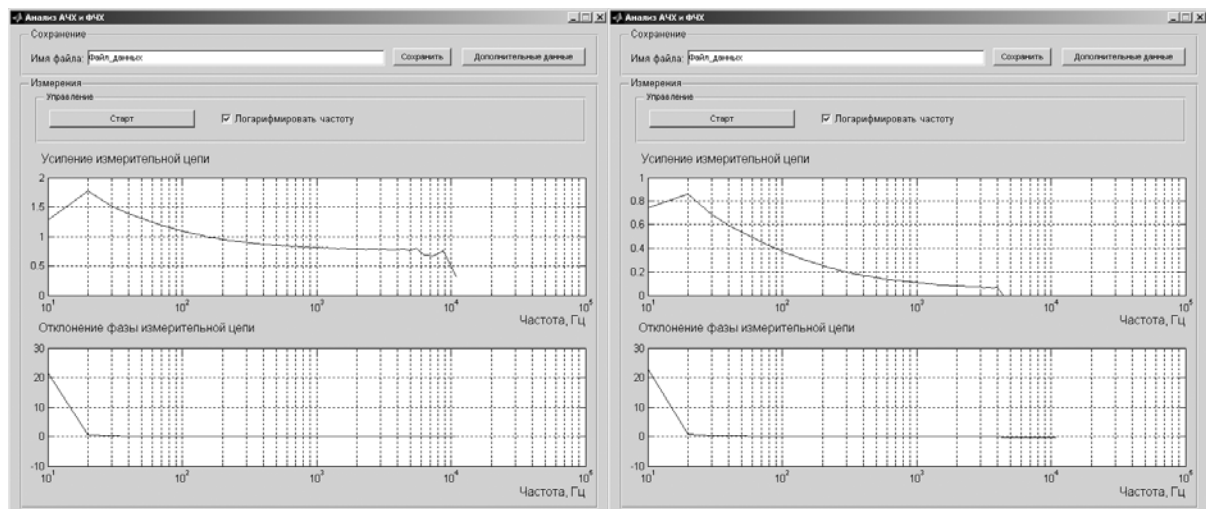


Рисунок 9 – АЧХ питьевой воды (слева) и АЧХ раствора KNO_3 (справа)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 448 с.
3. Грабовски Б. Краткий справочник по электронике: Учебник. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 416 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.
5. www.radiolocom.ru.
6. www.gaw.ru.