

**д.т.н., проф. Финкельштейн З.Л.,
к.т.н., доц. Бизянов Е.Е.,
аспирант Погорелов Р.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ

У статті розглянуто підхід до аналізу води, яка використовується для живлення теплоенергетичних установок з використанням таких електрических параметрів, як діелектрична постійна та провідність.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Проблема изучения структуры воды возникла перед человеком уже давно. Уникальные свойства этого вещества хорошо известны и достаточно подробно исследованы. Результаты известных исследований позволяют разрабатывать способы и технологии для водоподготовки [1].

Одним из недостатков известных способов и технологий является отсутствие дешевого и эффективного средства для оперативного контроля состава воды на протоке. Все известные способы анализа воды – химические, физические и их комбинации [2] предполагают наличие специальной аппаратуры и обученного персонала. При этом собственно сам анализ, как правило, производится в статических (лабораторных) условиях и занимает много времени [2].

Постановка задачи

Определение физического и химического состава воды в режиме реального времени (на протоке), является важной задачей, определяющей технико-экономические показатели систем теплоснабжения.

Анализ исследований и публикаций

В настоящее время известно достаточно большое количество методов и устройств, для определения химического и физического состава воды. Достоинства и недостатки известных методов были рассмотрены авторами ранее [3]. К ним, в частности, относятся:

- дороговизна оборудования (и связанные с этим большие эксплуатационные затраты);
- потребность в высококвалифицированном персонале;
- статический режим измерения.

- зависимость точности результатов от качества реагентов, точности приготовления растворов и субъективных факторов;
- наличие в пробе посторонних химических соединений (в частности - восстановителей).

С точки зрения анализа состава воды на протоке наиболее подходящими являются способы и устройства, рассмотренные в [4-7]. В указанных работах используется зависимость такого показателя воды, как электрическая проводимость, от частоты приложенного электрического и/или магнитного поля.

Однако следует отметить, что эти способы позволяют определить проводимость водной среды без анализа качественного и количественного состава примесей.

Изложение материала и результаты

Известно, что диэлектрическая проницаемость и проводимость водных растворов зависит от концентрации растворенных солей [3]. Качественные кривые таких зависимостей приведены на рисунке 1.

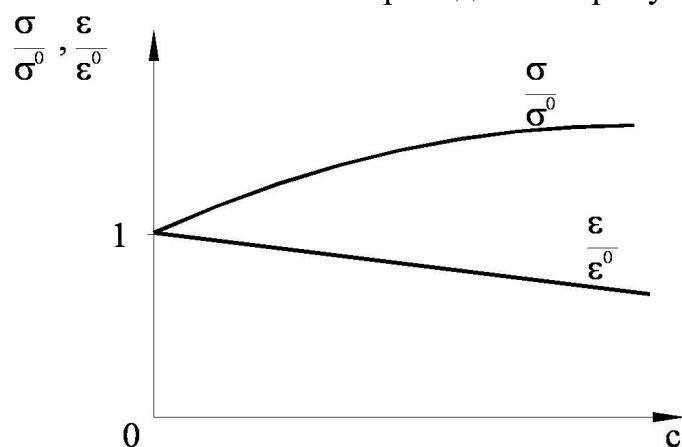


Рисунок 1 – Зависимости относительных проводимости и диэлектрической проницаемости от концентрации солей, растворенных в воде

Здесь σ , ϵ – текущие проводимость и диэлектрическая проницаемость раствора, σ^0 , ϵ^0 – проводимость и диэлектрическая проницаемость дистиллированной воды, c – концентрация раствора.

Известно, что диэлектрическая проницаемость и проводимость воды, обработанной электромагнитным полем, изменяются [3].

Поэтому количество энергии, которая поглощается водным раствором, также будет изменяться в зависимости от концентрации c . Чем больше будет проводимость, тем больше будут потери энергии.

Этот факт можно использовать для оценки концентрации солей, растворенных в воде. Для измерений можно использовать схему LC-генератора Хартли, приведенную на рисунке 2.

Схема представляет собой генератор с самовозбуждением. Круговая частота колебаний в контуре:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R_e^2}{4 \cdot L^2}}, \quad (1)$$

где ω - круговая частота, $\text{рад}\cdot\text{s}^{-1}$;

L – индуктивность контура, Г;

C – емкость контура, Ф;

R_e – сопротивление, отражающее эквивалентные потери, Ом.

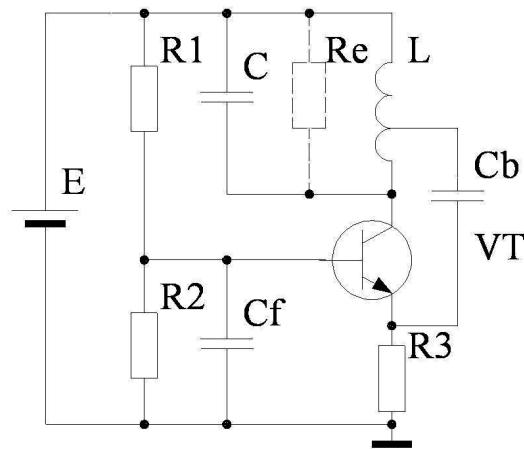


Рисунок 2 - Генератор Хартли

Практическая реализация генератора для измерения концентрации солей, растворенных в воде, приведена на рисунке 3.

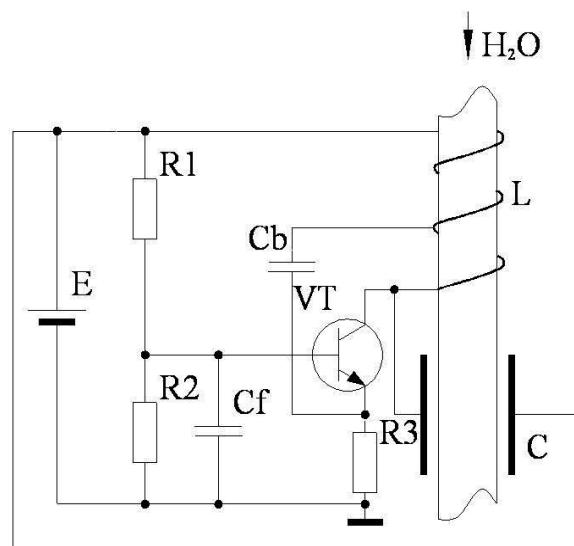


Рисунок 3 – Реализация измерительного генератора

Катушка L представляет собой несколько витков, навитых на трубу из пластика, через которую протекает вода. Емкость C образована пластиинами, наклеенными на эту же трубу. Так как диэлектрическая проницаемость воды много выше, чем диэлектрическая проницаемость пластика, влиянием последнего на емкость можно пренебречь.

Допустим, вода не содержит примесей в виде ферромагнетиков. Тогда магнитная проницаемость водного раствора близка к единице, и можно принять $L = \text{const}$. В тоже время емкость $C = f_1(c)$ и $R_e = f_2(c)$, где c – концентрация солей, растворенных в воде. Поэтому формулу (1) можно переписать так:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C(c)} - \frac{R_e(c)^2}{4 \cdot L^2}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R_e(c)^2 C(c)}{4 \cdot L}}, \quad (2)$$

где ω_0 – круговая частота колебаний для дистиллированной воды.

Величина $R_e(c)^2 C(c)/4L$ в формуле (2) есть ни что иное, как обратность колебательного контура ρ_e . При выборе ρ_e в пределах одного порядка даже небольшое отклонение концентрации солей будет приводить к заметному изменению частоты колебаний в генераторе. На рисунке 4 R_e^0 и f^0 соответствуют дистиллированной воде.

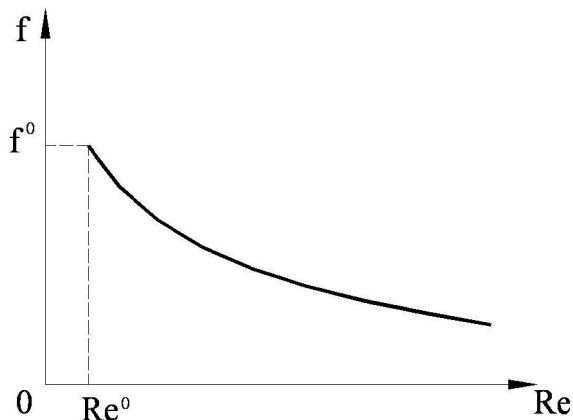


Рисунок 4 – Зависимость частоты генерации от эквивалентного сопротивления

При наличии в воде примесей различного типа: ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников, диамагнетиков-диэлектриков, формулу (2) следует уточнить:

$$\omega = \sqrt{\frac{l_L \cdot \Delta_C}{\mu(c1) \cdot \mu_0 \cdot S_L \cdot \epsilon_r(c3) \cdot \epsilon_0 \cdot S_C} - \frac{R_e(c1+c2)^2 \cdot l_L^2}{4 \cdot \mu(c1) \cdot \mu_0 \cdot S_L}}, \quad (3)$$

где $c1, c2, c3$ – соответственно концентрации примесей ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников и диамагнетиков-диэлектриков;

$\mu(c1)$ – магнитная проницаемость водного раствора, как функция от концентрации ферромагнетиков-проводников;

μ_0, ϵ_0 – соответственно магнитная и диэлектрическая постоянные;

S_L, S_C – соответственно площадь сечения катушки индуктивности и площадь пластин конденсатора;

l_L, Δ_C – соответственно длина катушки индуктивности и расстояние между пластинами конденсатора;

$\epsilon_r(c3)$ – диэлектрическая проницаемость водного раствора, как функция от концентрации диамагнетиков-диэлектриков;

$R_e(c1+c2)$ – величина, обратная проводимости водного раствора, как функция от концентрации ферромагнетиков-проводников и диамагнетиков-проводников.

Таким образом, из (3) следует, что изменение концентраций различных примесей приведет к отклонению частоты генерации автогенератора. Изменяя частоту в широких пределах (например, за счет подключения к пластинам дополнительного конденсатора), можно выявить наличие в воде различных примесей – ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников, а также рассчитать их концентрацию.

Выводы и направления дальнейших исследований

В большинстве случаев, измерения желательно проводить на протоке, так как свойства воды изменяются постоянно. Кроме того желательно, чтобы затраты на проведение анализа и водоподготовки были минимальными, а оборудование – простым и надежным. Особенно важны эти требования для небольших предприятий, так как точный и дешевый анализ позволит сэкономить средства за счет снижения затрат на водоподготовку.

Рассмотренный в статье метод измерения количественного и качественного состава примесей позволяет выявить наличие в воде различных примесей, а также рассчитать их концентрацию.

В дальнейшем необходимо разработать методику вычисления точного количественного состава примесей в воде. Для этого следует исследовать влияние конкретных примесей: Na, Cu, Mg, Fe, Ca, нитратов, нитритов и пр. на изменение частоты колебаний автогенератора.

В статье рассмотрен подход к анализу воды, которая используется для питания теплоэнергетических установок с использованием таких электрических параметров, как диэлектрическая постоянная и проводимость.

In the article approach is considered an analysis of water, which is used for providing supply warmth energy installation with use such electric parameter, as dielectric constant and conductivity.

Библиографический список.

1. Л.А. Кульский *Основы химии и технологии воды.* – К.: Наукова думка 1991. – 566с.
2. Бизянов Е.Е., Погорелов Р.Н., асс. Бойко Н.З. *Метод измерения параметров воды системы теплоснабжения*
3. Классен В.И. *Омагничивание водных систем.* – М.: Химия, 1978. – 240 с., ил.
4. Электронно-технические измерения при физико-химических исследованиях. Ветров В.В. и др. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979, 272 с., ил.
5. А.с. СССР № 1677665 G01R 27/22. Устройство для измерения электропроводности морской воды.
6. А.с. СССР № 587414 G01R 27/22. Устройство для измерения электропроводности жидкости.
7. А.с. СССР № 464869 G01R 27/22. Способ измерения электропроводности среды.