

Измерение концентрации веществ в водных растворах

А.М. Ершов¹, А.А. Маслов², А.С. Совлуков^{2,3}, В.Я. Фатеев³,
В.В. Яценко²

¹ Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых производств

² Политехнический факультет МГТУ, кафедра автоматике и вычислительной техники

³ Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

Аннотация. Рассмотрены вопросы разработки и применения радиочастотного резонаторного датчика концентрации для измерения содержания в воде различных технологических жидкостей. Приведены результаты экспериментов по определению концентрации уксусной кислоты и некоторых копильных жидкостей в водных растворах с применением предлагаемого датчика.

Abstract. The design and application of the radiofrequency (RF) resonant concentration sensor for content measurement of various technological liquids in water have been considered. Results of the suggested RF sensor-based experiments for the content determination of vinegar as well as some smoking fluids in water have been presented.

1. Введение

При производстве рыбной продукции и мясных изделий все большее применение находят копильные препараты как для бездымного копчения рыбы, колбасных изделий, так и в качестве ароматизаторов для различных соусов, заливок, полуфабрикатов.

Непрерывное получение и использование информации о составе копильных препаратов необходимо для автоматического управления и регулирования с целью получения конечного продукта более высокого качества, уменьшения производственных затрат, а также в научных экспериментальных исследованиях для автоматического измерения концентрации веществ в растворах.

Известны различные устройства для определения физических свойств жидкостей, основанные на измерении электрофизических параметров (диэлектрической проницаемости или/и тангенса угла диэлектрических потерь) с применением радиоволновых высокочастотных (ВЧ) – радиочастотных – и сверхвысокочастотных (СВЧ) резонаторов, содержащих контролируемую жидкость (Викторов и др., 1978; 1989; Рогов и др., 1981; Хинтель, 1959). Недостатком таких измерительных устройств является их ограниченная область применения, обусловленная возможностью контроля жидкостей, являющихся достаточно хорошими диэлектриками: для диэлектрических жидкостей с большими диэлектрическими потерями добротность резонаторов может быть малой величиной и, соответственно, амплитуда информативных сигналов мала для надежной регистрации.

2. Описание устройства для измерения физических свойств жидкости

На кафедре Автоматики и вычислительной техники МГТУ совместно с Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (г. Москва) разработан и изготовлен опытный образец радиочастотного концентратомера, позволяющий определять, в частности, содержание в воде различных технологических жидкостей. Это содержание может быть весьма малым.

Структурная схема рассматриваемого высокочувствительного радиочастотного концентратомера (рис. 1) построена по двухканальному принципу и состоит из двух идентичных измерительных каналов – рабочего и опорного. Каждый из этих каналов содержит чувствительный элемент 1, автогенератор 2, делитель частоты 3, вычитающее устройство 4, индикатор 5. Чувствительный элемент включается в частотоподающую цепь автогенератора и определяет его частоту генерации. Обычно генерируемые частоты лежат в диапазоне 1-100 МГц. С выхода автогенератора высокочастотные колебания поступают на делитель частоты, в котором производится уменьшение (деление) частоты автогенератора до приемлемых значений (10-100 кГц). Затем сигналы обоих каналов поступают на вычитающее устройство. Оно может быть реализовано на базе как цифровых, так и аналоговых схем, соответственно, выходной сигнал вычитающего устройства, являющийся входным сигналом измерительного устройства, может также быть цифровым или аналоговым.

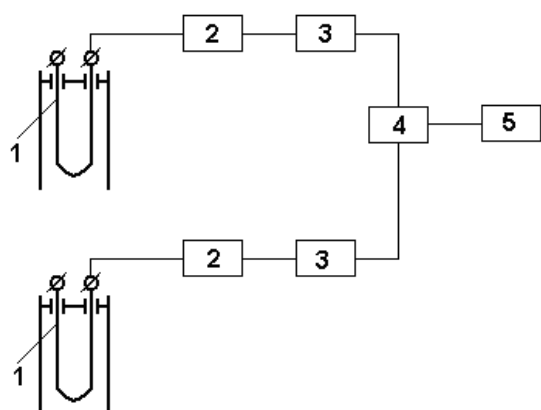


Рис. 1. Структурная схема радиочастотного концентратора

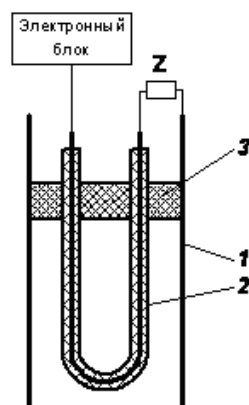


Рис. 2. Измерительный канал с радиочастотным чувствительным элементом

Для решения поставленной задачи была предложена конструкция радиочастотного чувствительного элемента в виде отрезка длинной линии (резонатора) с U-образным внутренним проводником, покрытым диэлектрической оболочкой. Измерительный канал с этим чувствительным элементом и электронным блоком изображен схематически на рис. 2. Рассматриваемый чувствительный элемент состоит из металлического экрана 1, U-образного внутреннего проводника 2, покрытого диэлектрической оболочкой, изолирующей шайбы 3, препятствующей проникновению контролируемой жидкости в нерабочую зону, где находятся элементы электрической схемы автогенератора. Это позволяет предотвратить нарушение работоспособности схемы автогенератора и, тем самым, обеспечить нормальные условия функционирования измерительного устройства. Кроме этого, введение указанной изолирующей шайбы обеспечивает получение измерительного объема постоянной, известной величины, что требуется для проведения высокоточных измерений. На конце такого отрезка длинной линии подсоединено реактивное сопротивление Z , в частности, может быть $Z = 0$ (отрезок длинной линии короткозамкнут на этом конце) или $Z = \infty$ (отрезок длинной линии разомкнут на этом конце).

Устройство работает следующим образом. Отрезок длинной линии, образуемый совокупностью внутреннего U-образного проводника и металлического цилиндрического экрана, включен в частотоподающую цепь автогенератора. С применением автогенератора в данном отрезке длинной линии – радиочастотном резонаторе – возбуждают электромагнитные колебания (обычно в мегагерцовом диапазоне частот электромагнитных волн). Частота автогенератора, зависящая функционально от резонансной частоты отрезка длинной линии, служит информативным параметром. При изменении электрофизических свойств контролируемой жидкости происходит изменение резонансной частоты отрезка длинной линии и, соответственно, изменение частоты автогенератора. Измеряя ее, можно найти текущее значение определяемого физического свойства (концентрации) контролируемой жидкости.

Выбор указанной конструкции чувствительного элемента обусловлен тем, что в качестве U-образного внутреннего проводника можно применять стандартные провода с электрической изоляцией, не прибегая к специальным мерам по герметизации концевых участков этих проводов.

3. Проведение эксперимента

На кафедре Автоматики и вычислительной техники МГТУ разработан и создан опытный образец концентратора с цифровой индикацией, который был использован для проведения экспериментов.

В ходе исследований было проведено изучение влияния диэлектрической проницаемости технологических жидкостей на частоту автогенератора, в частотоподающую цепь которого включен отрезок длинной линии с U-образным внутренним проводником, помещаемый в исследуемую жидкость. Информативными параметрами являлись частота f автогенератора, определяемая собственной (резонансной) частотой электромагнитных колебаний f_p данного отрезка длинной линии, а также показания индикатора, соответствующие разности между значениями частоты f для опорного и измерительного каналов. В данном приборе в качестве индикатора используется цифровой вольтметр, поэтому разность частот преобразуется в напряжение (измеряемое в вольтах, В), для измерения частоты автогенератора использовался частотомер (частотомер электронный счетный ЧЗ-34), который подключался к выходу автогенератора рабочего канала.

В качестве объектов исследований были выбраны водные растворы уксусной кислоты, так как из органических кислот – уксусная кислота в наибольшем количестве присутствует в составе копильного

дыма. Растворы подготовлены сотрудником кафедры "Технологии пищевых производств" Барышниковым А.В.

Исходной точкой для исследований был эксперимент, в котором датчики рабочего и опорного каналов помещались в кюветы с питьевой водой, предоставленной Мурманским водоканалом. В данном эксперименте начальная (в отсутствие уксусной кислоты) частота f составила 8.468 МГц. Индикатор показывал 3.08 В.

На рис. 3а представлена зависимость частоты автогенератора измерительного канала от концентрации уксусной кислоты в водном растворе. Приведенная кривая показывает однозначную зависимость между концентрацией уксусной кислоты в водном растворе и частотой автогенератора. При изменении концентрации кислоты от 0 % до 10 % частота автогенератора изменяется на 4.27 %.

На рис. 3б показана зависимость показаний индикатора от концентрации уксусной кислоты в водном растворе. Совпадение по форме кривых, представленных на рис. 3а и 3б, позволяет сделать вывод о правильной работе преобразующей части прибора.

В дальнейших исследованиях использовались коптильные препараты "Жидкий дым" (кислотность 1.74 %, фенол – 0.018 %, карбонилы – 0.3 %) и "Сквама" (кислотность 0.36 %, фенол – 0.007 %, карбонилы – 0.047 %), полученные на кафедре "Технологии пищевых производств" МГТУ.

В случае, когда датчик рабочего (измерительного) канала помещался в пробирку с "Жидким дымом", f составила 8.175 МГц, а в пробирку с коптильным препаратом "Сквама" – $f = 8.277$ МГц. В обоих случаях датчик опорного канала находился в воде.

Эксперименты с коптильными жидкостями позволяют сделать вывод о существующей зависимости между частотой автогенератора и составом коптильной жидкости. Однако необходимы дополнительные исследования влияния составляющих исследуемых жидкостей на показания прибора.

Дальнейшая работа будет направлена на теоретическое обоснование полученных зависимостей.

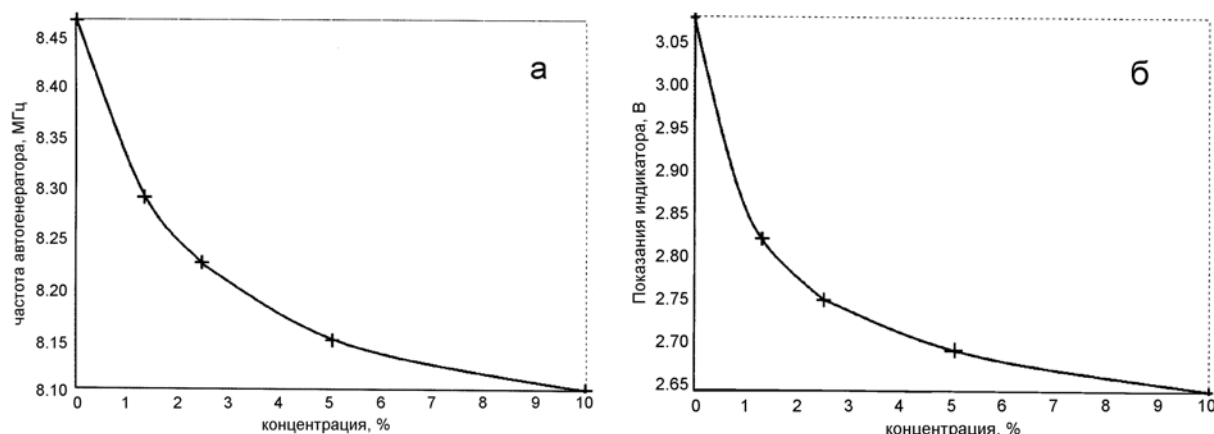


Рис. 3. Зависимость частоты автогенератора измерительного канала (а) и показаний индикатора (б) от концентрации уксусной кислоты в водном растворе

4. Выводы

1) Применение в качестве исследуемой жидкости водного раствора уксусной кислоты позволило сделать вывод об успешной применимости данного радиочастотного устройства для концентратометрии жидкостей.

2) Эксперименты подтвердили возможность эффективного использования рассматриваемого устройства для измерения концентраций веществ, входящих в состав коптильных препаратов.

Литература

- Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин. М., Наука, 280 с., 1978.
- Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. М., Энергоатомиздат, 208 с., 1989.
- Рогов И.А., Адаменко В.Я., Некрутман С.В. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов. Справочник. Под ред. Рогова И.А. М., Легкая промышленность, 288 с., 1981.
- Хиппель А.Р. Диэлектрики и их применение. Пер. с англ. М.-Л., Госэнергоиздат, 336 с., 1959.