

Ю.Е. Марковский, А.А. Зори

Донецкий Национальный Технический Университет, г. Донецк
кафедра электронной техники

E-mail: y.markovskyy@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА
КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЖИДКИХ СМЕСЕЙ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
ОРГАНИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Аннотация

Марковский Ю.Е., Зори А.А. Применение радиочастотного метода для анализа компонентного состава жидких смесей и водных растворов органических диэлектриков. Показана возможность расширения области применения радиочастотного метода для анализа компонентного состава жидких смесей и водных растворов органических диэлектриков. Полученные в статье результаты позволяют сделать вывод об универсальности разработанного ранее радиочастотного метода определения общей минерализации компонентного состава растворов.

Ключевые слова: радиочастотные характеристики растворов, компонентный состав растворов, жидкие органические диэлектрики.

Введение и постановка задачи исследований.

Известные методы определения общего соледержания водных растворов, основанные на определении удельной электропроводности, не позволяют провести корректное определение компонентного состава раствора. Более того, данный метод не применим к анализу многокомпонентных электролитов, поскольку результат анализа представляет собой некую эффективную величину концентрации соли в пересчете на NaCl. Применение таких методов для анализа *принципиально иного класса растворов*, таких как растворов диэлектриков, как органических, так и водных, или растворов, содержащих слабо диссоциированные соединения, принципиально невозможно. Поэтому проведенные исследования посвящены использованию разработанного ранее радиочастотного метода определения концентрации растворов [1] для анализа смесей и растворов органических диэлектриков.

Решение поставленной задачи.

В работах [1-3] были описаны разработанные метод, прибор и методика определения соледержания и компонентного состава сложных водных электролитов с использованием их радиочастотных характеристик, позволяющие проводить относительно точный экспресс-анализ таких электролитов; при этом погрешность определения общей минерализации и жесткости указанных электролитов не превышает 2%; погрешность определения примерного состава электролитов приемлема для экспресс-анализа и составляет порядка 20%. Определение концентрации растворов, содержащих органические диэлектрики, производится аналогично методу, описанному в работе [2], однако в этом случае вместо значений расчетной резонансной частоты [3] используются значения кажущейся диэлектрической проницаемости. Для таких растворов, учитывая практическое отсутствие в них потерь, связанных с проводимостью, в результате измерений получаем достаточно точное значение диэлектрической проницаемости. При проведении расчетов используют эмпирически определенные зависимости кажущейся диэлектрической проницаемости от концентрации растворенного соединения, которые в большинстве случаев имеют вид простых линейных зависимостей [2] или линейные уравнения, описывающие зависимость

концентрации того или иного диэлектрика от разбавления. Исследования проводились для трех растворов диэлектриков: глицерин-вода, этиловый спирт-вода, глицерин-этиловый спирт. Значения кажущейся диэлектрической проницаемости для различных концентраций указанных растворов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимости кажущейся диэлектрической проницаемости неэлектролитов от их концентраций в водных растворах

Глицерин		Глицерин-Спирт		Спирт	
ε^*_{p-pa}	$c_{гд}, \% \text{ масс}$	ε^*_{p-pa}	$c_{гд}, \% \text{ масс}$	ε^*_{p-pa}	$c_{гд}, \% \text{ масс}$
1	2	3	4	5	6
41,524	100	41,52	100	23	100
45,72659	91,89627	39,87	93,49493	30,02	87,65584
49,66327	84,3053	39,39	87,19276	35,8	77,08331
53,3387	77,21808	38,07	81,11738	41,12	67,97376
56,75966	70,62155	37,08	75,28858	45,46	60,08417
59,93465	64,49933	35,71	69,72195	49,41	53,2206
62,87351	58,83242	34,65	64,42895	52,78	47,22638
71,5078	53,59988	33,92	59,41706	55,84	41,97363
72,42052	48,77941	33,08	54,69006	58,94	37,35694
73,24197	44,34785	32,31	50,24831	60,75	33,28868
73,98127	40,28169	31,6	46,08919	62,7	29,69546
74,64665	36,55739	30,76	42,20744	63,88	26,51534
75,24548	33,15173	30,03	38,59564	66,15	23,69578
75,78443	30,04207	29,45	35,24457	67,64	21,19192
76,26949	27,20652	28,82	32,14359	68,86	18,96524
76,70604	24,62411	28,36	29,28106	70	16,98259
77,09894	22,27488	27,92	26,6446	71,04	15,21523
77,45254	20,13997	27,34	24,22138	71,86	13,63821
77,77079	18,20161	26,58	21,99842	72,72	12,22978
78,05721	16,44321	26,44	19,96274	73,39	10,97092
78,31499	14,84927	26	18,10154	74,03	9,844947
78,54699	13,40542	25,69	16,40238	74,63	8,837186
78,75579	12,09835	25,27	14,85321	75,14	7,934715
78,94371	10,91576	25,13	13,44252	75,56	7,126122
79,11284	9,846365	25,05	12,15937	76,04	6,401311
79,26506	8,879771	24,87	10,9934	76,4	5,751334
79,40205	8,006464	24,67	9,934889	76,69	5,168252
79,52535	7,217742	24,59	8,97473	77,06	4,645007
79,63631	6,505657	24,54	8,104446	77,28	4,175319
79,73618	5,862962	24,36	7,316166	77,49	3,753596
79,82606	5,283058	24,18	6,602607	80	0
79,90696	4,759941	24	5,957049	-	-
79,97976	4,288159	23,85	5,373309	-	-
80,04528	3,862761	23,68	4,845711	-	-
-	-	23,58	4,369054	-	-

Графики зависимостей концентрации указанных растворов от их диэлектрической проницаемости приведены на рис.1 – рис.5.

Глицерин-вода. График зависимости концентрации раствора глицерин-вода от его диэлектрической проницаемости¹ приведен на рис. 1.

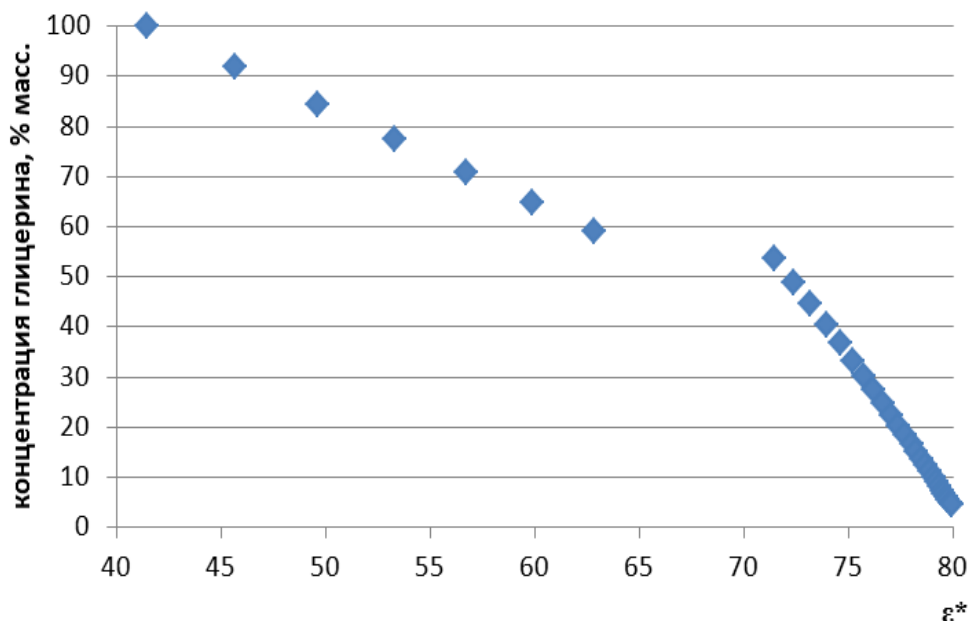


Рисунок 1 – Зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора

Из результатов рис.1 следует, что имеются две области концентраций: 0-54% масс и 55-100% масс., с различным поведением функции, что, вероятно, объясняется природой диэлектрика. Поэтому предложено использовать для каждого диапазона концентраций свою модель определения концентрации раствора по значению кажущейся диэлектрической проницаемости. Зависимости концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора в различных диапазонах концентрации глицерина в растворе приведены на рис. 2. и рис. 3.

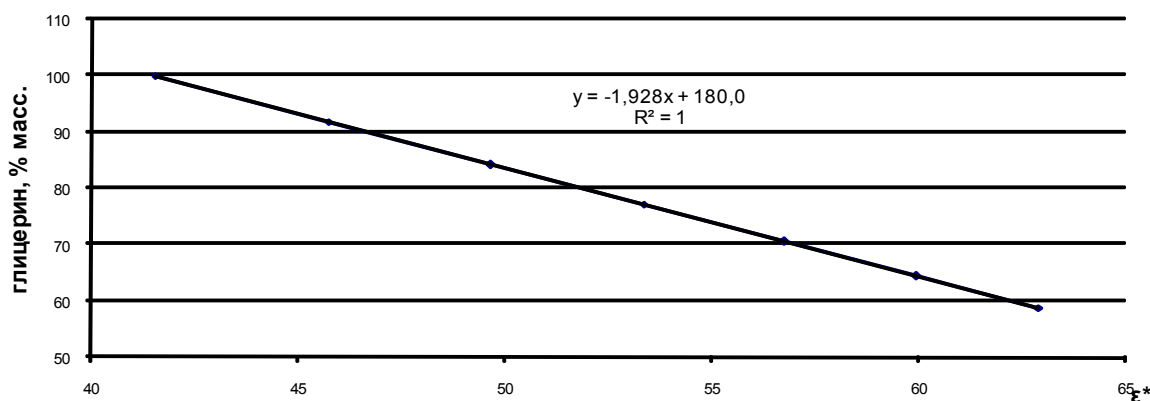


Рисунок 2 – Зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора в области концентраций 55-100% глицерина

¹ Очевидно физически, что кажущаяся диэлектрическая проницаемость является функцией концентрации, т.е. $\epsilon^*(c)$, а не наоборот. Представление данных в виде $c(\epsilon^*)$ выбрано так, что, в соответствии с методикой именно по значению кажущейся диэлектрической проницаемости определяется значение концентрации того или иного раствора неэлектролита.

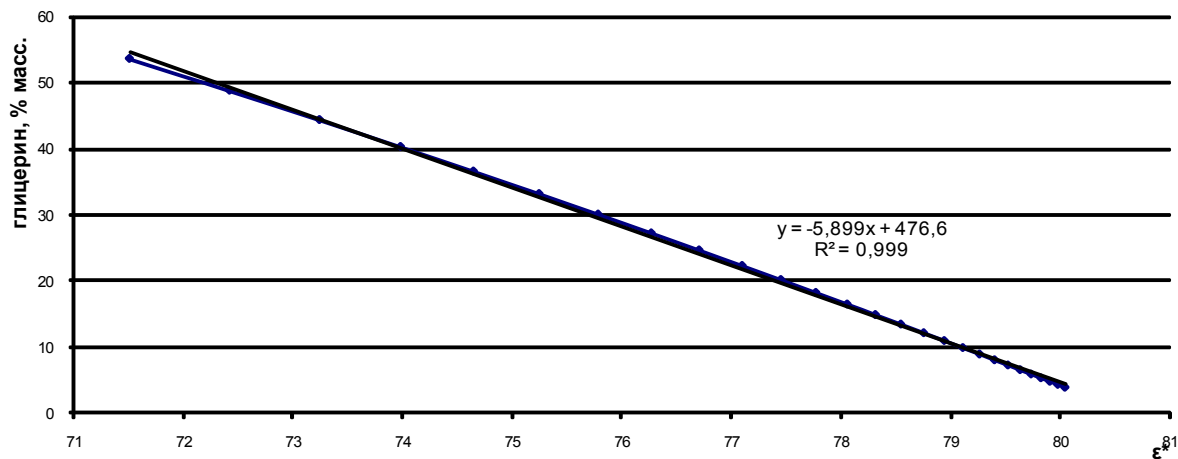


Рисунок 3 – Зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора в области концентраций 0-54% глицерина

Из результатов следует, что для раствора глицерина в воде концентрацию глицерина в диапазоне концентраций от 0 до 54% масс. массовую концентрацию глицерина с точностью до 1% можно рассчитать по уравнению (1)

$$X = -5,9 \varepsilon^* + 476,64, \tag{1}$$

а в диапазоне концентраций от 55 до 100% масс. по уравнению (2)

$$X = -1,93 \varepsilon^* + 180,07, \tag{2}$$

где X – концентрация глицерина в % масс., а ε^* – кажущаяся диэлектрическая проницаемость раствора.

Аналогичное уравнение для нахождения концентрации этилового спирта в его водном растворе имеет вид (3):

$$X = -1,76 \varepsilon^* + 140,36. \tag{3}$$

Графическая зависимость концентрации этилового спирта от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора вода-спирт приведена на рис. 4.

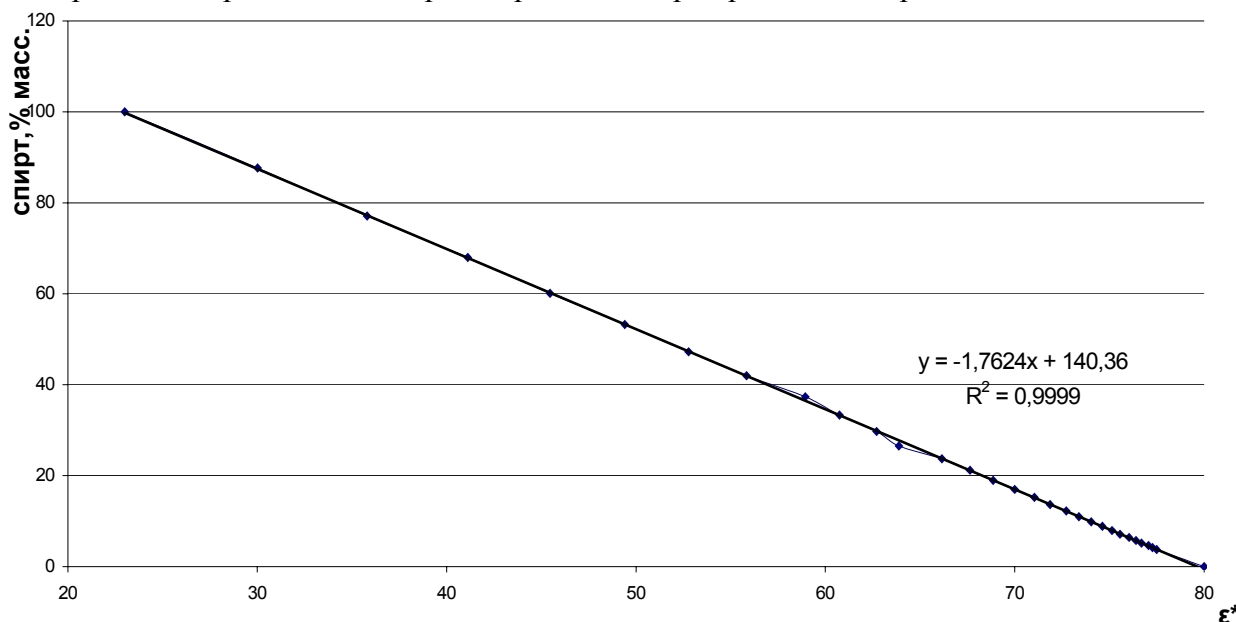


Рисунок 4 – Зависимость концентрации этилового спирта от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора вода-спирт.

Зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора этиловый спирт-глицерин с достаточной точностью описывается уравнением (4):

$$X = 5,34 \varepsilon^* - 121,79. \tag{4}$$

Графическая зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора глицерин-спирт приведен на рис. 5.

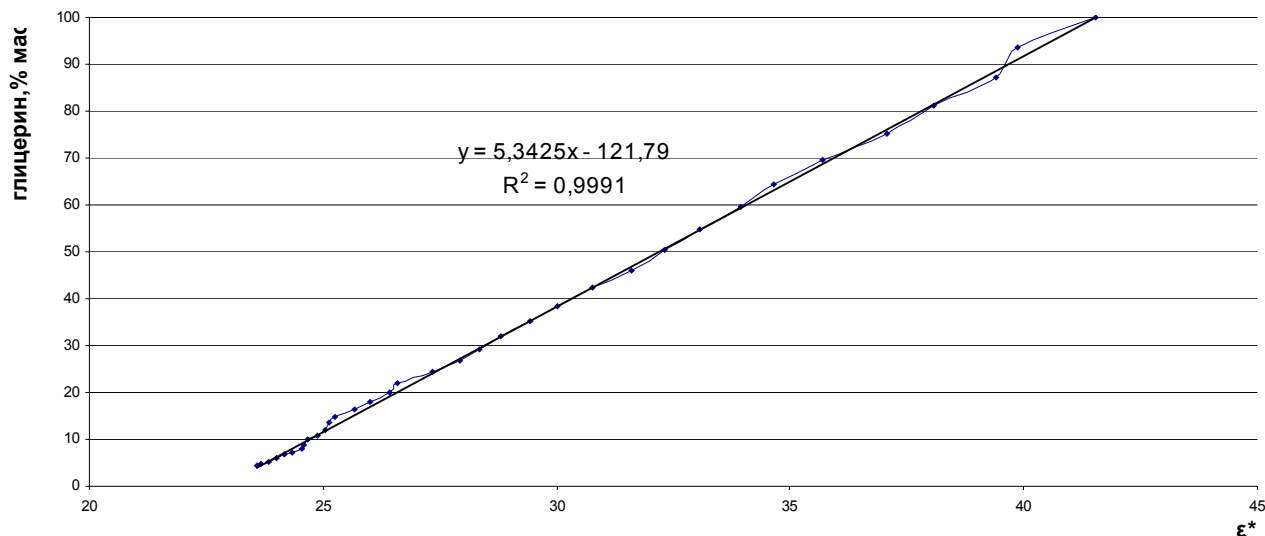


Рисунок 5 – Зависимость концентрации глицерина от кажущейся диэлектрической проницаемости раствора глицерин-спирт

Из результатов проведенных исследований следует, что для растворов, содержащих две известные соли (см. табл. 1), разработанный метод позволяет определять концентрации компонентов, входящих в такие растворы. При этом в соответствии с методикой предложено вначале определить общую концентрацию раствора по измеренному значению резонансной частоты измерительной ячейки с бинарным раствором [1-3], после чего вычислить соотношение отдельных солей в растворе по формулам (5):

$$C1 = (f_{cm} - f1)/(f2 - f1); \tag{5}$$

$$C2 = 1 - C1,$$

где: $C1$ и $C2$ – соответствующие массовые доли солей, находящихся в растворе, а $f1, f2$ и f_{cm} – соответственно резонансные частоты однокомпонентных растворов солей для полученной концентрации и измеренная частота бинарного раствора. Дальнейшее развитие этих работ предполагает провести аналогичные исследования для большего количества растворов диэлектриков. Таким образом, предложено решение проблемы определения общей минерализации для растворов диэлектриков при помощи разработанного ранее радиочастотного метода определения общей минерализации [2, 4] с достаточной точностью (погрешность определения концентрации менее 2%. Погрешность определения приблизительного состава раствора не превышает 20%). Следовательно, предложенный метод является более универсальным, чем метод определения минерализации, основанный на измерении удельной электропроводности [5, 6], что позволило помимо определения общей минерализации (как электролитов, так и неэлектролитов), определять концентрации и состав как индивидуальных, так и многокомпонентных растворов.

Выводы. Показана возможность применения радиочастотного метода определения концентрации и компонентного состава водных растворов для анализа такого специфического класса жидкостей, как растворы и смеси жидких органических

диелектриков. Погрешность определения концентрации при этом составляет порядка 2%, а погрешность определения приблизительного состава растворов не превышает 20%, как и в случае проводящих жидкостей. Результаты, полученные в работе, позволяют говорить о расширении возможности прибора и методик, ранее разработанных для определения общего солесодержания и компонентного состава водных растворов электролитов.

Литература

1. Марковский Ю.Е. Возможности использования радиочастотных откликов в качестве информационных параметров, характеризующих состав и концентрацию водных растворов электролитов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк. – 2005. С. 132-137. – (Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація; Вип. 88).
2. Марковский Ю.Е., Экспресс-метод определения общей минерализации питьевой воды // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк, 2006. – С.136-143. – (Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація; Вип. 107).
3. Марковский Ю.Е. Зори А.А. Учет и компенсация влияния внешних дестабилизирующих факторов на радиочастотные характеристики питьевой воды // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк. – 2008. С. 188-194. –(Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація; Вип. 15 (130)).
4. Марковский Ю.Е. Усовершенствованный радиочастотный экспресс-метод определения параметров качества питьевой воды // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк. – 2007. С.215-220. – (Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація; Вип.12(118)).
5. Применение измерения электропроводности для характеристики химического состава природных вод/ Н.И. Воробьев. – М.: 1963. – 144 с.
6. Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред. А.А. Зори, В.Д. Коренев, М.Г. Хламов. – Донецк: РИА ДонГТУ, 2000. – 388с.: ил.

Abstract

Markovskyy Y.E., Zori A.A. Use of RF-method for the analysis of component composition of solutions and mixtures of liquid organic dielectrics. Enhancement of use of RF-method of determination of component composition of aqueous salt solutions for the analysis of solutions and mixtures of liquid organic dielectrics is shown. Results obtained in this article allow to draw a conclusion about universality of previously developed techniques for determining the TDS and component composition of aqueous solutions of electrolytes.

Keywords: *rf-characteristics of solutions, component composition, liquid organic dielectrics.*

Анотація

Марковський Ю.Є., Зорі А.А. Використання радіочастотного методу для аналізу компонентного складу рідких сумішей і водяних розчинів органічних діелектриків. Доведено можливість розширення області застосування радіочастотного методу для аналізу компонентного складу рідких сумішей і водяних розчинів органічних діелектриків. Отримані у статті результати дозволяють прийти до висновку про універсальність раніше розробленого радіочастотного методу визначення загальної мінералізації та компонентного складу розчинів.

Ключові слова: *радіочастотні характеристики розчинів, компонентний склад розчинів, рідкі органічні діелектрики.*

Здано в редакцію:
10.04.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н., проф., Чичикало Н.І.