

НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 543.08: 543.61

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ТА ЄМНОСТІ РОЗЧИНІВ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

*Сільвестров А.М., Гришко В.Ф., Кудин Ю.П., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Описані основні концепції визначення фізико-хімічних параметрів рідини та проблеми, які при цьому виникають. Звернено увагу на необхідність комбінувати різні методи для визначення параметрів розчинів з діелектричними властивостями. Особлива увага приділена опису і обґрунтуванню запропонованого методу вимірювання ємності та опору рідини

Вступ

Підвищення якості продукції, зниження її собівартості неможливе без вдосконалення засобів виробництва. Важливу роль у будь-якій автоматичній або автоматизованій системі відіграють датчики, які дозволяють вимірювати параметри технологічного процесу. Саме створення принципово нових методів та засобів вимірювання є одним з найважливіших напрямків в розробці сучасного обладнання.

В багатьох галузях промисловості (цукрова, нафтопереробна та ін.) постає проблема визначення складу рідин з діелектричними властивостями. На сьогодні розроблено велику кількість методів вимірювання для визначення цих властивостей, але всі ці методи мають суттєві недоліки, вони або складні, або мають недостатню точність [1].

Постановка задачі

Потрібний простий, точний та швидкий метод для визначення ємності та опору рідини, на основі якого можна було б створити недорогі пристрої для різноманітних цілей.

Для дослідження фізико-хімічних властивостей рідин, контролю технологічних параметрів переробки рідких продуктів широко використовують імпедансні методи вимірювання, оскільки електропровідність (ЕП) κ і діелектрична проникність (ДП) ε є фундаментальними характеристиками речовини.

У рідких продуктах з діелектричними властивостями присутні зв'язані і вільні електричні заряди, електричні і магнітні диполі, поляризовані під впливом електричного поля і дісоційовані молекули, аніонні і катіонні утворення, що мають різну рухливість у електричних полях. Усі ці компоненти відрізняються за своїми властивостями і за їх поведінкою у змінних електричних і магнітних

полях, що призводить до складних та нелінійних залежностей параметрів вимірюваної комірки від частот та напруги.

Залежно від виду збуджуючих чинників та характеру їх взаємодії з діелектричною рідиною використовують наступні методи вимірювань параметрів рідин:

- вимірювання тангенсу кута втрат досліджуваної рідини $\operatorname{tg} \delta$;
- вимірювання діелектричної проникності ϵ ;
- вимірювання провідності рідини κ .

Найбільш повну інформацію про досліджувану рідину можна отримати комбінуючи ці методи.

Тангенс кута втрат $\operatorname{tg} \delta$ визначають відношенням струму провідності κ до струму зсуву $\omega \epsilon \epsilon_0$ в речовині [2]:

$$\operatorname{tg} \delta = \kappa / \omega \epsilon \epsilon_0 = 1 / \omega C_1 R_1, \quad (1)$$

де ω – кругова частота ($\omega = 2\pi F$, F – частота, Гц), ϵ_0 – абсолютна ДП вакууму ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), C_1 – електрична ємність і R_1 – електричний опір розчину.

Рівняння (1) свідчить про умовність розподілу речовин на провідники ($\operatorname{tg} \delta > 1$) і діелектрики ($\operatorname{tg} \delta < 1$), оскільки значення тангенсу кута втрат залежить не тільки від ЕП і ДП речовини, але є також функцією частоти електромагнітного поля.

Вирішення поставленої проблеми

Процедура вимірювання ЕП і ДП розчинів електролітів пов'язана з значними труднощами, обумовленими не тільки складним апаратним оформленням, але викликаними також необхідністю коректного трактування і інтерпретації одержаних результатів. Останнє викликане необхідністю врахування внеску ЕП при визначенні ДП провідних розчинів.

З другого боку, при вимірюваннях ЕП розчинів слід враховувати внесок ДП у вимірювану величину. Визначення цих чинників може бути проведене на основі вимірювальної комірки з розчином, на вхід якої через обмежувальний резистор R_0 подається змінний у часі сигнал $U_1(t)$ [3].

Еквівалентна електрична схема такої вимірювальної комірки наведена на рис. 1. Вважається, що конструкція діелектричної комірки забезпечує мінімальний вплив її параметрів на результати вимірювання ЕП та ДП розчинів.

Як показали експериментальні дослідження, ЕП та ДП більшості нафтопродуктів і цукрових розчинів на порядок відрізняються від відповідних параметрів діелектричної комірки без розчинів.

Сигнал $U_1(t)$ доцільно формувати, наприклад, за допомогою цифро-аналогового перетворювача, який забезпечує необхідні зміни частоти і амплітуди вимірювального сигналу.

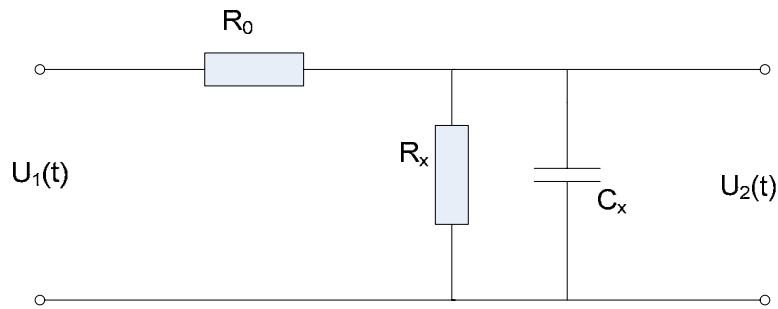


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема вимірювальної комірки

Елементи R_x і C_x діелектричної комірки можуть бути визначенні за наступним алгоритмом.

Дано: $U_1(t)$ - меандр з амплітудою $0; +4B$, R_0

Треба знайти R_x і C_x по вимірам $U_2(t_k)$.

Струм у ланцюзі визначається формулою:

$$i_c = C \frac{dU_2}{dt}$$

Скористаємося перетворенням Лапласа:

$$I_c(s) = sC U_2(s) - C U_2(0). \quad (2)$$

Часова залежність вхідного $U_1(t)$ і вихідного $U_2(t)$ наведена на рис.2, $U_2(t)$ вимірюється у точках t_k , $k=1\dots6$.

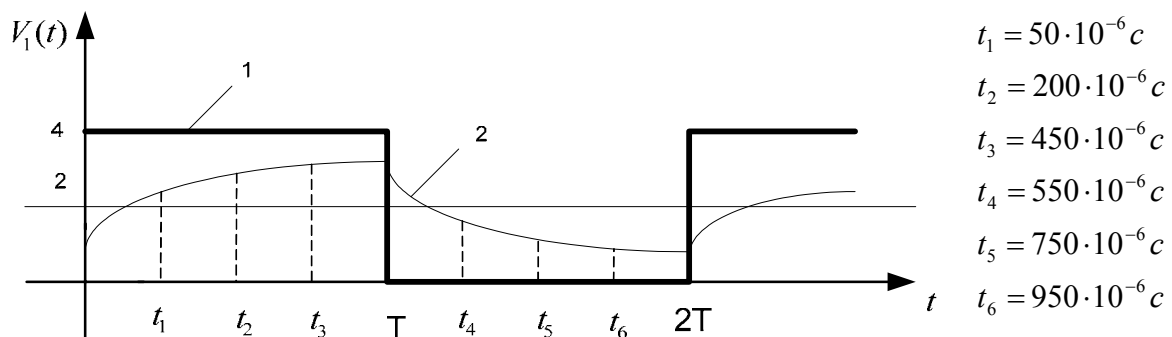


Рис. 2. Часова залежність вхідного і вихідного сигналів.

Схема заміщення ємності у просторі змінних Лапласа наведена на рис.3.

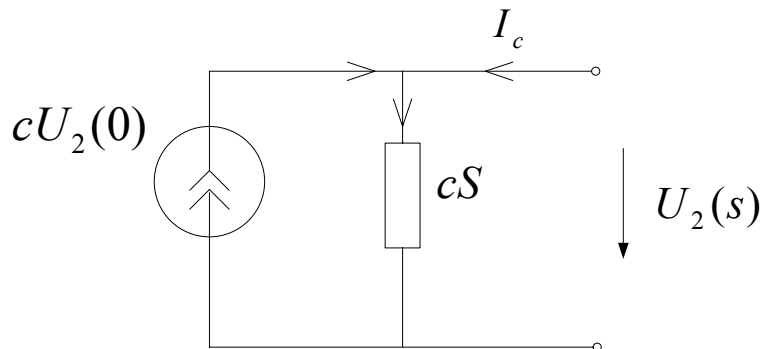


Рис. 3. Схема заміщення ємності з джерелом струму

Рівняння (1) запишемо у вигляді

$$U_2(s) = \frac{1}{sc} I_c(s) + \frac{U_2(0)}{s}, \quad (3)$$

тоді маємо еквівалентну схему, наведену на рис.4.

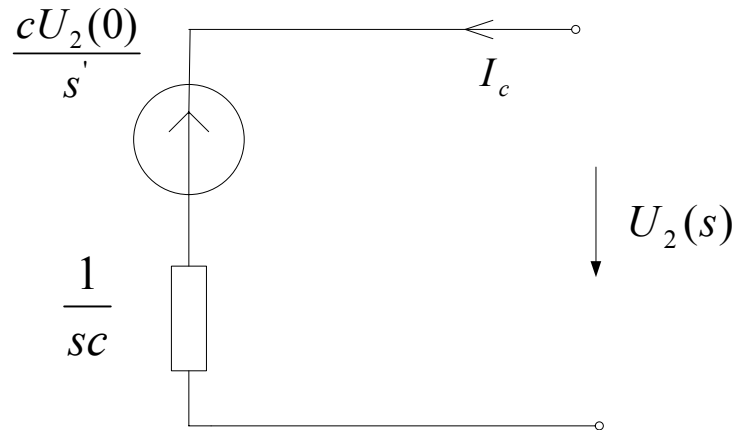


Рис. 4. Схема заміщення ємності з джерелом напруги

Повна еквівалентна схема діелектрометричної комірки матиме вигляд, наведений на рис.5:

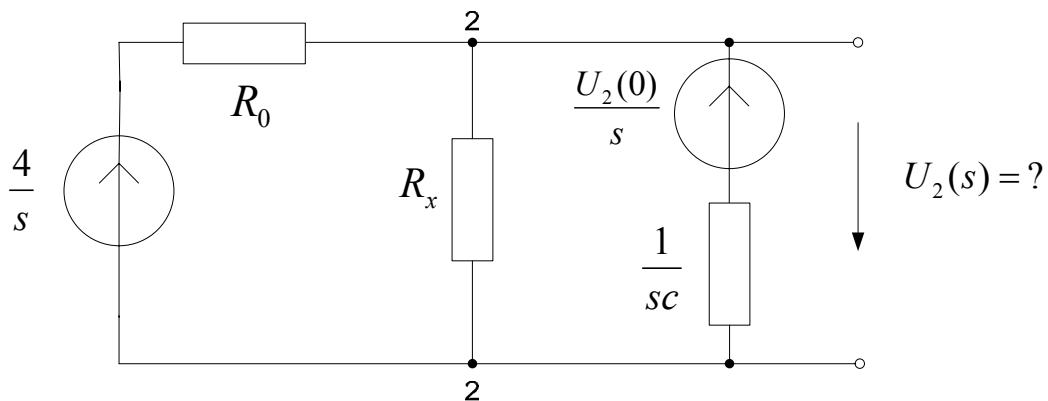


Рис. 5. Повна еквівалентна схема діелектрометричної комірки

Знайдемо $U_2(s)$ за методом двох вузлів:

$$U_s(s) = U_{21}(s) = \varphi_2(s) \Big|_{\varphi_1(s)=0}$$

$$\varphi_2(s) \cdot [G_0 + G_x + sc] = \frac{4}{s} \cdot G_0 + \frac{U_2(0)}{s} \cdot sc. \quad (4)$$

З рівняння (4) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 U_2(s) &= \frac{\frac{4}{s} \cdot G_0}{G_0 + G_x + sc} + \frac{\frac{U_2(0)}{s} \cdot sc}{G_0 + G_x + sc} = \frac{4}{s(1 + \frac{G_x}{G_0} + \frac{sC_x}{G_0})} + \frac{C_x U_2(0) \frac{1}{G_0}}{1 + \frac{G_x}{G_0} + \frac{sC_x}{G_0}} = \\
 &= \frac{\frac{4}{(1 + \frac{G_x}{G_0})}}{s(1 + \tau_x s)} + \frac{\frac{U_2(0) \cdot C_x \frac{1}{G_0}}{1 + \frac{G_x}{G_0}}}{s(1 + \tau_x s)} = \frac{k \cdot 4}{s(\tau_x s + 1)} + \frac{U_2(0) \cdot \frac{C_x}{G_0 + G_x}}{1 + \tau_x s},
 \end{aligned} \tag{5}$$

де $K = \frac{C_x}{G_0 + G_x}$; 4 – амплітуда $U_{1,B}$; $\tau_x = \frac{\frac{C_x}{G_0}}{1 + \frac{C_x}{G_0}} = \frac{C_x}{G_0 + G_x}$.

З рівняння (5), знайшовши K і τ_x , знайдемо шукані R_x і C_x

$$\begin{aligned}
 R_x &= R_0 \frac{K}{1 - K}; \\
 C_x &= \tau_x \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_x} \right).
 \end{aligned}$$

Перехід від рівняння (5) до оригіналу за другою теоремою розкладання Лапласа:

$$U_2(t) = 4 \cdot K (1 - e^{-\frac{t}{\tau_x}}) + U_2(0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_x}}. \tag{6}$$

Рішення рівняння (6) має три невідомих:

$$K, \tau_x, U_2(0)$$

Перепишемо рівняння (6) у вигляді:

$$U_2(t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot e^{\beta_2 t}, \tag{7}$$

де $\beta_0 = 4K$; $\beta_1 = (U_2(0) - 4K)$; $\beta_2 = -\frac{1}{\tau_x}$.

Для трьох точок t_1, t_2, t_3 маємо систему із трьох нелінійних рівнянь (7) з трьома невідомими. Аналогічно для трьох точок t_k на другому інтервалі $(t_4^{-T}, t_5^{-T}, t_6^{-T})$ маємо рівняння:

$$U_2(t_K) = \beta_0 + \alpha_1 e^{\beta_2(t_K - T)}. \tag{8}$$

Рівняння (8) подібне до рівняння (7) але, можливо, з іншими коефіцієнтами. Тобто в загальному випадку $\alpha_1 \neq \beta_1$ внаслідок іншого значення $U_2(0)$. Тоді як β_0 і β_1 повинні співпадати.

Для визначення невідомих $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \alpha$ скористаємося градієнтною процедурою поточного оцінювання.

Запишемо функціонал:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 (U_2(t_k) - \beta_0 - \beta_1 e^{\beta_2(t_k - T)})^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=4}^6 (U_2(t_k) - \beta_0 - \alpha_1 e^{\beta_2(t_k - T)})^2. \quad (9)$$

При цьому для $\beta_0(i+1), \beta_2(i+1)$ попередні значення $\beta_0(i), \beta_2(i)$ беремо безпосередньо з i -ї ітерації, в той час як для $\beta_1(i+1), \alpha_1(i+1)$ попередні значення беремо окремо для інтервалу з додатнім і з від'ємним приростом $U_1(t)$

$$\beta_0(i+1) = \beta_0(i) + \lambda_0 \frac{\partial J(i)}{\partial \beta_0}; \quad (10)$$

$$\beta_1(i+1) = \beta_1(i) + \lambda_1 \frac{\partial J(i)}{\partial \beta_1}; \quad (11)$$

$$\alpha_1(i+1) = \alpha_1(i) + \lambda_1 \frac{\partial J(i)}{\partial \alpha_1}; \quad (12)$$

$$\beta_2(i+1) = \beta_2(i) + \lambda_2 \frac{\partial J(i)}{\partial \beta_2}. \quad (13)$$

В рівнянні (12) i' беремо тільки для ділянок з від'ємним приростом $U_1(t)$. В усіх інших i співпадає з поточними вимірами.

Ефект усереднення досягаємо вибором λ_v , де $v = 0 \dots 2$.

Тоді замість суми беремо поточні виміри:

$$\frac{\partial J(i)}{\partial \beta_0} = [U_2(t_i) - \beta_0(i) - \beta_1(i) e^{\beta_2(i)\tau_i}] \cdot (-1); \quad (14)$$

$$\frac{\partial J(i)}{\partial \beta_1} = [U_2(t_i) - \beta_0(i) - \beta_1(i) e^{\beta_2(i)\tau_i}] \cdot e^{\beta_2(i)\tau_i}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial J(i)}{\partial \alpha_1} = [U_2(t_i) - \beta_0(i) - \alpha_1(i) e^{\beta_2(i)\tau_i}] \cdot e^{\beta_2(i)\tau_i}; \quad (16)$$

$$\frac{\partial J(i)}{\partial \beta_2} = [U_2(t_i) - \beta_0(i) - \beta_1(i) e^{\beta_2(i)\tau_i}] \cdot \tau_i \cdot e^{\beta_2(i)\tau_i} \quad (17)$$

Градiєнти (14) і (17) розраховуємо на всій послідовності $t_k = t_i$, (15) і (16) – циклічно: для плюс і мінус приростів $U_1(t)$. В показниках експоненти завжди беремо i -й приріст часу τ_i відносно моменту переключення $U_1(t)$,

Тобто

$$t_1 = 50 = t_4$$

$$t_2 = 200 = t_5$$

$$t_3 = 450 = t_6$$

За точно розрахованими оцінками $\beta_0(i)$ і $\beta_2(i)$ розраховуємо шукані параметри згідно рівнянню (17):

$$K(i) = \frac{1}{4} \beta_0(i);$$

$$\tau_x(i) = -\frac{1}{\beta_2(i)}.$$

Тоді

$$R_x(i) = R_0 \frac{K(i)}{1 - K(i)};$$

$$C_x(i) = \tau_x(i) \cdot \left[\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_x(i)} \right].$$

При наявності поточного розкиду оцінок можливе додаткове їх згладжування. Наприклад, експоненціальне:

$$\hat{R}_x(i) = \gamma_1 R_x(i) + (1 - \gamma_1) \hat{R}_x(i-1)$$

$$\hat{C}_x(i) = \gamma_2 C_x(i) + (1 - \gamma_2) \hat{C}_x(i-1)$$

Примітка:

Параметри λ_i і γ_j ; $i = 0, 1, 2$; $j = 1, 2$ підбираємо експериментально. При цьому, чим більші λ , тим менші γ і навпаки. Взагалі $\gamma < 1$.

Висновки

Запропоновано алгоритм визначення електричного опору та ємності розчинів, який забезпечує можливість швидкого і надійного визначення параметрів технологічних процесів переробки рідких продуктів з діелектричними властивостями, до яких відносяться цукрові розчини, нафтопродукти та інші органічні з'єднання. Реалізація описаного алгоритму дозволить створити комплекс пристроїв для визначення вмісту сухих речовин та чистоти рідких продуктів з високими метрологічними характеристиками.

Література

1. Аналитическая химия. Аналитика: В 2-х книгах: Книга 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа/ Харитонов Ю.Я. – М.: Высшая школа, 2002. – 559с.
2. Щербаков В.В. Диэлектрические измерения / Электрохимия, 1998, т.34, № 1, с.121-124.
3. Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 224с.

Сильвестров А.М., Гришко В.Ф., Кудин Ю.П. Алгоритм определения электрического сопротивления и ёмкости растворов с диэлектрическими свойствами. В данной статье описываются основные концепции определения физико-химических параметров жидкости, и проблемы, которые при этом возникают. Уделяется внимание необходимости комбинировать разные методы определения параметров растворов с диэлектрическими свойствами. Особенное внимание уделяется описанию и выводу нового метода измерения емкости и сопротивления жидкости.	Silvestrov A.M., Grishko V.F., Kudin Y.P. Finding of electric resistance and capacities of liquids with dielectric properties. Basic conceptions of determination of physical and chemical parameters of liquid, and problems which arise up here, are described in this article. Attention of necessity to combine different methods is spared. The special attention is spared to description and leading to of the new method measuring of capacity and resistance of liquid.
---	---

Надійшла до редакції
4 березня 2007 року

УДК 621.375

ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЛІНІЙНИХ ПРЕЦИЗІЙНИХ НАПРАВЛЯЮЧИХ

Бело́ва А.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” м. Київ, Україна

Робота присвячена розробці методики вимірювання кутових переміщень Pitch та Yaw, які виникають при лінійному переміщенні вздовж осі переміщення лінійних прецизійних направляючих мікроманіпуляторів. При вимірюванні таких переміщень використовували систему на основі автоколіматора, спряженого з телевізійною камерою. Отримані залежності кутових відхилень Pitch та Yaw від величини переміщення для лінійних направляючих мікроманіпуляторів

Вступ

Розвиток сучасного приладобудування неможливий без створення приладів та методик формування та керування рухом у нанопросторі, що вимагає нових методів та підходів до контролю точності переміщень. Так, використання прецизійних лінійних направляючих, наприклад, в оптичних системах при стабілізації периметра лазера, мікроманіпуляційних системах клітинних технологій, в технологічних процесах обробки типових мікромехнічних компонентів, в технологіях фотолітографії тощо, ставить жорсткі умови до точності мікро- та нанопереміщень, які здійснює лінійна направляюча в процесі роботи [1, 2].

Нанопереміщення - це комплексний параметр, до складу якого входять як лінійні, так і кутові переміщення в діапазоні кутових секунд. Отже, критичні вимоги є не тільки до параметрів лінійних переміщень, а й до параметрів супутних кутових переміщень. Кутові переміщення, так звані динамічні захили, – пара-