

Для моделювання обираємо  $U_1 = 1$  та  $U_2 = 0,25$ , відповідно.

Співвідношення відстаней на рис. 4 складає 1:2,5. Можна зробити висновок, що приріст кута зсуву фази для першого (ближчого) відбиття буде теж у 2,5 рази менший за приріст кута зсуву фази другого відбиття.

#### Висновок

Отже існує можливість визначення спектральних складових у сумарному сигналі для багато шкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку.

Тобто, є принципова можливість визначити окремо пошкодження лінії зв'язку, що буде еквівалентно до "квазі-імпульсного" методу дослідження стану лінії з притаманними йому перевагами.

#### Література

1. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник ТУП, Ч.1., Том3, №4, 2004, - С108-114
2. Любчик В.Р., Гнатюк О.І. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів. – Вісник ТУП, №2, 2005 – С.183-188
3. Горященко К.Л. Імпульсно-фазові вимірювання для лінії із двома неоднорідностями // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Збірник наукових праць. – Хмельницький. – 2003. – № 10. – С. 24.
4. Маевский С.М., Батуревич Е.К., Баженов В.Г. Прецизионное измерение электрической длины кабельной линии связи. Фазовые методы измерений в радиотехнике. Тр. РИ АН СССР, 1977, №27, с. 110-114

Надійшла до редакції  
6.11.2009 р.

УДК 621.382

**О.В. ОСАДЧУК, О.С. ЗВЯГІН, М.В.ЄВССЄВА**

Вінницький національний технічний університет

### ЄМНІСНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

Розроблено математичну модель ємнісного сенсора вологості, яка описує залежність електричної ємності від зміни кількості вологості нафтопродукту. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 3 %.

**The mathematical model of the capacitive humidity sensor which describes the dependence of the capacity on the amount of the oil products humidity is developed. Discrepancy between the theoretical and experimental results is 3 %.**

Ключові слова: математична модель, ємнісний сенсор вологості.

Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості, оскільки багато процесів залежать від вологості. На даний час в Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань. Це обумовлено потужним промисловим та науково-технічним потенціалом країни з переважним розвитком таких галузей, як металургія, енергетика, машинобудування, авіаційна та космічна техніка, хімічна та нафтогазова промисловість, ефективність яких значною мірою залежить від точності вимірювань вологості. Тому створення даного класу перетворювачів є актуальною технічною задачею. Широке використання перетворювачів вологості ємнісного типу пояснюється їх простотою у використанні та низькою собівартістю [1-3]. Суттєве значення має вимірювання вологості нафти, масел та нафтопродуктів. Контроль вологості нафти необхідний у процесах її видобування, зберігання, транспортування та переробки [4]. Саме наявність вмісту вологи в нафтопродуктах викликає зміну їх фізико-хімічних параметрів і тим самим зменшує строк їхньої служби.

Ємнісний сенсор для вимірювання вологості нафтопродуктів (рис. 1) являє собою систему електродів, що виконані у вигляді циліндричних пластин різного діаметру та закріплені у діелектричній трубі [5]. Система електродів 1 міцно з'єднана хрестоподібними діелектричними фіксаторами електродів 2 і 3, які прикріплено до діелектричної труби 4. Довжина системи електродів ємнісного сенсора складає 40 мм. Зовнішній діаметр діелектричної труби має 50 мм.

Ємнісний сенсор працює таким чином. Під час руху потоку рідини через діелектричну трубу, в якій знаходиться ємнісний сенсор для вимірювання вологості, рідина заповнює простір між електродами позитивної та негативної полярності, які жорстко закріплені хрестоподібними діелектричними фіксаторами електродів. Це викликає зміну діелектричної проникності, що призводить до зміни ємності сенсора вологості.

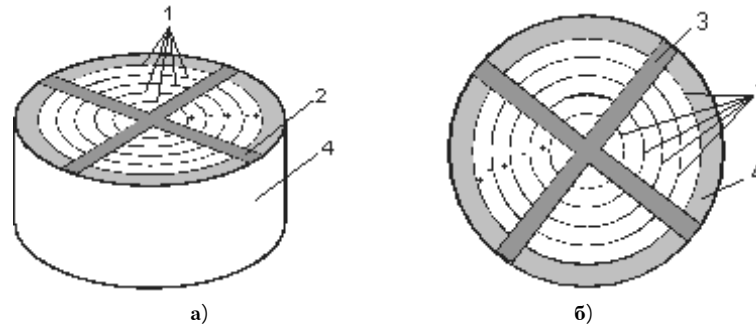


Рис. 1. Ємнісний сенсор для вимірювання вологості нафтопродуктів [5] загальний вигляд (а), вид знизу (б):  
1 – система електродів; 2, 3 – хрестоподібні діелектричні фіксатори електродів; 4 – діелектрична труба

**Теоретичні та експериментальні дослідження**

Якщо матеріал складається із суміші компонентів з різною діелектричною проникністю, то загальну поляризацію матеріалу можна знайти як суму поляризацій компонентів [6]. У нашому випадку ми маємо гетерогенну суміш у якій частинки розміщені хаотично. В якості дисперсної фази у нас виступають молекули води, а дисперсним середовищем відповідно є нафтопродукт. Для проведення оцінки діелектричної проникності двокомпонентної суміші запропоновано емпіричне рівняння [7]

$$e = \frac{(3d_1 - 1) \cdot e_1 + (3d_2 - 1) \cdot e_2}{4} + \sqrt{\left(\frac{(3d_1 - 1) \cdot e_1 + (3d_2 - 1) \cdot e_2}{4}\right)^2 + \frac{e_1 \cdot e_2}{2}}, \quad (1)$$

де  $e_1$  – діелектрична проникність води;

$e_2$  – діелектрична проникність нафтопродукту;

$e$  – діелектрична проникність суміші;

$d_1, d_2$  – об'ємна концентрація відповідно дисперсної фази та дисперсного середовища.

Знайдемо об'ємні концентрації компонентів, тобто  $d_1$  та  $d_2$ ,

$$d_1 = \frac{V_{H_2O}}{V_{суміші}}, \quad (2)$$

$$V_{суміші} = V_{H_2O} + V, \quad (3)$$

$$d_2 = 1 - d_1, \quad (4)$$

де  $V_{H_2O}, V, V_{суміші}$  – об'єми води, нафтопродукту та суміші відповідно, м<sup>3</sup>.

Визначимо об'єм води  $V_{H_2O}$

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{r_{H_2O}}, \quad (5)$$

де  $m_{H_2O}$  – маса води, кг;

$r_{H_2O}$  – густина води, кг·м<sup>-3</sup>.

Підставивши вирази (3) і (5) у (2) отримаємо

$$d_1 = \frac{m_{H_2O}}{r_{H_2O} \cdot \left(\frac{m_{H_2O}}{r_{H_2O}} + V\right)}. \quad (6)$$

Запишемо вираз для масової вологості  $W$  [4]

$$W = \frac{m_{H_2O}}{m_{суміші}} \cdot 100\% = \frac{m_{H_2O}}{m + m_{H_2O}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$m_{H_2O} = \frac{W \cdot m}{100 - W}, \quad (8)$$

де  $m, m_{суміші}$  – маси нафтопродукту та суміші відповідно, кг.

Підставивши значення  $m_{H_2O}$  з виразу (8) в (6) отримаємо

$$d_1 = \frac{W \cdot r}{(100 - W) \cdot r_{H_2O} + W \cdot r} \quad (9)$$

де  $r$  – густина нафтопродукту,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Для розрахунку ємності конденсаторної циліндричної структури скористаємось формулою

$$C = e \cdot e_0 \cdot 2p \cdot l \cdot \left[ \frac{1}{\ln\left(\frac{R_4}{R_3 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_3}{R_2 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_1}{R_0 + d}\right)} \right], \quad (10)$$

де  $e$  – діелектрична проникність суміші;

$e_0$  – діелектрична проникність вакууму,  $\text{Ф}/\text{м}$ ;

$l$  – довжина системи електродів,  $\text{м}$ ;

$d$  – товщина електроду,  $\text{м}$ ;

$R_0, R_1, R_2, R_3, R_4$  – відповідно радіуси електродів від найменшого до найбільшого,  $\text{м}$ .

З врахуванням виразів (1), (4) та (9) вираз (10) набуває вигляду

$$C = \left[ \frac{\left( \frac{3W \cdot r}{(100 - W) \cdot r_{H_2O} + W \cdot r} - 1 \right) e_1 + \left( 2 - \frac{3W \cdot r}{(100 - W) \cdot r_{H_2O} + W \cdot r} \right) e_2}{4} + \sqrt{\left( \frac{\left( \frac{3W \cdot r}{(100 - W) \cdot r_{H_2O} + W \cdot r} - 1 \right) e_1 + \left( 2 - \frac{3W \cdot r}{(100 - W) \cdot r_{H_2O} + W \cdot r} \right) e_2}{4} \right)^2 + \frac{e_1 e_2}{2}} \right] \times e_0 \cdot 2p \cdot l \cdot \left[ \frac{1}{\ln\left(\frac{R_4}{R_3 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_3}{R_2 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_1}{R_0 + d}\right)} \right]. \quad (11)$$

Згідно з виразом (11) була розрахована ємність вологочутливої конденсаторної циліндричної структури в середовищі "Marle 13". На рис. 2 показані теоретична та експериментальна залежності ємності вологочутливого сенсора на основі конденсаторної циліндричної структури від вологості нафтопродукту, а саме мінерального масла М8В в діапазоні від 0 % до 20 % масової вологості.

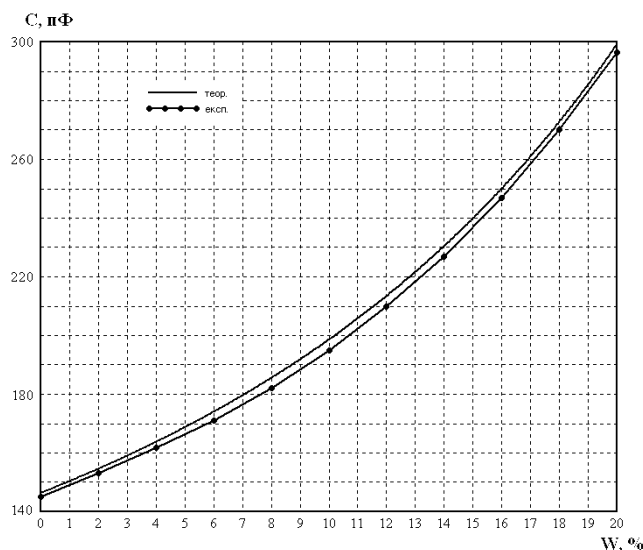


Рис. 2. Експериментальна та теоретична залежності зміни ємності від вологості мінерального масла М8В

Як видно із графіка, теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Так при зміні масової вологості від 0 % до 20 % ємність збільшується від 145 пФ до 297 пФ. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає 3 %.

### Висновки

Розроблено математичну модель ємнісного сенсора вологості, яка описує залежність електричної ємності від величини вологості нафтопродукту. Вологомір являє собою систему електродів, що виконані у вигляді циліндричних пластин різного діаметру та закріплені у діелектричній трубі. Чутливість сенсора для мінерального масла складає близько 7 пФ/%. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 3 %.

### Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / Вуйцік В., Готра З.Ю., Григор'єв В.В. і др. – Львів: Ліга-Прес, 2002. – 475 с.
2. Фрайден Дж.. Современные датчики. Справочник. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин / Агеев О.А., Мамиконова В.М., Петров В.В. и др. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 153 с.
4. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
5. Пат. 39894 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний сенсор для вимірювання вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін (УКРАЇНА). – № 200814033; Заявл. 05.12.2008; Опубл. 10.03.2009; Бюл. № 5. – 2 с.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В., Євсєєва М.В. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С. 229-234.
7. Теория диэлектриков / Н.П. Богородицкий, Ю.М. Волокобинский, А.А. Воробьев, Б.М. Таргев. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 344 с.

Надійшла до редакції  
25.10.2009 р.

УДК 389.638.011

**С.В. БЕХ, Ю.С. КУХАРЧУК**

Хмельницький національний університет

## КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті приводиться класифікація оптико-електронних методів вимірювання температури віддалених об'єктів за різними ознаками. Розглядаються основні їхні переваги та недоліки.

**In the article classification over of optical-electronic methods of measuring of temperature of remote objects is brought on different signs. Their basic advantages and failings are examined.**

Ключові слова: вимірювання, температура віддалених об'єктів.

### Вступ

В даний час в багатьох галузях промисловості використання високих температур являється невід'ємною частиною технологічного процесу та якість продукції в більшій степені визначається надійністю результатів вимірювань або регулювання температур. Аналогічна ситуація спостерігається в багатьох областях наукових досліджень, де надійність результатів вимірювань високих температур – один з факторів, що визначає успіх досліджень.

Надмірна різноманітність об'єктів дослідження, умов вимірювання температур в цих об'єктах, відмінність вимог до діапазону та точності вимірювання високих температур – все це виключає можливість створення універсальних пірометричних методів та приладів.

Тому є досить актуальним створення такого арсеналу методів та приладів для вимірювання високих температур, які в своїй сукупності змогли б охопити всю різноманітність об'єктів, умов та режимів вимірювання. Це є основною задачею пірометрії.

**Об'єктом дослідження** є існуючі оптико-електронні методи вимірювання температури.

### Результати та їх обговорення

Про температуру нагрітого тіла можна судити на основі вимірювання параметрів його теплового випромінювання, що являє собою електромагнітні хвилі різної довжини. Чим вище температура тіла, тим більше енергії воно випромінює.

Термометри, дія яких заснована на вимірюванні теплового випромінювання, називають пірометрами. Вони дозволяють контролювати температуру від 100 до 6000 °С та вище. Одною з основних переваг даних приладів є відсутність впливу випромінювача на температурне поле нагрітого тіла, так як в процесі вимірювання вони вступають в безпосередній контакт один з