

УДК 621.311.25

В. В. Кухарчук, д-р техн. наук, проф.;

В. В. Богачук, канд. техн. наук, доц.;

Ю. О. Дмитрієв, с. н. с.;

В. Ф. Граняк, студ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЗАТУХАННЯ ТА ЗМІЩЕННЯ ФАЗИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ВІД ВОЛОГОСТІ СЕРЕДОВИЩА ЇХ ПОШИРЕННЯ

Проведено експериментальне дослідження затухання та зміщення фази інформаційної хвилі, що проходить через несиметричний плосковий хвилевід, на поверхні якого розміщений досліджуваний зразок, та отримано залежності вказаних вище параметрів від вологості.

Вступ та постановка задачі

Підвищення точності та швидкодії вимірювання вологості готової продукції переробної галузі АПК є одним з перспективних напрямків підвищення її якості [1]. Особливо гостро це питання стоїть у виробництві молокопродуктів, зокрема вершкового масла, експрес контроль на етапі виробництва якого значно ускладнюється відсутністю первинних вимірювальних перетворювачів, що характеризувалися б достатньо високою швидкістю та точністю [2].

Враховуючи вищесказане, пошук нових способів опосередкованого вимірювання вологості вершкового масла, що мають, як було показано у роботі [2], значно вищу швидкість у порівнянні з прямими методами, є перспективним напрямком подальших наукових досліджень, а їх успішне впровадження — перспективним напрямком модернізації обладнання підприємств цієї галузі.

Як впливає з аналізу, наведеного у роботі [2], найперспективнішими з точки зору експрес-вимірювання вологості є методи, пов'язані з пропусканням або відбиванням від контрольованого зразка електромагнітного випромінювання, з подальшим вимірюванням відхилення фази та затухання інформаційної хвилі у порівнянні з опорною. Не менш актуальним є і спрощення конструкції первинного перетворювача, який характеризується зазначеними властивостями сенсорів на основі електромагнітного випромінювання, був би інваріантним до впливу неінформативних параметрів навколишнього середовища [3]. А оскільки під час використання несиметричного плоскового хвилеводу зовнішнє навколишнє середовище не перекривається інформативною хвилею [4], що забезпечує можливість знехтувати впливом його параметрів, то застосування такої конструкції є перспективним для побудови вимірювальних перетворювачів вологості. При чому, виходячи з конструктивних міркувань, найдоцільнішим є використання у пристрої цієї конструкції в якості інформаційної хвилі метрового діапазону, що дає можливість знехтувати впливом власної індуктивності зигзагоподібної системи хвилеводу [5].

З огляду на викладене вище очевидно є необхідність вивчення особливостей взаємодії електромагнітного випромінювання метрового діапазону з водою та вологими речовинами, що могло б у подальшому бути використаним під час побудови первинних вимірювальних перетворювачів вологості. Тому проведення експериментальних досліджень впливу вологи на параметри електромагнітного випромінювання діапазону частот 250...400 МГц є актуальною задачею, результати якої носять науковий та прикладний характер.

Результати експериментальних досліджень

Схему установки, що була використана у дослідженні, показано на рис. 1.

Як об'єкт вимірювання використовувався несиметричний плосковий хвилевод, геометричні розміри якого вказані на рис. 2, на поверхні якого ро-

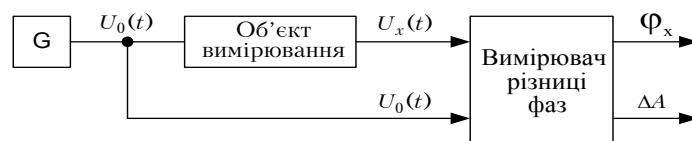


Рис. 1. Схема лабораторної установки

змщувався зразок з відомими геометричними розмірами та вологістю. Як діелектрик використано склотекстоліт (відносна діелектрична проникність $\epsilon = 5$, товщина склотекстоліту $h = 2$ мм).

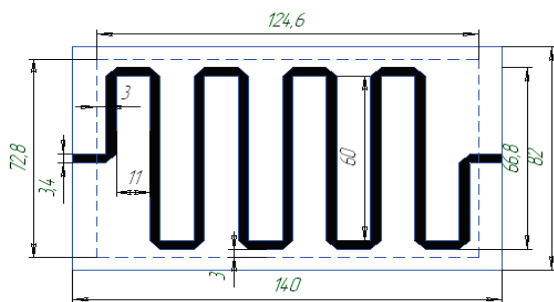


Рис. 2. Схема хвилеводу

Відповідно сумарний опір хвилеводу за (1) [4] становить

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon} \frac{L}{h} \left[1 + \frac{1,735}{\epsilon^{0,0724} \left(\frac{L}{h} \right)^{0,836}} \right]} = 50 \text{ (Ом)}, \quad (1)$$

де L — ширина хвилеводу (3,4 мм).

Під час дослідження інтенсивності затухання та зміщення фази були використані: вимірювач різниці фаз «ФК2-12» та генератор сигналів високо-частотний «Г4-107» (вихідна напруга генератора була зафіксована на рівні $U_0(t) = 0,7$ (В)).

Експеримент виконано у два етапи в діапазоні зміни частоти електромагнітних хвиль 250...400 МГц.

На першому етапі отримано характеристики затухання та зміщення фази для зразків з вологістю 100 % та 50 % (50 % — дистильована вода, 50 % — гліцерин) і товщиною зразка 10 мм. У результаті дослідження отримані результати, які показані на рис. 3, 4.

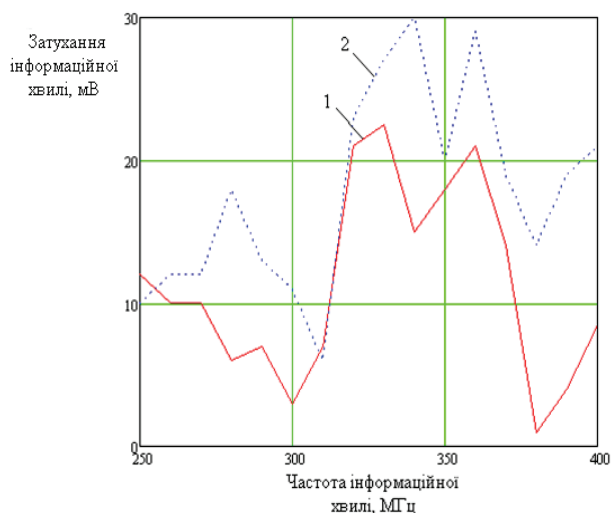


Рис. 3. Залежність інтенсивності затухання інформаційної хвилі від частоти: 1 — зразок з 100 % вологістю; 2 — зразок з 50 % вологістю (50 % — дистильована вода, 50 % — гліцерин)

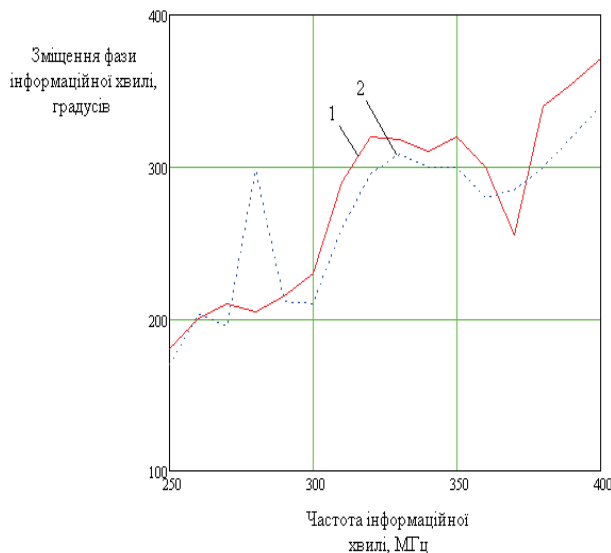


Рис. 4. Залежність зміщення фази інформаційної хвилі від частоти: 1 — зразок з 100 % вологістю; 2 — зразок з 50 % вологістю (50 % — дистильована вода, 50 % — гліцерин)

На другому етапі були отримані характеристики затухання та зміщення фази для зразків з: ≈ 0 % (висушене вершкове масло), 16,04 %, 19,66 %, 24,86 %, 26,92 % вологості. Товщина шару кожного з зразків 10 мм. В результаті дослідження були отримані результати, наведені на рис. 5 та 6.

Як впливає з експериментальних результатів, в зв'язку з малою чутливістю у разі затухання інформаційної хвилі (це впливає з аналізу наведених вище експериментальних даних), побудова вимірювального перетворювача можлива лише за умови використання фазних зміщень.

З аналізу даних, отриманих під час вимірювання зміщення фази для зразків з різною вологістю (див. рис. 5), можна відмітити досить високу чутливість фазного зсуву з монотонністю зростання зміщення за умови монотонного зростання вологості зразка на частотах 290, 300, 310, 320, 330 та 340 МГц, що свідчить про доцільність їх використання для побудови вимірювального перетворювача вказаної вище конструкції.

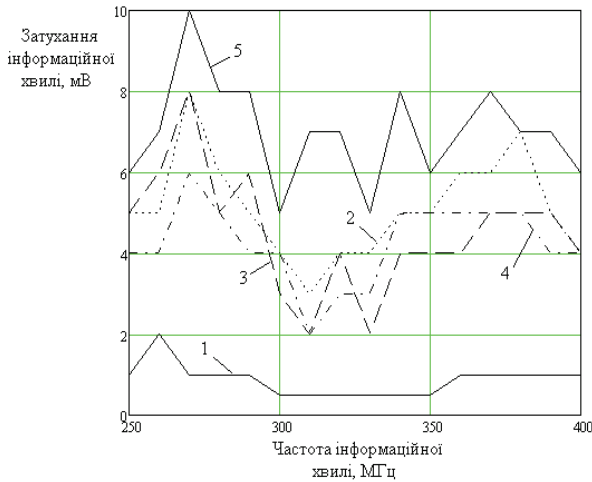


Рис. 5. Залежність інтенсивності затухання електромагнітної хвилі від частоти: 1 — зразка з 0 % вологістю; 2 — зразка з 16,04 % вологістю; 3 — зразка з 19,66 % вологістю; 4 — зразка з 24,82 % вологістю; 5 — зразка з 26,92 % вологістю

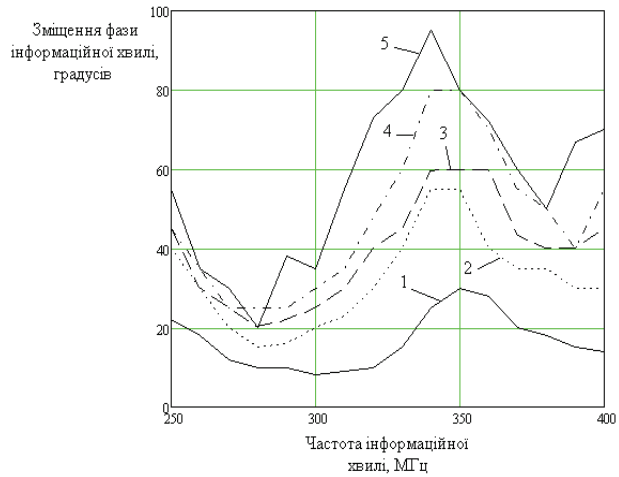


Рис. 6. Залежність зміщення фази електромагнітної хвилі від частоти: 1 — зразка з 0 % вологістю; 2 — зразка з 16,04 % вологістю; 3 — зразка з 19,66 % вологістю; 4 — зразка з 24,82 % вологістю; 5 — зразка з 26,92 % вологістю

Під час апроксимації отриманих даних за методом найменших квадратів поліномами першого ($\Delta\phi = a[0] + a[1]W$) та другого ($\Delta\phi = a[0] + a[1]W + a[2]W^2$) порядку для зазначених частот були отримані результати, що зведені у таблицю.

Результати апроксимації експериментальних даних

Частота інформативної хвилі, МГц	Поліном 1-го порядку	Сума квадратів відхилень полінома 1-го порядку	Проліном 2-го порядку	Сума квадратів відхилень полінома 2-го порядку
290	$a[0] = 7,167$ $a[1] = 0,86$	108,29	$a[0] = 10,128$ $a[1] = -0,489$ $a[2] = 0,052$	38,54
300	$a[0] = 6,874$ $a[1] = 0,956$	12,67	$a[0] = 8,011$ $a[1] = 0,439$ $a[2] = 0,02$	2,39
310	$a[0] = 5,443$ $a[1] = 1,427$	211,82	$a[0] = 9,273$ $a[1] = -0,317$ $a[2] = 0,067$	95,17
320	$a[0] = 5,289$ $a[1] = 1,996$	338,13	$a[0] = 10,318$ $a[1] = -0,294$ $a[2] = 0,088$	137,02
330	$a[0] = 10,672$ $a[1] = 2,135$	255,3	$a[0] = 15,386$ $a[1] = -0,012$ $a[2] = 0,083$	78,54
340	$a[0] = 20,906$ $a[1] = 2,407$	191,7	$a[0] = 25,31$ $a[1] = 0,402$ $a[2] = 0,077$	37,47

Отримані в результаті апроксимації статичні характеристики подамо у вигляді на рис. 7, 8.

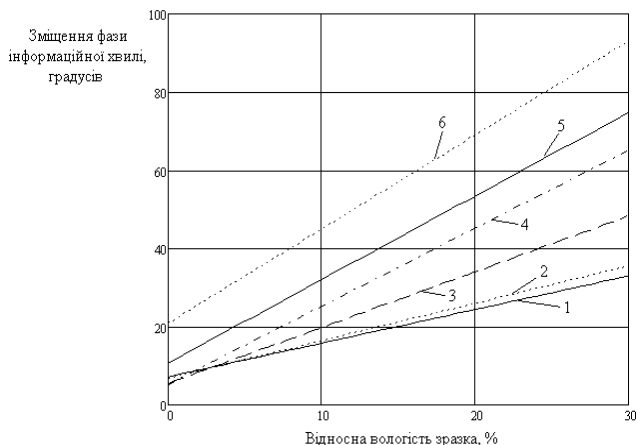


Рис. 7. Теоретична залежність зміщення фази електромагнітної хвилі від частоти у разі апроксимації поліномом 1-го порядку для частот інформаційної хвилі: 1—290 МГц; 2—300 МГц; 3—310 МГц; 4—320 МГц; 5—330 МГц; 6—340 МГц

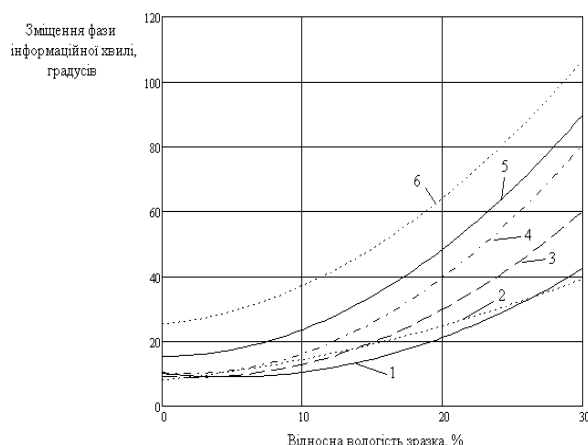


Рис. 8. Теоретична залежність зміщення фази електромагнітної хвилі від частоти у разі апроксимації поліномом 2-го порядку для частот інформаційної хвилі: 1—290 МГц; 2—300 МГц; 3—310 МГц; 4—320 МГц; 5—330 МГц; 6—340 МГц

Висновки

1. Експериментально визначено, що побудова вимірювальних перетворювачів в частотному діапазоні 250...400 МГц можлива лише на основі перетворення вологості в різницю фаз. Це є наслідком малої чутливості в період затухання інформаційної хвилі, що підтверджується отриманими експериментальними даними.

2. Доведено, що отримані експериментальні залежності фазного зміщення від вологості зразка є нелінійними, тому рівняння перетворення сенсора, побудованого за цим принципом, доцільно подавати у вигляді полінома 2-го порядку, що дає можливість підвищити точність отриманих результатів.

3. Для побудови первинного вимірювального перетворювача найперспективнішою є частота інформаційної хвилі 300 МГц, так як на вказаній частоті спостерігається не лише монотонне зростання фазного зміщення зі зростанням вологості зразка (що відображається і у додатних коефіцієнтах під час апроксимації), але й має місце найменша сума квадратів відхилення експериментальних точок від визначеного за методом найменших квадратів полінома другого порядку [див. табл. та рис. 8].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлинер М. А. Измерение влажности. — изд. 2-е, перер. и доп. / М. А. Берлинер. — М.: Энергия, 1973. — 420 с.
2. Аналіз методів неруйнівного контролю гетерогенних дисперсних діелектриків / [В. В. Кухарчук, В. В. Богачук, І. К. Говор, В. Ф. Граняк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 5. — 7 с.
3. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю порошкоподібних матеріалів: моног. / Володимир Васильович Богачук, Борис Іванович Мокін. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2008. — 141 с.
4. Изюмова Т. И. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии / Т. И. Изюмова, В. Т. Свиридов. — М.: Энергия, 1975. — 112 с.
5. Сивухин Д. В. Общий курс физики: учеб. пос. для вузов: в 5 т. / Д. В. Сивухин. — М.: Физматлит. — Т. VI. — 2005. — 795 с.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Стаття надійшла до редакції 16.05.11
Рекомендована до опублікування 7.06.11

Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань;

Богачук Володимир Васильович — доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;

Дмітрієв Юрій Олександрович — старший науковий співробітник кафедри метрології та промислової автоматики;

Граняк Валерій Федорович — студент Інституту електроенергетики та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця