

# ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ

*Володимир Ялечко, к.т.н.; Андрій Лагун, к.т.н., доцент; ООлександр Мамро, студент, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: andrii.e.lahun@lpnu.ua*

## Анотація

У статті розглянута модель спотворень імпульсного сигналу в каналі звукової карти комп'ютера. Використання такої моделі дозволяє розширити можливості застосування комп'ютерів при дослідженнях властивостей деревини у вигляді аналізу різних діелектричних характеристик, зокрема використовуючи канал звукової карти комп'ютера. Це забезпечує можливість контролювати стан каналу поширення сигналу в ході експерименту. В цьому експерименті досліджується зразки деревини на наявність дефектів.

Запропоновано підхід побудови моделі спотворень. Він дозволяє розширити можливості дослідження параметрів імпульсного сигналу і за характером спотворень контролювати стан самого каналу під час досліджень діелектричних властивостей деревини.

Для дослідження зразка деревини з використанням звукової карти комп'ютера розроблено структурну схему, що дозволяє проаналізувати характеристики імпульсних сигналів в процесі вимірювання.

Для визначення діелектричних параметрів різних типів промислової деревини було розроблено програмне забезпечення в середовищі MATLAB. З його використанням проаналізовано складні імпульсні сигнали, що існували в процесі досліджень. Зокрема враховувалися різні струми поляризації деревини та діелектричні характеристики.

## Ключові слова

Імпульсний сигнал, канал розповсюдження, динамічні спотворення, фільтр високих частот, звукова карта комп'ютера, деревина.

## 1. Вступ

Деревина з давніх часів використовується людством у будівництві завдяки її будівельно-технологічним властивостям, а саме значній міцності при розтягу та стиску, низькій теплопровідності, технологічності при обробці і гарному зовнішньому вигляду. Актуальною проблемою на цей час є збереження лісових запасів в Україні, зокрема скорочення застосування деревини в будівництві. Важливим резервом економії деревини є використання відходів лісопиляння та деревообробки для виготовлення деревостружкових плит, клеєних конструкцій, засобів опалення будівель.

Промислова деревина має такі недоліки, як неоднорідність будови займистість, здатність до гниття. Ці недоліки можна подолати різними технічними заходами, проте для визначення характеристик деревини як діелектричного матеріалу використовуються різні способи вимірювань. Дослідженню таких способів присвячена дана робота.

## 2. Поточний стан проблеми і мета роботи

Значна частина первинної інформації в фізичних експериментах, оброблюваної технічними засобами, має аналоговий характер. Обмеженість смуги пропускання є спільною рисою каналів передачі аналогових сигналів [1, 2], що викликає спотворення параметрів випробувальних сигналів. Тому вивчення характеру спотворень є важливою загальнотехнічною задачею, успішне вирішення якої необхідно для найбільш інтенсивного використання багатьох технічних засобів.

Різні аспекти передачі сигналів і зміни їх параметрів в каналі поширення досліджуються в багатьох областях знань [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Для технічних випробувань використовуються монохроматичні, вузькосмугові і широкосмугові сигнали. Імпульсні прямокутні сигнали відносяться до останнього виду і відрізняються простотою форми і способів отримання.

У даній статті поставлено завдання розробки моделі динамічних спотворень імпульсного сигналу, що виникають при дослідженнях властивостей деревини, зокрема наявності дефектів в ній, зокрема вимірювання діелектричних властивостей деревини з використанням каналу звукової карти комп'ютера. Це дозволить значно здешевити процес вимірювання на противагу використанню спеціалізованих метрологічних модулів – цифрових осцилографів, спеціалізованих спектрометрів та інших.

## 3. Матеріали і методи досліджень

Для дослідження реакції будь-якої автоматизованої системи вимірювання необхідні генератор випробувального сигналу і засоби аналізу відгуку системи. Програмно зручно задавати тестовий сигнал в цифровій формі, для тестування об'єкта дослідження використовувати аналоговий сигнал, а обробку результатів виконувати чисельними методами. Використання для цього набору окремих спеціалізованих приладів пов'язано не тільки з накопиченням апаратних засобів і фінансовими витратами, але й висуває вимогу узгодження і синхронізації роботи окремих вузлів, правильного вибору параметрів для кожного випробування.

До складу звукової карти комп'ютера входять такі вузли введення і виведення аналогових сигналів як підсилювачі, цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі (ЦАП, АЦП), генератори тактової частоти [6], а також автоматизовані системи управління цими пристроями. У той же час використання спеціалізованих метрологічних модулів обмежується їх значною вартістю.

Комплексне використання можливостей комп'ютера для пошуку функціональних залежностей між параметрами об'єкта, оцінки ступеня корельованості процесів, які проходять в ньому, надає значні переваги у виборі засобів обробки результатів, автоматизації експерименту. З точки зору метрології такі дослідження можна віднести до першого етапу вимірювання - збору апіорної інформації. Отримані дані будуть корисні для розробки методики отримання достовірної метрологічної оцінки за допомогою спеціальних засобів вимірювання.

Запропонований підхід побудови моделі спотворень дозволяє не тільки розширити можливості відновлення параметрів імпульсного сигналу, але і за характером спотворень контролювати стан самого каналу під час досліджень.

Для генерації випробувального тестового сигналу, в прийомі і обробці реакції об'єкта дослідження використовуються різні вузли комп'ютера, зображені на рис. 1:

- для виконання числових операцій - пам'ять, генератор тактової частоти (ГТЧ), процесор, шина обміну даними;
- для виконання операцій перетворення форми сигналу і аналогової обробки - вузли звукової карти: ЦАП, АЦП, підсилювачі (ПС1 і ПС2), аналогові фільтри (АФ1 і АФ2)
- для оптимізації електричного узгодження комп'ютера з об'єктом дослідження застосовуються зовнішні пристрої: датчик, вхідний і вихідний підсилювачі (ПС).

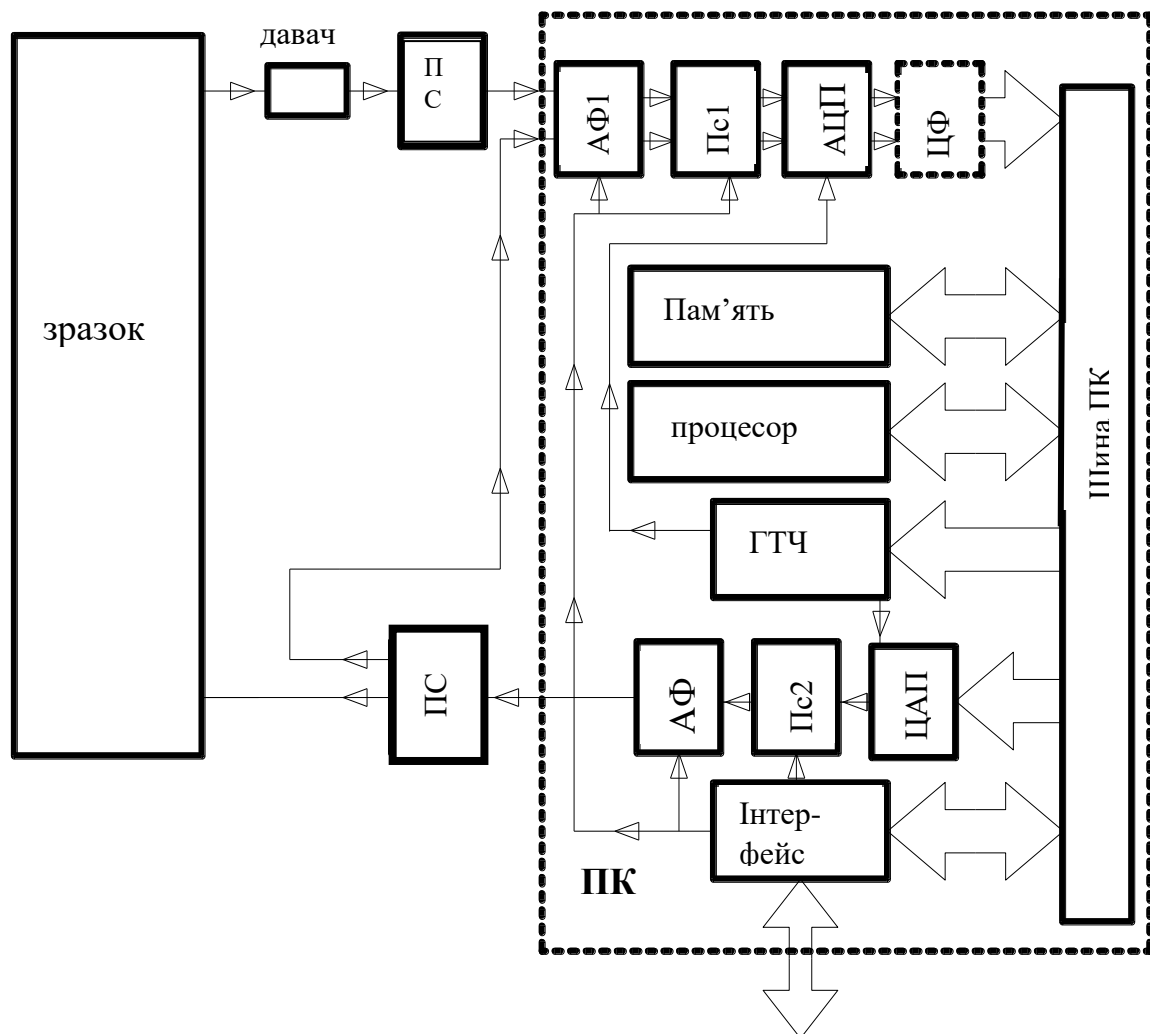


Рисунок 1 – Структурна схема дослідження зразка деревини з використанням вузлів комп'ютера

Обмеження смуги пропускання звукової карти знизу відбувається в фільтрі високих частот (ФВЧ), утвореному розділювальними RC-колами. Дані фільтри складаються з електролітичних конденсаторів і змінної величини опору зразка внаслідок особливостей утворюваних елементів характеризуються нестабільними по температурі і в часі параметрами.

Частотні характеристики зовнішніх пристроїв мають пропускну здатність ширшу, ніж смуга пропускання звукової карти, що дозволяє знехтувати динамічними спотвореннями сигналу в цих вузлах. Динамічні спотворення сигналів залежать від налаштувань фільтрів, температури елементів звукової карти, від характеру підключеного

навантаження і мають тенденцію до дрейфу. Наявність непередбачуваних факторів динамічних спотворень в каналі генерування викликає необхідність контролю форми тестового сигналу під час проведення дослідження.

Для здійснення такого контролю напруга вихідного підсилювача подається на один з стереовходів звукової карти. Сигнал, що з'являється на цьому вході, є контрольним. Тестовий сигнал проходить ті ж вузли, але використовує другий стереовхід звукової карти, і додатково проходить через зразок, давач і підсилювач вхідного сигналу (рис. 1). Відмінність між тестовим сигналом і контрольним характеризує об'єкт дослідження.

#### 4. Експериментальна частина

Для дослідження властивостей деревини використано одну з найпростіших форм тестового імпульсного сигналу - меандр з частотою 80 Гц. Вибір сигналу обґрунтований відсутністю постійної складової, яку не може передавати звукова карта, і простою формою прояву динамічних спотворень.

Генерування тестового сигналу - меандру, з періодом  $2N_0$  відліків відбувається у вигляді цифрової послідовності:

$$U_0(n) = A_0 * (-1)^{n/N_0}, \quad (1)$$

де  $A_0$  – амплітуда меандру;  $n$  – номер відліку;  $N_0$  – кількість відліків в напівперіоді меандру,  $[n/N_0]$  – ціла частина  $n/N_0$ .

На рис. 2 показані форми сигналів: заданого в цифровій формі і аналогового контрольного. На прийнятому сигналі видно спотворення: низькочастотні - по схилу вершини імпульсу, і високочастотні спотворення - у вигляді затухаючих коливань на фронтах і спадах імпульсів.

Для каналів поширення сигналів з рівною в смузі пропускання характеристикою, такою як у звуковій карті, динамічні спотворення визначаються частотами і крутизною зрізу наскрізної смуги пропускання.

У проведених дослідженнях найбільш енергетично суттєві викривлення в каналі виникали в фільтрах високих частот, утворених розділювальними конденсаторами, що обмежують смугу пропускання каналу знизу.

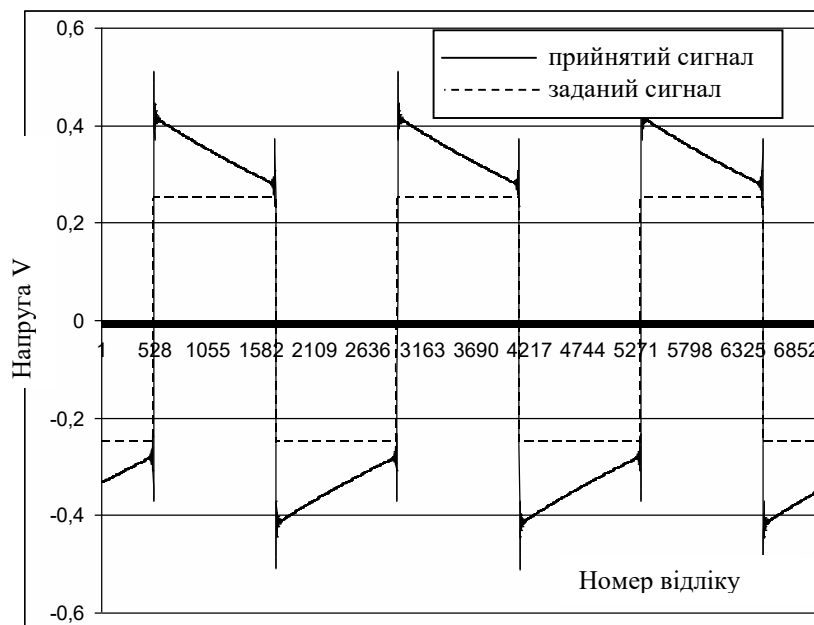


Рисунок 2 – Форми сигналів: заданого та прийнятого в каналі контролю

Після проходження меандру через канал була отримана інша послідовність, що відповідає контрольному сигналу  $E(n)$ , зі зміненою формою і з шумовою складовою (рис. 2):

$$E(n) = U(n) + U_{ш}(n), \quad (2)$$

де  $U(n)$  – періодична складова контрольного сигналу;  $U_{ш}(n)$  – значення адитивної шумової складової.

Щоб виділити форму прийнятого контрольного сигналу з шумів  $N_k$ , відліки були розбиті на  $K$  цілих періодів з  $2N_0$  відліків в кожному з урахуванням зміщення початку першого періоду  $n_0$ :

$$K = \left[ \frac{N_k - n_0}{2N_0} \right], \quad (3)$$

а значення контрольного сигналу  $E(n)$  усереднювались по  $K$  періодам для кожного значення  $m \in [1; 2N_0]$ :

$$Y(m) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E(2kN_0 + m) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K U(2kN_0 + m) + \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K U_{ш}(2kN_0 + m) \quad (4)$$

Проведемо апроксимацію нахилу вершини контрольного сигналу за допомогою експонентної кривої:

$$U_e(i) = A_e * e^{-i/N_e}, \quad (5)$$

де  $A_e$  – амплітуда, а  $N_e$  – значення постійної експоненти.

Параметри апроксимації  $A_e$  та  $N_e$  визначаються з умови мінімуму середньоквадратичного відхилення апроксимуючої кривої  $U_a(i)$  від усереднених значень прийнятого контрольного сигналу  $Y_{yep}(i)$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1098} \sum_{i=52}^{1149} (Y_{yep}(i) - A_e * e^{-i/N_e})^2} \rightarrow \min, \quad (6)$$

В результаті апроксимації були отримані значення амплітуди меандру і значення постійної часу, яка характеризує спотворення форми як контрольного, так і тестового сигналу в ЗК. Слід зауважити, що хоча у формулі (6) використовуються значення індексу більше 51, в результаті оптимізації визначається значення  $A_e$ , яке відповідає  $i=0$ ; а значення  $N_e$  – не ціле, а дійсне. Обрана функція апроксимації і спосіб визначення її параметрів забезпечили в проведених експериментах значення коефіцієнта множинної детермінації спаду вершини тестового імпульсу  $R_2 \geq 0,99$ .

ЗК комп'ютера для забезпечення прийому стереосигналу виконують двоканальними. Характеристики каналів мають високу ступінь ідентичності, тому методи компенсації спотворень контрольного каналу повинні бути ефективними і для тестового сигналу. Skorиставшись моделлю експоненціального спаду вершини імпульсу, можна відновити форму кожного сигналу розподілом дискретних значень  $E(n)$  на функцію апроксимації  $U_a(n)$  із одиничною амплітудою при синхронізації фронту тестового сигналу з початком функції апроксимації:

$$U_b(n) = E(n) / U_e(\{(n) / N_0\} N_0) = E(n) / e^{-i/N_e}, \quad (7)$$

де  $U_b(n)$  - відновлена форма тестового сигналу  $\{(N_0 - n_0 + n) / N_0\}$   $N_0$  - індекс функції апроксимації синхронізованої з фронту тестового сигналу.

Отримана функція  $U_b(n)$  передає фронт імпульсу і затухаючі коливання перехідного процесу, що виникли в фільтрі низьких частот, властивості шумовий складової, але має плоску вершину характерну для імпульса у формі меандру. Для перевірки адекватності моделі спотворень в фільтрі високих частот (ФВЧ) наскрізного каналу замість зразка підключалися резистори різних номіналів. Зміна номіналу резистора впливала не тільки на значення струму, який сприймався датчиком струму, але одночасно змінювала постійну часу ФВЧ і, відповідно, значення  $A_e$  та  $N_e$  моделі спотворень вершини імпульсу. При всіх використаних значень резистора в діапазоні від 0,47 до 15 МОм відновлення плоскої вершини меандру відбувалося з точністю до рівня шуму. Таким чином відома форма заданого тестового сигналу, наявність каналу контролю форми тестового сигналу, обрана модель і спосіб компенсації спотворень ФВЧ дозволяють відновити форму тестового сигналу в каналі вимірювання.

Для швидкого і зручного визначення параметрів моделей було розроблено програмне забезпечення в середовищі MATLAB. Висока достовірність і точність відновлення отримана в результаті практичних досліджень при роботі зі складними імпульсними сигналами, що включають струми поляризації деревини та інших діелектричні характеристики.

## 5. Висновки

Використання для дослідження властивостей деревини тестового імпульсного сигналу – меандру і реального імпульсного сигналу, отриманого після використання давачів для визначеного зразка деревини, дозволило отримати необхідні значення діелектричних характеристик, використовуючи лише звукову карту комп'ютера.

Збіг з точністю до рівня шуму показань цифрового осцилографа ZET 302 [7] з відліками відновленого сигналу звукової карти доводять можливість застосування комп'ютера як доступного технологічного і метрологічно достовірного засобу контролю діелектричних властивостей матеріалів при дослідженнях інших діелектричних характеристик.

## Список літератури:

1. Sibert U.M. Circuits, Signals and Systems. MIT Press, Cambridge, Massa chusetts, London, England, 1986 in two parts. Part 1: Russian translation: Moscov. - Mir, 1988.
2. Polishhuk E.S., Dorozhovec M.M., Jacuk V.A. and others. Metrology and measurement technology, textbook, ed. prof. ES Polishchuk., Lvov, "Beskids Beat", 2003. 544 p.
3. Zeveke G.V., Ionkin P.A., Netushil A.V., Strahov S.V. Basic circuit theory. Textbook for high schools. Izd.4edition, revised. M., "Energy", 1975. 752 p.
4. Zhelbakov I.N., Konchalovskij V.Ju., Solodov Ju.S. Metrology, standardization, certification lectures. Moscow Energy Institute. Moscow. 2004
5. Ermolaev V.T., Maslennikov R.A., Horjaev A.V. The use of technology is horny for estimating the impulse response of the communication channel, Radiophysics, Nizhny Novgorod University Bulletin. NI Lobachevsky, 2004, № 1, p. 72-79
6. Bessonov L.A. Theory of Electrical Engineering, M, High. School, 1973. 752 p.
7. Digital Oscilloscope ZET 302. Passport. User manual. CJSC "Digital technology and metrology systems", Zelenograd, 2010.