

УДК 621.391:004.942

**ВПЛИВ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ СИГНАЛУ  
НА ЙОГО СТІЙКІСТЬ ДО ОСЛАБЛЕННЯ  
У МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ**

Захаров В. Ю., Стрількова Т.О.

e-mail: viacheslav.zakharov@nure.ua, tetiana.strilkova@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП  
м. Харків, Україна

This work investigates the influence of signal structural complexity on its resistance to attenuation in micro- and nanoelectronic systems using numerical modeling in COMSOL Multiphysics. Two types of signals were analyzed: a simple harmonic signal and a complex multi-frequency signal formed by the superposition of several harmonics. Signal attenuation was modeled using an exponential attenuation coefficient. The results demonstrate changes in the spatial structure of signals and a decrease in their integral energy during propagation in a medium with losses. The proposed approach can be used for analyzing signal behavior in electronic systems.

У сучасних мікро- та наноелектронних системах передача сигналів часто відбувається у середовищах, які спричиняють втрати енергії. Під час поширення сигналу його амплітуда поступово зменшується, що може призводити до спотворення інформації, зниження точності вимірювань та погіршення характеристик електронних пристроїв. Особливо це важливо для систем, у яких використовуються сигнали зі складною структурою. Такі сигнали можуть містити кілька гармонічних компонентів і дозволяють передавати більше інформації, однак їх поведінка під час поширення у середовищі з втратами є більш складною та потребує додаткового дослідження [1].

Проблема полягає в тому, що складні сигнали можуть по-різному змінюватися під впливом ослаблення середовища. У мікро- та наноелектроніці це особливо важливо, оскільки сигнал проходить через різні матеріали, шари напівпровідників, контакти та інші елементи електронних пристроїв. Тому виникає необхідність дослідити, як структурна складність сигналу впливає на його стійкість до ослаблення.

Для аналізу впливу структурної складності сигналу було використано чисельне моделювання у середовищі COMSOL Multiphysics. У роботі розглядалася двовимірною модель області поширення сигналу. У межах цієї моделі було сформовано два типи сигналів. Перший сигнал є гармонічним сигналом із регулярною хвильовою структурою. Другий сигнал є складним і формується як поєднання кількох гармонічних складових із різними частотами. Такий підхід дозволяє створити сигнал із більш складною просторовою структурою та дослідити особливості його поведінки. Моделювання виконувалося для узагальненої двовимірної області поширення сигналу,

що дозволяє дослідити загальні закономірності впливу ослаблення на сигнали різної структури незалежно від конкретної реалізації електронної системи.

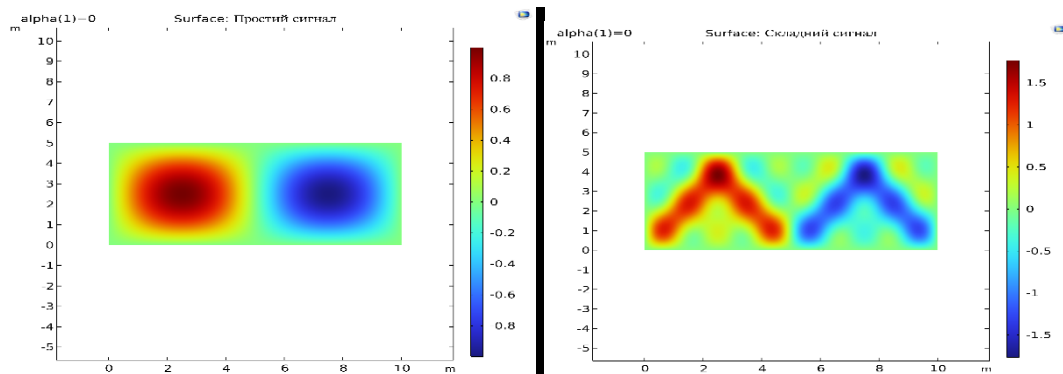


Рисунок 1. Просторовий розподіл простого та складного сигналів

На рисунку 1 показано початковий просторовий розподіл сигналів. Простий сигнал має регулярну хвильову структуру та рівномірний характер зміни амплітуди. Складний сигнал характеризується більш складним просторовим розподілом, що виникає внаслідок поєднання кількох гармонічних компонентів. Така структура сигналу пояснюється суперпозицією кількох гармонічних компонентів, які формують складніший просторовий розподіл амплітуди.

Для моделювання впливу середовища було введено коефіцієнт ослаблення  $\alpha$ , який описує зменшення амплітуди сигналу під час його поширення. Ослаблення сигналу моделювалося за допомогою експоненціальної залежності. Було проведено параметричний аналіз для різних значень коефіцієнта ослаблення.

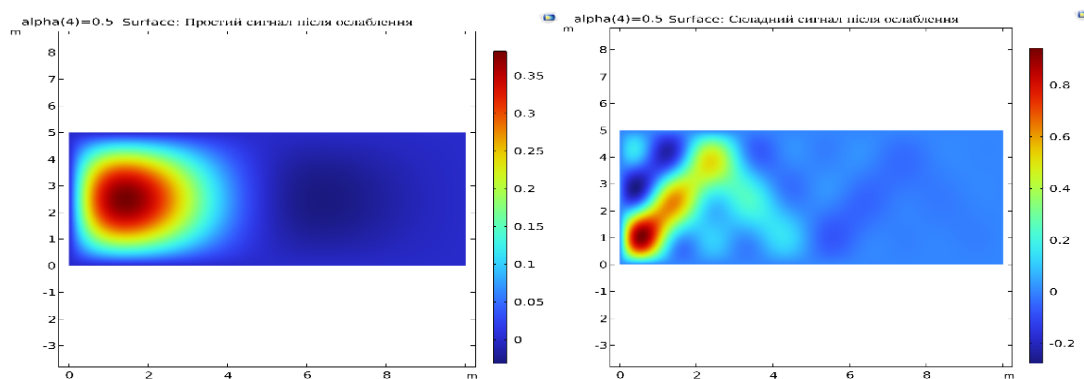


Рисунок 2. Просторовий розподіл простого та складного сигналів після проходження середовища з коефіцієнтом ослаблення  $\alpha = 0.5$

Як видно з рисунка 2, після проходження середовища з втратами амплітуда сигналів значно зменшується. При цьому складний сигнал демонструє більш складний характер зміни просторової структури порівняно з простим сигналом. Це пов'язано з тим, що складний сигнал складається з кількох гармонічних компонентів, які під час поширення у середовищі з втратами можуть змінювати амплітуду та фазу з різною швидкістю.

Для кількісної оцінки впливу ослаблення було проаналізовано зміну інтегральної енергії сигналу залежно від коефіцієнта ослаблення. Енергія сигналу визначалась як інтеграл квадрата амплітуди сигналу по області моделювання.

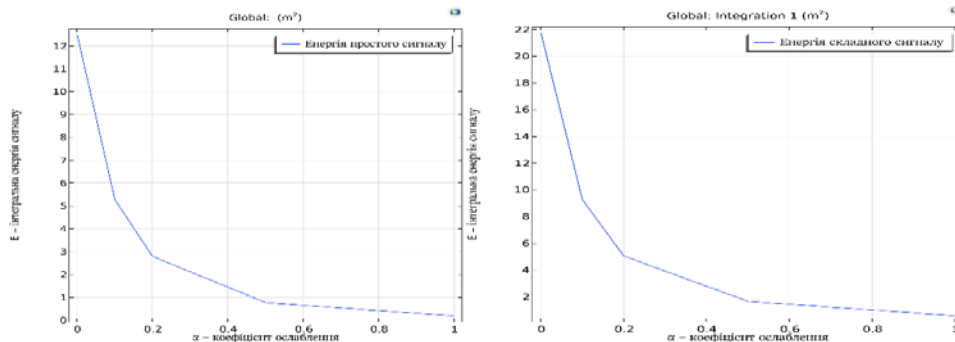


Рисунок 3. Залежність інтегральної енергії простого та складного сигналів від коефіцієнта ослаблення  $\alpha$

Зі збільшенням коефіцієнта ослаблення  $\alpha$  інтегральна енергія сигналу швидко зменшується, що свідчить про значний вплив середовища на процес його поширення. Порівняння залежностей показує, що обидва сигнали піддаються експоненціальному ослабленню, однак складний сигнал демонструє більш складну зміну просторового розподілу під час поширення. Проведений аналіз показав, що структурна складність сигналу впливає на характер зміни його просторового розподілу під час проходження через середовище з втратами. Складні сигнали, сформовані як суперпозиція кількох гармонічних компонентів, демонструють більш складну трансформацію просторової структури порівняно з простими гармонічними сигналами.

Отримані результати можуть бути використані для аналізу процесів передачі сигналів у мікро- та наноелектронних системах, де сигнал проходить через різні матеріали, шари та елементи електронних пристроїв. Розуміння впливу структури сигналу на його стійкість до ослаблення є важливим для оптимізації параметрів сигналів у сенсорних системах, електронних пристроях та системах цифрової обробки сигналів. Такі результати також можуть бути використані при виборі типу сигналів у системах з підвищеним рівнем втрат, де важливо забезпечити стабільність передавання інформації.

Список використаних джерел:

1. T. A. Strelkova, A. P. Lytyuga, A. S. Kalmykov. Statistical Characteristics of Optical Signals and Images in Machine Vision Systems // Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0. 2021, Pages: 134-162.