

Ігор Михайлович Невмежицький (кандидат технічних наук, доцент)

Андрій Аркадійович Гризо (кандидат технічних наук, доцент)

Артем Олександрович Дідковський

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

ПРОЄКТУВАННЯ ВІЗУАЛЬНО-ІМІТАЦІЙНОГО SIMULINK-ДОДАТКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ЗАХИСТУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ВІД АКТИВНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД

У статті викладено загальні принципи проєктування візуально-імітаційного додатка для моделювання адаптивних алгоритмів захисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових завад. Проєктування проведено за допомогою пакета програм візуального моделювання «Simulink» системи «MATLAB». Алгоритм компенсації активних шумових завад з кореляційним зворотним зв'язком і прямим розрахунком вагових коефіцієнтів використовувався як адаптивний алгоритм захисту. Правильність результатів роботи Simulink-додатка була підтверджена під час проведення експерименту, де на вхід моделі надходили імітовані активні шумові завади, власні шуми основного та додаткового каналів прийому та ехосигнали цілі. Результати моделювання подані за допомогою компонента Scope (осцилограф) бібліотеки блоків Sinks пакета програм візуального моделювання «Simulink». Також надано рекомендації стосовно залучення запропонованого додатка до навчального процесу технічного університету як візуального дидактичного засобу навчання.

Ключові слова: Simulink-додаток; візуально-імітаційне моделювання; компенсація завад.

Вступ

Постановка проблеми. Сьогодні для захисту радіолокаційних станцій (далі – РЛС) радіотехнічних військ (далі – РТВ) від активних шумових завад (АШЗ), використовуються автоматичні компенсатори завад, принцип роботи яких полягає у взаємній кореляції завади в основному та додаткових (компенсаційних) просторових каналах прийому сигналів. Залежно від типу РЛС це можуть бути компенсатори з кореляційним зворотним зв'язком або з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів. Останній, здебільшого, використовується в сучасних РЛС з цифровою обробкою (наприклад, РЛС 80К6).

Сьогодні неможливо уявити собі процес проєктування, дослідження та аналізу алгоритмів роботи складних технічних систем озброєння РТВ без використання обчислювальної техніки та сучасного математичного програмного забезпечення. Особливої уваги серед інженерів і науковців займає програмне забезпечення «MATLAB». Це високопродуктивна мова для технічних розрахунків. Вона містить обчислення, візуалізацію і програмування в зручному середовищі, де завдання виражаються у формі, близькій до математичної. Типове використання «MATLAB» – це математичні обчислення, створення алгоритмів, моделювання, аналіз даних, дослідження і візуалізація, наукова інженерна графіка, розробка додатків, враховуючи створення графічного інтерфейсу [1].

Програма «Simulink» це додаток до пакету

«MATLAB» (далі – Simulink-додаток), що реалізує принцип візуального програмування. Алгоритм проєктування в «Simulink» наступний – розробник візуально на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки [1]. На відміну від класичних способів моделювання, в цьому випадку, розробнику не потрібно досконально вивчати мову програмування і числові методи математики, а достатньо загальних знань, потрібних під час роботи на комп'ютері та знань тієї області, в якій він працює. Створена Simulink-модель є достатньо самостійним інструментом «MATLAB» і під час роботи з нею зовсім не потрібно знати сам «MATLAB» та інші його додатки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Приклади проєктування Simulink-додатків для моделювання алгоритмів роботи пристроїв завадозахисту РЛС РТВ вже наводилися в [3–6]. Так, у [3] наведено Simulink-додаток квадратурного автокомпенсатора активних шумових завад, у [4] – Simulink-додаток компенсатора імпульсних завад, у [5] – Simulink-додаток пристрою захисту від пасивних завад. У [6] розглянуто загальні підходи щодо використання створених візуально-імітаційних Simulink-додатків в освітньому процесі вищого військового навчального закладу. Разом із тим, поза увагою залишилися питання дослідження ефективності та порівняльного аналізу адаптивних алгоритмів захисту від АШЗ з кореляційним зворотним зв'язком та прямим розрахунком

вагових коефіцієнтів.

Мета статті. Враховуючи вищенаведене метою статті є розробка варіанту візуально-імітаційного додатка для моделювання адаптивних алгоритмів захисту РЛС РТВ від активних шумових завад і порівняння ефективності алгоритмів компенсації активних шумових завад з кореляційним зворотним зв'язком та прямим розрахунком вагових коефіцієнтів, а також надання рекомендацій щодо використання розробленого додатка у навчальному процесі.

Виклад основного матеріалу дослідження

Загальний процес візуально-імітаційного моделювання засобом «Simulink» наведено в алгоритмі, що детально описаний у [3]. Згідно цього алгоритму на першому етапі проектування необхідно провести структурний та функціональний аналіз.

Для проведення структурного аналізу алгоритмів компенсації активних шумових завад з кореляційним зворотним зв'язком та прямим розрахунком вагових коефіцієнтів слід використовувати їх структурні схеми. Структурна схема алгоритму компенсації завад з кореляційним зворотним зв'язком представлена на рис. 1 [2].

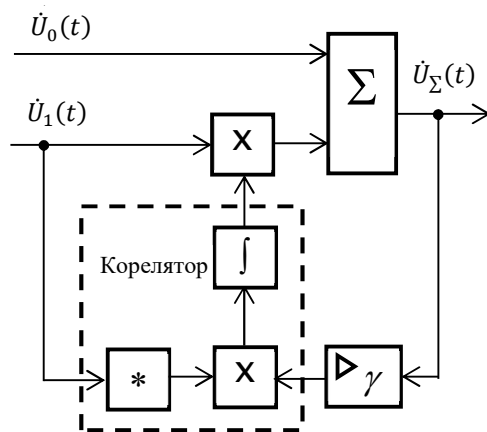


Рис. 1. Алгоритм компенсації завад з кореляційним зворотним зв'язком

Робота компенсатора з кореляційним зворотним зв'язком описується системою рівнянь (1) і (2) [2]:

$$\dot{U}_\Sigma(t) = \dot{U}_0(t) + \dot{K}(t) \cdot \dot{U}_1(t) \tag{1}$$

$$T \cdot \frac{d\dot{K}(t)}{dt} + \dot{K}(t) = -\gamma \cdot \dot{U}_\Sigma(t) \cdot \dot{U}_1^*(t), \tag{2}$$

де $\dot{U}_0(t)$, $\dot{U}_1(t)$, $\dot{U}_\Sigma(t)$ – комплексні обвідні процесів відповідно на вході основного і допоміжного каналів прийому сигналів та на виході автокомпенсатора; $\dot{K}(t)$ – комплексна величина керуючого (вагового) коефіцієнта; T – стала часу інтегрування; γ – коефіцієнт підсилення напруги в колі зворотного зв'язку; “*” – знак комплексного спряження.

В усталеному режимі величина керуючого коефіцієнта визначається згідно (3) [2]:

$$\dot{K} = -\gamma \cdot \overline{\dot{U}_\Sigma(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)}, \tag{3}$$

де “—” – знак математичного усереднення в часі.

Якщо співвідношення (1) підставити до (3), то можна знайти кінцевий вираз для керуючого коефіцієнта [2]:

$$\dot{K} = -\gamma \cdot \overline{[\dot{U}_0(t) + \dot{K} \cdot \dot{U}_1(t)] \cdot \dot{U}_1^*(t)}$$

Розкривши дужки, отримаємо:

$$\dot{K} = -\gamma \cdot \overline{\dot{U}_0(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)} - \gamma \cdot \dot{K} \cdot \overline{\dot{U}_1(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)},$$

звідки (4)

$$\dot{K} = \frac{-\gamma \cdot \overline{\dot{U}_0(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)}}{1 + \gamma \cdot \overline{\dot{U}_1(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)}} \tag{4}$$

При виборі коефіцієнта γ таким, що

$\gamma \cdot \overline{\dot{U}_1(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)} \gg 1$, згідно [2] отримаємо (5):

$$\begin{aligned} \dot{K} &= -\frac{\overline{\dot{U}_0(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)}}{\overline{\dot{U}_1(t) \cdot \dot{U}_1^*(t)}} = \\ &= -\dot{\rho} \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_1 / \sigma_1^2 = -\dot{\rho} \sigma_0 / \sigma_1, \end{aligned} \tag{5}$$

де $\dot{\rho}$ – комплексний коефіцієнт кореляції процесів $\dot{U}_0(t)$ і $\dot{U}_1(t)$; σ_0, σ_1 – середньоквадратичні значення процесів $\dot{U}_0(t)$ і $\dot{U}_1(t)$.

Розрахунок коефіцієнта кореляції $\dot{\rho}$ здійснювався згідно виразу (6):

$$\dot{\rho} = \frac{\overline{\dot{U}_{OK}(t) \cdot \dot{U}_{DK}^*(t)}}{\sigma_{OK} \cdot \sigma_{DK}} \tag{6}$$

Середньоквадратичні значення процесів σ_{OK}, σ_{DK} розраховуються як корінь квадратний з дисперсії сигналів завад в основному та додатковому каналах прийому.

Позначення $\dot{U}_{DK}^*(t)$ – означає комплексне спряження.

Тоді процес на виході автокомпенсатора можна подати так (7):

$$\dot{U}_\Sigma(t) = \dot{U}_0(t) - \dot{\rho} \cdot \sigma_0 / \sigma_1 \cdot \dot{U}_1(t) \tag{7}$$

Потужність (дисперсія) процесу на виході автокомпенсатора (8) [2]:

$$\sigma_\Sigma^2 = 1/2 \cdot \overline{\dot{U}_\Sigma(t) \cdot \dot{U}_\Sigma^*(t)}. \tag{8}$$

Коефіцієнт придушення завад знайдемо як співвідношення потужності процесу (шумових завад) на вході автокомпенсатора до потужності процесу на його виході (9) [2]:

$$K_\Pi = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_\Sigma^2} = 1 / (1 - |\dot{\rho}|^2) \tag{9}$$

Отримані аналітичні вираження є результатом проведеного функціонального аналізу алгоритму роботи компенсатора АШЗ. У подальшому вони використовуються для проведення візуально

імітаційного моделювання з використанням пакета «Simulink».

Перед початком моделювання необхідно налаштувати параметри моделювання. Для цього в пакеті «Simulink» потрібно встановити: час моделювання Start time: 0, Stop time: 20; метод (крок) моделювання Type: Fixed-step (фіксований); Fixed-step size (fundamental sample time): 1/1000;

Solver: ode3(Bogacki – Shampoo). Тепер можна приступати до створення Simulink-моделі імітаторів вхідних сигналів для компенсатора АШЗ. Вхідними сигналами для компенсатора є сигнали АШЗ, власні шуми основного і додаткового каналів прийому та ехосигнали від цілі. Приклад Simulink-моделі імітатора АШЗ наведено на рис. 2.

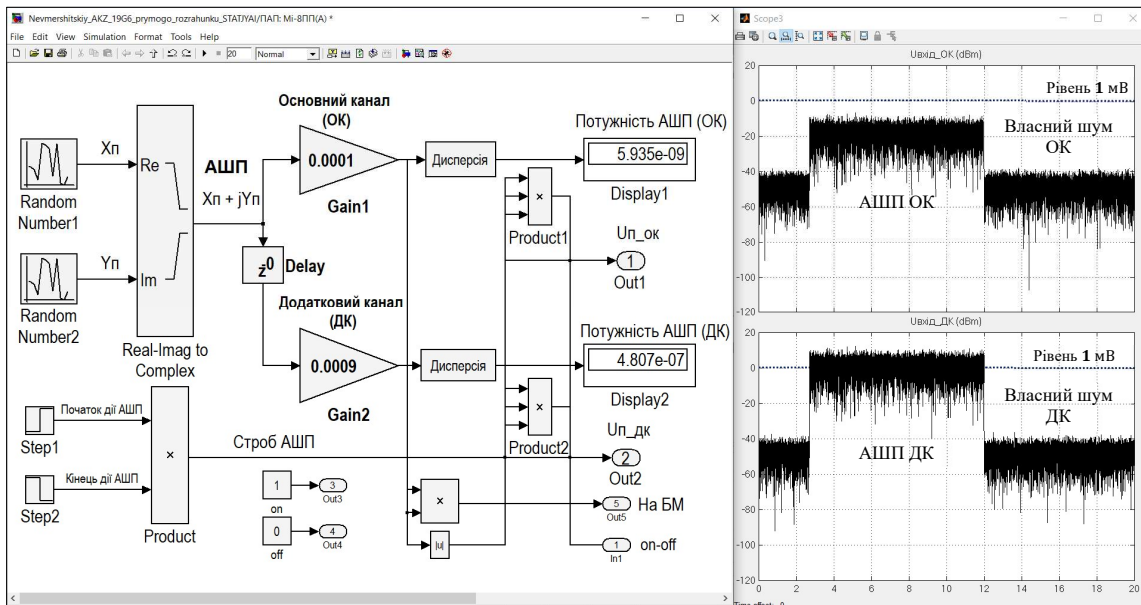


Рис. 2. Simulink-модель імітатора АШЗ

Як видно з рисунку, для імітації квадратурних складових АШЗ необхідно використовувати два блоки Random Number (бібліотека DSP System Toolbox). Для обох блоків (Random Number1 та Random Number2) необхідно встановити параметр Mean: 0; Variance: 1; Sample time: -1. Параметр Seed (зерно) для першого блока Random Number1 повинен бути Seed: 1, а для блока Random Number2 Seed: 567568 (будь-яке, але обов'язково інше).

За допомогою блока Real-Imag to Complex необхідно об'єднати квадратурні складові завади і спрямувати їх через два перемножувачі Product1 та Product2 до вихідних портів Out1 та Out2 відповідно. Для забезпечення зміни амплітуди і фази (затримки) комплексних амплітуд сигналів завад в основному та додатковому каналах прийому, до створеної схеми слід додати елементи Gain1 та Gain2 з бібліотеки Commonly Used Blocks, а також елемент затримки Delay бібліотеки DSP System Toolbox з пакета «Simulink». Для задавання інтервалу дії АШЗ під час імітації слід використовувати елементи Step1 та Step2, а також елемент Product, що формує цей інтервал (Строб АШЗ). Для вимірювання та відображення потужності сигналів, що імітуються в каналах, застосовуються блоки Дисперсія та Display1 і Display2. Результати створення Simulink-моделей імітатора власних шумів основного та додаткового каналів прийому та імітатора ехосигналів від цілі в

даній статті не наводяться, але підхід щодо їх створення залишається аналогічним. Далі необхідно послідовно створити спочатку Simulink-модель компенсатора АШЗ з кореляційним зворотним зв'язком, а вже після цього, на його базі, створити Simulink-модель компенсатора з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів.

На рисунку 3, для прикладу наведені Simulink-моделі алгоритмів компенсації АШЗ з кореляційним зворотним зв'язком та прямим розрахунком вагових коефіцієнтів відповідно. Візуалізація Simulink-моделей алгоритмів компенсації АШЗ показує, що основною відмінністю компенсатора з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів є відсутність зворотного зв'язку (рис. 3).

Крім цього, для розрахунку комплексного коефіцієнта передачі компенсатора використовується вираз (5), де у чисельнику розраховується кореляційний момент між завадою в основному і додатковому каналах прийому $\hat{U}_{OK} \cdot \hat{U}_{DK}^*$, а у знаменнику дисперсія завади, що діє у додатковому каналі прийому $\hat{U}_{DK} \cdot \hat{U}_{DK}^*$.

Приклади створених Simulink-моделей фазообертача на 90° та обчислювача кореляційного моменту між завадою у додатковому каналі й завадою на виході компенсатора наведено на рис. 4 і рис. 5.

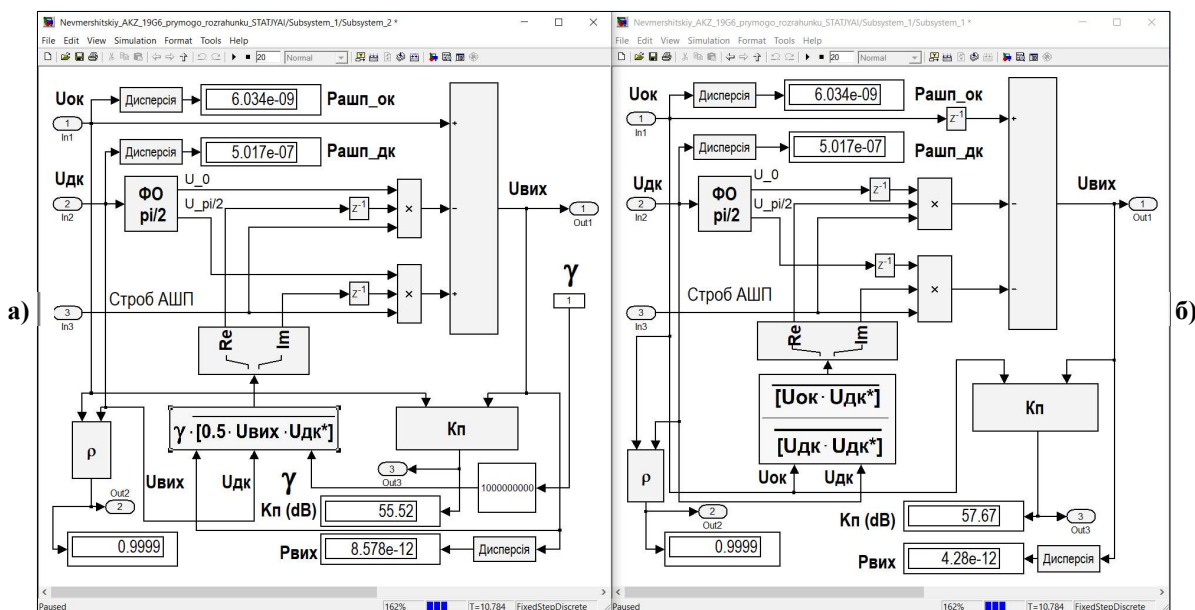


Рис. 3. Simulink-моделі алгоритмів компенсації АШЗ:
 а) з кореляційним зворотним зв'язком; б) з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів

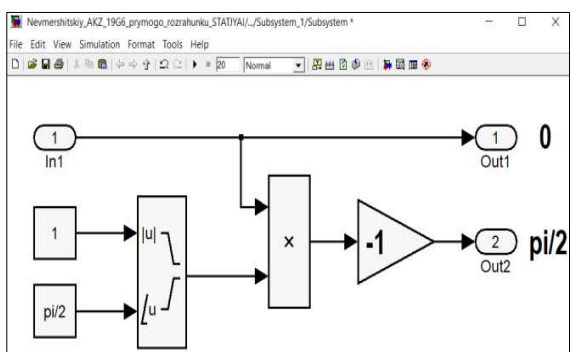


Рис. 4. Simulink-модель фазообертача на 90°

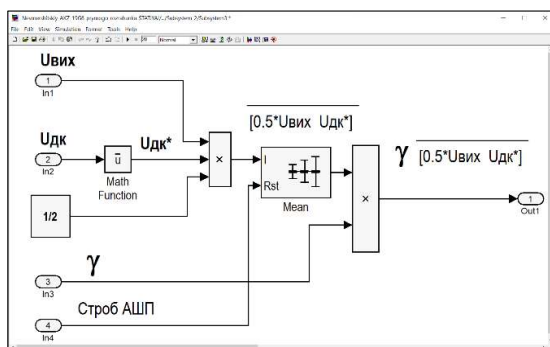


Рис. 5. Simulink-модель обчислювача кореляційного моменту між $\dot{U}_{Вих}$ та $\dot{U}_{Дк}$

Перед проведенням експерименту і оформленням результатів роботи компенсаторів завад, необхідно навести умови та вимоги, що ставилися перед початком проектування.

Перше – проектування та розробка здійснювалася компенсаторів АШЗ квадратурного типу, при цьому передбачалося, що амплітудно-частотні та фазочастотні характеристики основного і додаткового каналів компенсаторів ідентичні.

Друге – компенсатори працюють у режимі

компенсації бічних пелюсток, тобто забезпечують захист від одного джерела АШЗ, що діє за бічними пелюстками діаграми спрямованості антени РЛС. Такий захист реалізується шляхом використання просторової фільтрації, що полягає у застосуванні рознесених у просторі антен. Це призводить до погіршення компенсації АШЗ, чим більша її ширина спектру [2].

Виходячи з цього, третє – набір фази між каналами встановлений нульовим (рис. 2, параметр Delay units блока Delay задано: 0).

Четверте – власні шуми та активна шумова завада імітувалися блоками Random Number, що імітують випадковий сигнал з нормальним розподілом Гауса (рис. 2). Власні шуми в каналах компенсатора некорельовані, тому параметр Seed блоків Random Number, що імітують квадратурні складові шумових сигналів, необхідно задавати різними для основного та компенсаційного каналів.

У якості АШЗ імітується корельований шум також з нормальним розподілом Гауса. Параметри блоків Random Number1 та Random Number2 (рис. 2), що імітують квадратурні складові сигналу АШЗ, задані вище. Час дії АШЗ під час експерименту задавався за допомогою сигналу Строб АШЗ. За допомогою цього сигналу на вхід компенсаторів подавалися сигнали АШЗ-1 (короткотривала) та АШЗ-2 (довготривала). Потужність (дисперсія) АШЗ у основному та додатковому каналах прийому перевищувала потужність власних шумів каналів на 45– 50 дБ.

П'яте – усі імітаційні Simulink-моделі компенсаторів повинні передбачати розрахунок та відображення потужності (дисперсії) активної шумової завади на вході основного і додаткового каналів обробки ($P_{ашп_ок}, P_{ашп_дк}$), та на виході автокомпенсатора $P_{вих}$.

На рис. 6 наведено Simulink-модель розрахунку

дисперсії сигналів. Для створення моделі використовується блок Mean.

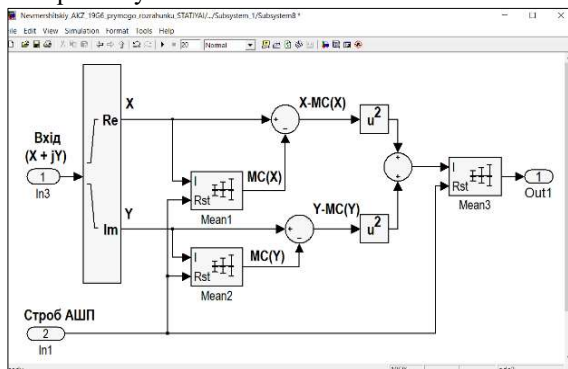


Рис. 6. Simulink-модель розрахунку дисперсії

Цей блок обчислює математичне сподівання вхідних даних векторів певної розмірності. Для того щоб блок Mean відстежував середнє значення в послідовності вхідних даних, необхідно встановити прапорець Running mean (поточне середнє). Крім цього, необхідно вказати подію скидання за допомогою параметра порту скидання Reset port: *Falling edge* (скидання поточного середнього за спадом імпульсу). Таке скидання відбуватиметься щоразу, коли на додатковому порту Rst блока Mean виявляється подія скидання. У нашому випадку це імпульс Строб АШП. Імпульс повинен бути позитивної полярності та кратним до часу вибірки вхідного сигналу.

Шосте – необхідно передбачити розрахунок коефіцієнта кореляції АШЗ у основному та додатковому каналах прийому (ρ). Такий розрахунок здійснюється згідно аналітичного виразу (6).

Приклад Simulink-моделі розрахунку коефіцієнта кореляції наведено на рис. 7.

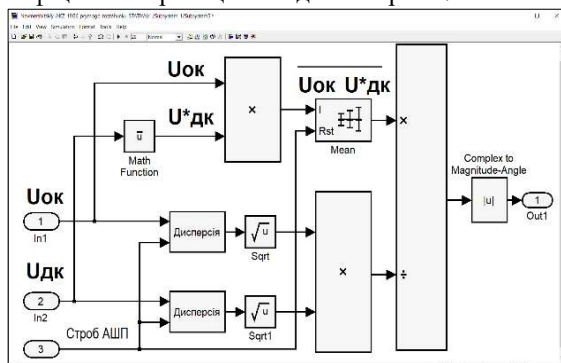


Рис. 7. Simulink-модель розрахунку коефіцієнта кореляції

Як бачимо, для отримання комплексно спряженої величини $U_{дк}^*$ використовується блок Math Function, параметр Function якого встановлений: *conj* (комплексне спряження). Блок Sqrt з бібліотеки математичних блоків Simulink/Math Operations призначений для визначення квадратного кореня з кожного елемента масиву вхідних даних. Параметр Function даного блока необхідно встановити: *sqrt*. Блок Complex to Magnitude-Angle з цієї ж бібліотеки приймає комплексний сигнал типу double або single. На

виході цього блока маємо модуль вхідного сигналу. Для цього параметр Output даного блока необхідно встановити: *Magnitude* (величина). Для розрахунку коефіцієнта придушення (компенсації) АШЗ використовується вираз (9). Розраховані значення коефіцієнта компенсації АШЗ наводяться в децибелах $K_p(dB)$. Simulink-модель розрахунку коефіцієнта компенсації АШЗ у даній статті не наводиться.

Сьоме – результат роботи квадратурного компенсатора АШЗ з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів необхідно було подати порівняно з квадратурним компенсатором АШЗ з кореляційним зворотним зв'язком. Осцилограми сигналів, за результатами експерименту, необхідно було подати за допомогою компонента Scope (осцилограф) з бібліотеки блоків Simulink/Sinks.

На рис. 8 наведено результати експерименту, зокрема осцилограми сигналів на вході (а) та виході (б, в) компенсаторів з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів та з кореляційним зворотним зв'язком відповідно. Праворуч показано результати розрахунку коефіцієнта придушення АШЗ (г) та осцилограма сигналу Строб АШП (д).

Результати експерименту свідчать, що компенсатор з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів має переваги порівняно з компенсатором з кореляційним зворотним зв'язком (рис. 8). Результати імітаційного моделювання підтверджують, що компенсатор з кореляційним зворотним зв'язком має перехідні процеси при адаптації (рис. 8, в). Як відомо з [2] тривалість таких перехідних процесів залежить від модуля (амплітуди) напруги комплексного завадового сигналу у додатковому (компенсаційному) каналі прийому та коефіцієнта підсилення у колі зворотного зв'язку γ .

Створена Simulink-модель імітатора АШЗ (рис. 2) дозволяє задавати будь-яку величину (амплітуди) напруги комплексного завадового сигналу в додатковому каналі прийому.

Для нашого випадку, за умовою експерименту, в межах сигналів Строб АШП1 і Строб АШП2 амплітуда напруги сигналу у додатковому каналі прийому змінювалася випадково у межах: 0,1 ... 4 мВ. Також завдяки Simulink-моделі компенсатора з кореляційним зворотним зв'язком (рис. 3) є можливість задання коефіцієнта підсилення у колі зворотного зв'язку. За умовою проведеного експерименту, він становив: $\gamma = 1,2 \cdot 10^8$. Відображені на рис. 8 результати експерименту свідчать, що γ стійкість роботи компенсатора завад з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів та його швидкодія вищі за компенсатор завад з кореляційним зворотним зв'язком. Це підтверджує швидкість зростання коефіцієнта придушення завади в часі. Оскільки час дії активної завади обмежувався сигналами Строб АШП1 та Строб АШП2, то за час дії завади алгоритм адаптації компенсатора з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів показав набагато кращий результат (рис. 8, г, д).

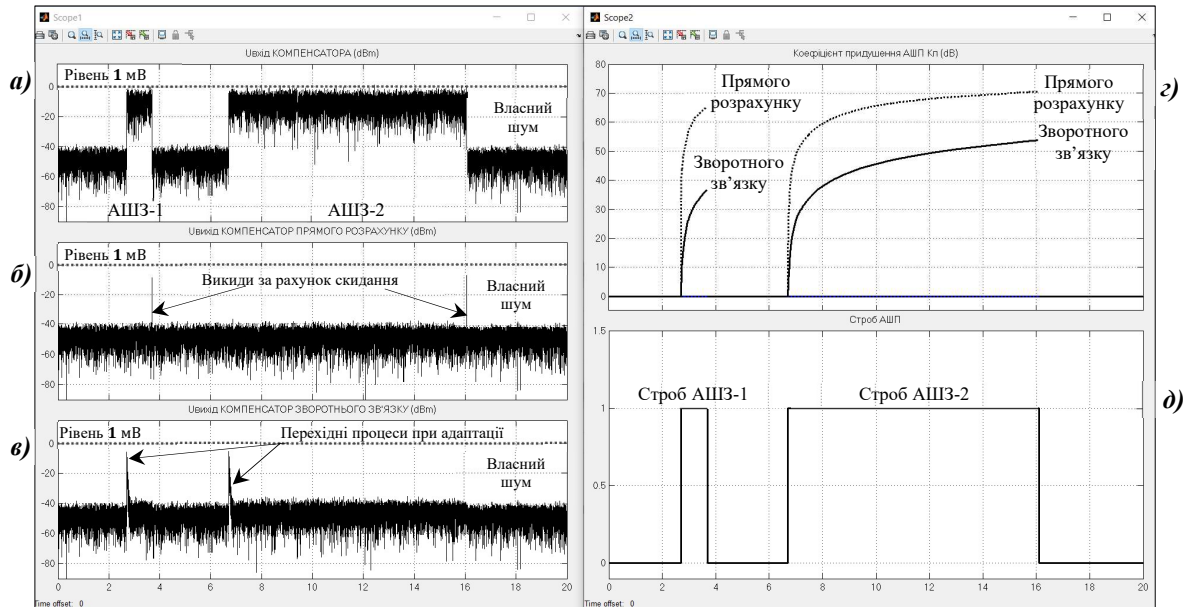


Рис. 8. Результати експерименту:

а) сигнали на вході компенсаторів завад; б) сигнали на виході компенсатора завад з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів; в) сигнали на виході компенсатора завад з кореляційним зворотним зв'язком; г) коефіцієнт придушення АШЗ; д) Строб АШЗ

Візуалізовані на рис. 8, б результати експерименту показують, що компенсатор з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів має два потужні викиди, що збігаються у часі зі спадами сигналів Строб АШЗ1 та Строб АШЗ2. Тривалість цих викидів дорівнює одному кроку модельного часу (у нашому випадку це 1/1000). Такі викиди під час роботи моделі пояснюються імпульсами з порту скидання Reset port: Falling edge. Це імпульси скидання поточного середнього за спадом імпульсу блоків Mean з бібліотеки DSP System Toolbox пакета Simulink.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Отже, під час проектування та розробки візуально-імітаційного Simulink-додатка, що імітує адаптивні алгоритми захисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових завад, слід використовувати принципи системного підходу. Вирішальним значенням, за такої розробки, є детальне проведення структурного та функціонального аналізу об'єкта моделювання.

Створений Simulink-додаток є потужним і універсальним засобом для дослідження та оцінки ефективності адаптивних алгоритмів захисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових завад. Наведені результати експерименту, із застосуванням створеного Simulink-додатка, підтверджують його

працездатність та не суперечать вже відомим результатам. Водночас експеримент засвідчив, що адаптивний алгоритм захисту радіолокаційних станцій від активних шумових завад з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів має переваги порівняно з адаптивним алгоритмом захисту радіолокаційних станцій від активних шумових завад з кореляційним зворотним зв'язком. Стійкість роботи алгоритму з прямим розрахунком вагових коефіцієнтів та його швидкість вищі за алгоритм з кореляційним зворотним зв'язком.

Висока наочність Simulink-додатка та результатів його роботи відкриває широкі можливості для викладачів стосовно його використання як дидактичного засобу навчання. Так, візуалізація процесів компенсації активних шумових завад, в реальному масштабі часу, сприяє розвитку творчих здібностей курсантів (студентів) завдяки індивідуалізації навчання та появи можливості самостійно виконувати й намагатися ухвалювати власні технічні рішення, що перетворює навчальний процес у захоплююче заняття.

Наприкінці зазначимо, що перспективними можуть стати дослідження спрямовані на вирішення актуального наукового завдання щодо створення нових та модернізації вже існуючих адаптивних алгоритмів захисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових завад.

Література

1. Дзбни Дж., Харман Т. Simulink® 4. Секрети мастерства / пер. с англ. М. Л. Симонова. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 403 с.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника

обработки радиолокационной информации на фоне помех. Москва : Радио и связь, 1981. 416 с.
3. Невмержицький І. М., Гризо А. А., Малишев О. А., Купрій В. М. Моделювання елементів систем озброєння

радіотехнічних військ засобами візуально-імітаційного моделювання Simulink. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2009. № 1(19). С. 66–69. 4. Невмержицький І. М., Гризо А. А., Калініченко І. І., Клименко Р. Ю. Візуально-імітаційне моделювання цифрового компенсатора несинхронних імпульсних завад, що реалізує подвійне перетворення Хартлі. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 4(24). С. 141–145. 5. Невмержицький І. М., Гризо А. А., Матвійчук М. А., Семенов В. С., Гуйда Е. І. Проктування візуально-імітаційних додатків для моделювання алгоритмів

селекції рухомих цілей існуючих та модернізованих РЛС РТВ за допомогою пакету Simulink. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 2(27). С. 105–109. 6. Невмержицький І. М., Дацків Ю. І., Сидоренко Д. С., Оленін О. М. Досвід використання в освітньому процесі університету Simulink-додатків для візуально-імітаційного моделювання алгоритмів перешкодозахисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ. *Системи обробки інформації*. 2019. № 1(156). С. 112–117.

DESIGNING OF A VISUAL SIMULATION SIMULINK APPLICATION FOR MODELING ADAPTIVE ALGORITHMS FOR THE PROTECTION OF RADARS OF RADIO ENGINEERING TROOPS AGAINST ACTIVE NOISE INTERFERENCE

Igor Nevmerzhitsky (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Andrii Hryzo (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

Artem Didkovskiy

Kharkiv national Air Force University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

The article gives the general principles for designing a visual simulation application for modeling adaptive algorithms for protecting radar stations of the radio engineering troops against active noise interference. The designing was made using the Simulink visual modeling software package of the MATLAB system. As adaptive protection algorithms, an active noise interference compensation algorithm with correlative feedback connection and direct calculation of weight coefficients was used. The correctness of the results of the Simulink application was confirmed during the experiment, where the simulated active noise interference, intrinsic noises of the main and additional receiving channels and echo signals of the target were input to the model. Simulation results are presented using the Scope component (oscilloscope) of the Sinks block library of the Simulink package. Recommendations are also given on the inclusion of the proposed application in the educational process of a technical university as a visual didactic learning tool.

Keywords: *Simulink application; visual simulation modeling; interference compensation.*

References

1. Dabney, J., Harman, T. (2003) Simulink® 4. Mastering Simulink 4. Translated from English by M. Simonova. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 403.
2. Shirman, Ya. D., Manzhos, V. N. (1981) Theory and technique of processing radar information against the background of interference, *Radio i svyaz*, Moscow, 416.
3. Nevmerzhitsky, I. M., Hryzo, A. A., Malyshev, O. A. and Kuprii, V. M. (2009), Modelling of elements of systems of arms of radio engineering armies by means of visual - imitating modelling Simulink. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 1(19), 66–69.
4. Nevmerzhitsky, I. M., Hryzo, A. A., Kalinichenko, I. I., Klimenko R. Ju. (2010) Visual-imitating modelling of the digital equalizer of the nonsynchronous pulse handicaps realizing double discrete transformation Hartly. *Systems of Arms and Military Equipment*, 4(24), 141–145.
5. Nevmerzhitsky, I. M., Hryzo, A. A., Matviychuk, M. A., Semenov, V. S. and Guyda, E. I. (2017) Designing visual-imitating applications for modeling algorithms of selection of moving targets for existing and modernized RTV radars with Simulink package. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 2(27), 105–109.
6. Nevmerzhitsky, I. M., Datskiv, Y. I., Sidorenko, D. S., Olenin, O. N. (2019) Experience of use in the educational process of the university Simulink-applications for visual-imitation modeling of interference protection algorithms of radiolocation stations of radiotechnical troops. *Information Processing Systems*, 1(156), 112–117.