

УДК 621.396

І.М. Невмержицький, А.А. Гризо, І.І. Калініченко, Р.Ю. Кліменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВІЗУАЛЬНО-ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ СРЦ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ХАРТЛІ

Стаття присвячена візуально-імітаційному моделюванню цифрової системи селекції рухомих цілей (СРЦ), що реалізує дискретне перетворення Хартлі (ДПХ). Візуально-імітаційна модель системи СРЦ створена завдяки використанню засобу візуального моделювання Simulink. Надані рекомендації щодо використання запропонованої візуально-імітаційної Simulink-моделі СРЦ для планування та проведення широкого спектра досліджень.

**Ключові слова:** візуально-імітаційне моделювання, селекції рухомих цілей, перетворення Хартлі.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При розробці візуально-імітаційних моделей функціонування складних технічних систем виникають труднощі, що насамперед пов'язані з моделюванням специфічних (візуальних) процедур, на які розробником витрачається часу й сил більше, ніж на розробку самої імітаційної моделі системи, а у випадку недостатньої кваліфікації розробника, або необхідності досить швидкого виконання роботи проблему вирішити своєчасно просто не вдається.

Враховуючи це, необхідною умовою для успішного візуально-імітаційного моделювання складних технічних систем є вибір таких засобів моделювання, які забезпечать швидку та якісну розробку моделей, як самих систем, так і процесів, що в них протікають. Тому, питання практичної реалізації процедур організації моделювання складних технічних систем сучасними візуально-імітаційними засобами є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні для швидкого створення моделей функціонування складних технічних систем широко використовуються універсальні пакети візуально-імітаційного моделювання такі як VisSim, Simulink та інші. Ці пакети мають дружній інтерфейс, реалізують велику кількість стандартних математичних операцій, оснащені потужними графічними засобами комплексної візуалізації та мають багаті бібліотеки спеціалізованих блоків типових підсистем. Все це надає широкі можливості для ефективної роботи спеціалістів різних галузей, про що свідчить їх активне використання в наукових дослідженнях та у навчальному процесі технічних університетів [5].

Серед сучасних засобів візуально-імітаційного моделювання особливої уваги заслуговує пакет Simulink із складу системи MATLAB. Цей пакет призначений для імітаційного моделювання систем, які представлені у вигляді структурних схем (графічних блоків із заданими параметрами) [1]. Видання остан-

ніх років присвячені в основному опису пакету MATLAB/Simulink та орієнтовані перш за все на його використання для вирішення розрахункових задач та аналітичного моделювання [2] і не торкаються розгляду питань, які стосуються візуально-імітаційного моделювання складних технічних систем.

Тому **метою даної статті** є намагання авторів розкрити питання практичної реалізації процедур організації візуально-імітаційного моделювання на прикладі створення Simulink-моделі алгоритму роботи цифрової системи селекції рухомих цілей, що реалізує дискретне перетворення Хартлі. Структура та алгоритм роботи такої СРЦ детально розглянуті у [4].

### Виклад основного матеріалу

В системі візуально-імітаційного моделювання Simulink для представлення у вигляді структурної схеми об'єкта моделювання не потрібно написання коду програми. Це пов'язано з наявністю в даному пакеті розширення бібліотек готових програм, які можна досить вдало використовувати для побудови візуально-імітаційних моделей.

Основні загальні етапи візуально-імітаційного моделювання системи СРЦ, що реалізує дискретне перетворення Хартлі, засобами SIMULINK розкриті далі. Вони можуть бути розширені в залежності від ступеня деталізації системи та її складності, а також фахової підготовки розробника та можливостей пакету розширення Simulink.

При побудові візуально-імітаційної моделі системи СРЦ, що реалізує перетворення Хартлі, використовувалась структурна схема, наведена на рис. 1. Структурний аналіз показав, що ця схема має у своєму складі два аналого-цифрових перетворювачі (АЦП) і спецобчислювач, що здійснює когерентне накопичення пачок імпульсів відбитих сигналів з метою поділу по фазовим фільтрам корисних сигналів і сигналів пасивних завад.

Аналітичні вирази для алгоритму роботи даної схеми СРЦ детально описані в [4].

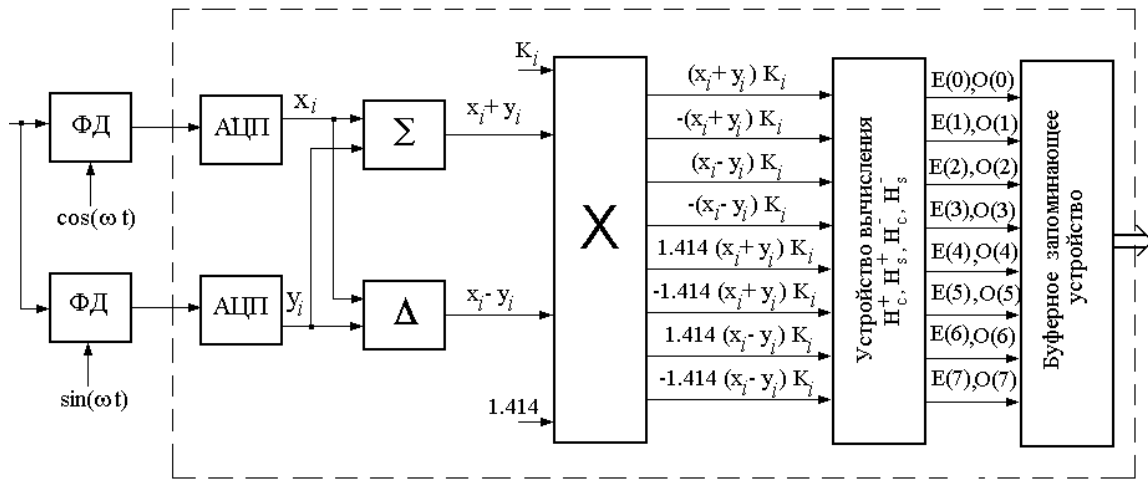


Рис. 1. Структурна схема системи СРЦ, що реалізує перетворення Хартлі

Як видно з рис. 1, дискретне перетворення Хартлі здійснюється над двома квадратурними складовими вхідного сигналу, що є дійсною функцією  $S_i$ , ( $S_i = X_{ci} + j Y_{si}$ ,  $i=1 \dots N$ ), у векторному вигляді маємо:

$$X_{ci} = (x_1, \dots, x_k, \dots, x_N)^T; Y_{si} = (y_1, \dots, y_k, \dots, y_N)^T,$$

де  $x_k = U_{ck} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_d \cdot T \cdot k + \psi_k)$ ,

$y_k = U_{sk} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_d \cdot T \cdot k + \psi_k)$  – косинусна і синусна складові прийнятого коливання  $S_i$ .

Simulink-модель імітатора вхідних сигналів наведена на рис. 2 (внутрішня структура основного блоку розкрита окремо). Для випадку  $N=8$  на виході імітатора маємо дискретні значення обох квадратурних складових  $X_{ci}$  (Out2) і  $Y_{si}$ , (Out3).

**Simulink - модель імітатора вхідних сигналів**

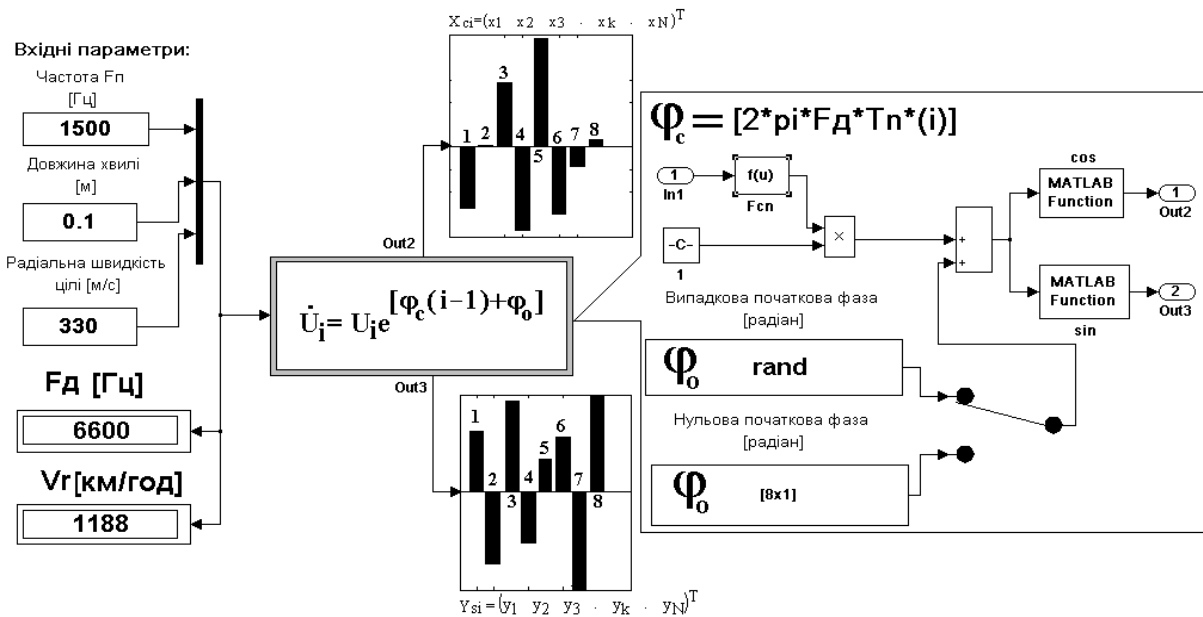


Рис. 2. Simulink – модель імітатора вхідних сигналів

Для зменшення числа перемножувань в пристрої множення (рис. 1) спочатку обчислюються сума ( $X_{ci} + Y_{si}$ ) і різниця ( $X_{ci} - Y_{si}$ ) сигналів двох квадратурних каналів, а потім здійснюється їхнє множення на ваговий коефіцієнт 1,414. Для забезпечення роботи всіх доплерівських каналів перемно-

жувач має 8 виходів (рис. 1). У загальному виді алгоритм роботи даної схеми можна представити за допомогою матричних множень вигляду:

$$E_{ДПХ} = \begin{pmatrix} H_c^+ + H_s^- \\ 2 \end{pmatrix}, \quad O_{ДПХ} = \begin{pmatrix} H_s^+ - H_c^- \\ 2 \end{pmatrix},$$

де  $E_{ДПХ}$  і  $O_{ДПХ}$  відповідно парна і непарна складові перетворення Хартлі [3].

Перетворення Хартлі для двох квадратурних складових, відповідно  $H_C^+$  і  $H_S^+$ , мають вигляд:

$$H_C^+ = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot CAS^+ \cdot (X_C + Y_S),$$

$$H_S^+ = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot CAS^- \cdot (X_C + Y_S).$$

Перетворення Хартлі для 2-х дзеркальних зображень квадратурних складових, відповідно  $H_C^-$  і  $H_S^-$ , мають такий вигляд:

$$H_C^- = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot CAS^+ \cdot (X_C - Y_S),$$

$$H_S^- = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot CAS^- \cdot (X_C - Y_S).$$

Для одержання енергетичного спектра  $G(v)$  функції  $S(t)$  досить звести в квадрат парну і непарну складові перетворення Хартлі [4].

$$\text{Маємо: } G(v) = (E_{ДПХ})^2 + (O_{ДПХ})^2.$$

На рис. 3 показана Simulink-модель пристрою розрахунку енергетичного спектру  $G(v)$  функції  $S(t)$ , безпосередньо з перетворення Хартлі.

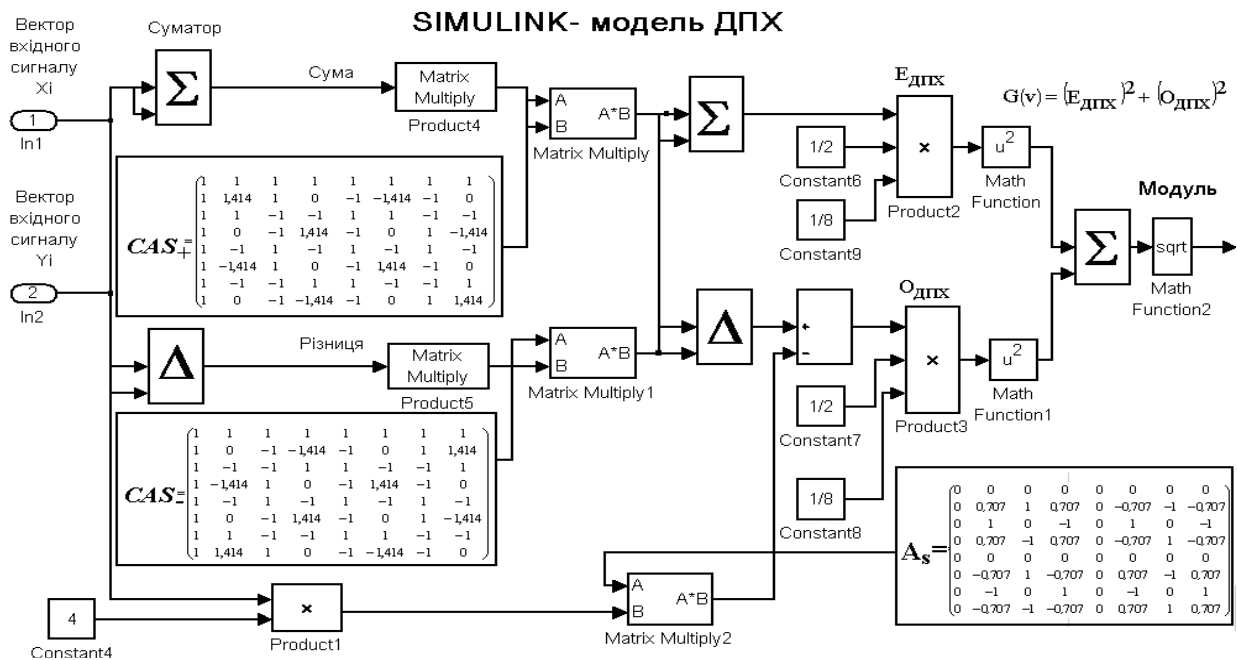


Рис. 3. Simulink – модель ДПХ

На рис. 4, а, б показані енергетичні спектри  $G(v)$  функції  $S(t)$ , розраховані з використанням даного алгоритму для наступних вихідних даних: частота повторювання імпульсів на виході блоку фазових детекторів  $F_n=1500$  Гц, довжина хвилі  $\lambda=0,1$  м, радіальна швидкість цілі  $V_r=330$  м/с. Результат когерентного накопичення ехо-сигналів від цілі у визначеному кільці дальності показаний для випадку відсутності згладжування (рис. 5, а) та для випадку трикутного згладжування (рис. 5, б) з коефіцієнтами:  $K_1=K_8=0,15$ ;  $K_2=K_7=0,40$ ;  $K_3=K_6=0,75$ ;  $K_4=K_5=1$ .

Передбачена можливість проведення досліджень для різних варіантів наборів вагових коефіцієнтів згладжування (Bartlett, Blackman, Chebyshev, Hamming, Hann, Kaiser). Задаючи різні набори коефіцієнтів згладжування можна досліджувати та наочно оцінювати рівень бічних пелюсток АФХ фазових фільтрів.

В Simulink-моделі СРЦ, що реалізує дискретне перетворення Хартлі, передбачена можливість проведення досліджень впливу на цифрову систему первинної обробки РЛС різного виду завад (активних, пасивних, несинхронних імпульсних).

Так, наприклад, якщо несинхронна імпульсна завада (НІЗ) уражає тільки один з  $N$  відліків прийнятої частотної пачки, тобто в обробляемому кільці дальності серед  $N$  імпульсів присутня НІЗ лише в одному з періодів, то результат когерентного накопичення за алгоритмом ДПХ дасть однаковий відгук за амплітудою на виходах усіх фазових фільтрів. Цей факт наглядно ілюструє рис. 5, а. Цікавим, при дослідженні впливу НІЗ на СРЦ, є той факт, що після когерентної обробки відгук НІЗ присутній у всіх фільтрах з однаковим модулем амплітуди, але зсув фази між спектральними складовими НІЗ сусідніх фільтрів ДПХ постійний та визначається часом надходження одиничної завади на вхід системи СРЦ.

Таким чином, одинична НІЗ має рівномірний амплітудний та лінійно змінний фазові спектри. Важливо відмітити, що в Simulink-моделі СРЦ при імітуванні НІЗ передбачена можливість її створення в різних періодах зондування та різних кільцях дальності.

Крім того, для ускладнення сигнально-завадової обстановки передбачена можливість імітації декількох імпульсів НІЗ на одну частотну пачку зондувальних

імпульсів. Як видно з рис. 5, б амплітудний портрет спектру таких імпульсів перестає бути рівномірним.

### Висновки

Завдяки використанню засобу візуально-імітаційного моделювання Simulink існує можливість для створення імітаційних моделей складних технічних систем та проведення широкого спектра досліджень процесів, що в них протікають, при мінімальних витратах часу та коштів.

Практична значимість запропонованої Simulink-моделі ДПХ полягає в тому, що завдяки простій та наочній внутрішній структурі описаних блоків з'являється можливість щодо її використання у якості ілюстративного матеріалу у вузівських навчальних дисциплінах, пов'язаних з імітаційним моделюванням. За рахунок одночасного сприйняття мовної і візуальної інформації, наочної ілюстрації положень, про які йде мова на занятті, вдається значно підвищити ефективність занять

### Список літератури

1. Дэбни Дж. Simulink® 4. Секреты мастерства: пер. с англ. М.Л. Симонова / Дж. Дэбни. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 403 с.
2. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений; под общ. ред. В.Г. Потемкина / И.В. Черных. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
3. Брейсуэлл Р.Н. Преобразование Хартли: пер. с англ. / Р.Н. Брейсуэлл. – М.: Мир, 1990. – 175 с.
4. Невмержицкий И.М. Цифровая система селекции движущихся целей, использующая преобразование

Хартли / И.М. Невмержицкий, Ю.Г. Ульянов, Ю.А. Сырык // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2003. – Вып. 132. – С. 14-17.

5. Невмержицкий И.М. Удосконалення викладання військово-технічних дисциплін шляхом використання технології візуалізації навчання / И.М. Невмержицкий, А.А. Гризо // Навчально-виховний процес: методика, досвід, проблеми. Науково-методичний зб. ХУПС ім. І. Кожедуба, 2007. – №3-4 (105-106). – С. 29-34.

Надійшла до редколегії 5.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Р.Е. Пащенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВИЗУАЛЬНО-ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СДЦ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАРТЛИ

И.М. Невмержицкий, А.А. Гризо, И.И. Калиниченко, Р.Ю. Клименко

Статья посвящена визуально-имитационному моделированию цифровой системы селекции движущихся целей (СДЦ), реализующей дискретное преобразование Хартли (ДПХ). Визуально-имитационная модель системы СДЦ создана с помощью использования средства визуального моделирования Simulink. Приведены рекомендации по использованию предложенной визуально-имитационной Simulink-модели СДЦ для планирования та проведения широкого спектра исследований.

**Ключевые слова:** визуально-имитационное моделирование, селекция движущихся целей, преобразование Хартли.

### VISUAL-IMITATING MODELLING DIGITAL SYSTEM SMP, REALIZING DISCRETE TRANSFORMATION HARTLY

I.M. Nevmerzhitsky, A.A. Grizo, I.I. Kalinichenko, R.Yu. Klimentko

Article is devoted to visual-imitating modelling of digital system of selection of the moving purposes ((SMP) realizing discrete transformation Hartly (DTH). The visual-imitating model system SMP is created with the help of use of means of visual modelling Simulink. Recommendations on use visual-imitating Simulink-models SMP for planning that carrying out of a wide spectrum of researches are resulted.

**Keywords:** visual-imitating modelling, selection of the moving purposes, transformation Hartly.

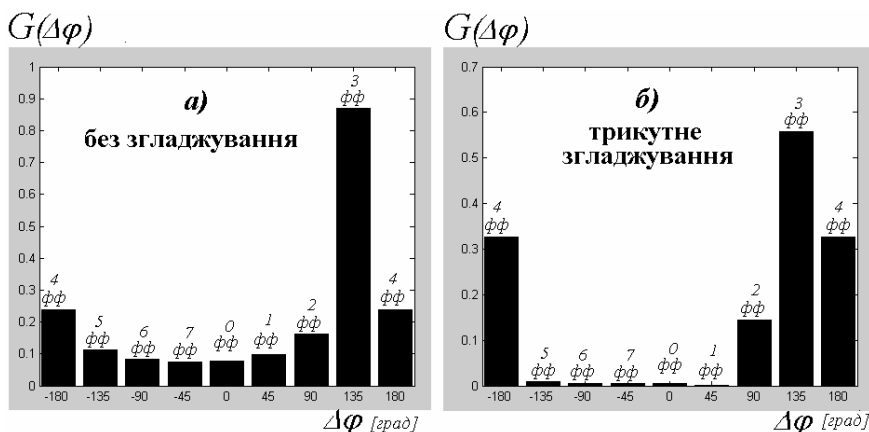


Рис. 4. Результат когерентного накопичення ехо-сигналів від цілі

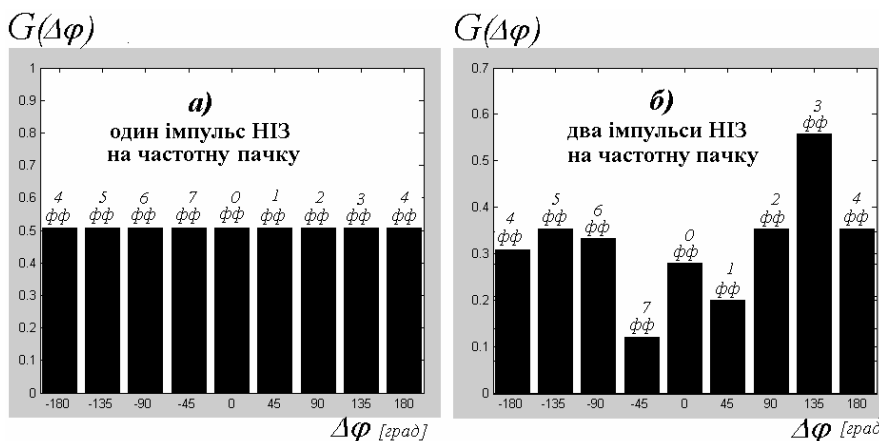


Рис. 5. Результат когерентного накопичення сигналів НІЗ