

УДК 681.518.2

Шантир А., канд. техн. наук, Шантир С., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. І. Сікорського

Розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими в змішаному потоці імпульсних сигналів

Запропоновано спосіб розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими в змішаному потоці імпульсних сигналів, який дозволяє визначити амплітуду, частоту повторення та відносне положення кожної з послідовностей імпульсів на інтервалі накопичення без безпосереднього виділення цих послідовностей. Наведені результати моделювання, які підтверджують ефективність запропонованого способу для розпізнавання джерел несправностей машин та механізмів у вирішенні задач діагностики та прогнозування технічного стану сільськогосподарської техніки.

Ключові слова: діагностика несправностей машин, джерела несправностей, змішаний потік імпульсних сигналів.

Вступ. Задача розпізнавання джерел несправностей та визначення їхніх параметрів є поширеною в галузі контролю, діагностики та прогнозування технічного стану машин і механізмів сільськогосподарської техніки. Якість її вирішення залежить від багатьох факторів і, по-перше, від апріорної невизначеності щодо властивостей джерел, наявності зовнішніх факторів,

таких як стабільність результатів спостережень параметрів і характеристик джерел, виникнення завад та шумів, а також обмежень і недоліків способу, який застосовується.

Мета роботи – розроблення способу та алгоритму розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими у змішаному потоці імпульсних сигналів.

© Шантир А., Шантир С. 2017

Основна частина. Селекція імпульсних послідовностей. Нехай на інтервалі часу T отримана дискретна реалізація X вибіркового значення X , яка являє собою або одиночну імпульсну послідовність (ІП), або змішану з двох ІП X_1 і X_2 , як показано на рис. 1. Обробляючи X , слід прийняти рішення: вихідний сигнал утворено з однієї чи двох ІП і дати оцінку параметрів кожної з них.

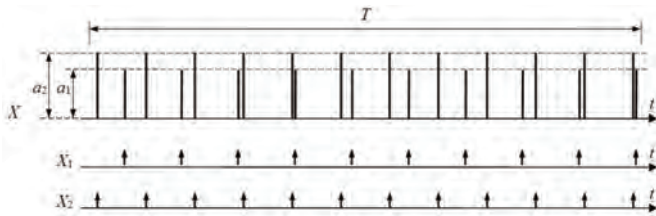


Рис. 1 – Дискретна реалізація X

Для цього (рис.1) ідеалізованого випадку можна скласти систему рівнянь

$$\begin{cases} n = n_1 + n_2 \\ A_1 = a_1 n_1 + a_2 n_2 \\ A_2 = a_1^2 n_1 + a_2^2 n_2 \\ A_3 = a_1^3 n_1 + a_2^3 n_2 \end{cases} \quad (1)$$

де n – загальна кількість імпульсів у реалізації; n_1 , n_2 і, a_1 , a_2 – кількість імпульсів і їхні амплітуди в першій та другій ІП, відповідно; A_1 , A_2 і A_3 – сума амплітуд, квадратів амплітуд і кубів амплітуд імпульсів реалізації.

Вирішуючи систему рівнянь (1), можна визначити кількість імпульсів на певному інтервалі часу в імпульсній послідовності n_1 і n_2

$$n_1 = \frac{a_2 n - A_1}{a_2 - a_1}, \quad n_2 = \frac{(A_1 - a_1 n)}{a_1 - a_2}$$

Такий спосіб селекції ІП у змішаному потоці імпульсних сигналів має обмеження. Якщо амплітуди імпульсів у кожній з ІП рівні $a = a_1 = a_2$, що в загальному випадку малоймовірно, система рівнянь (1) не має рішення. Аналогічна ситуація має місце і тоді, коли X утворена одиночною ІП. Тому, якщо $A_1^2 \approx A_2 n$, то слід вважати, що X утворена однією ІП. Якщо ж цей вираз не можна визнати справедливим, то необхідно розглядати X як суміш двох ІП X_1 і X_2 , характеристики яких можуть бути відновлені шляхом розв'язання системи рівнянь (1). Крім визначених обмежень, недолік цього способу селекції є у відносно малій точності визначення частоти повторення імпульсів у реалізації. Ефективність селекції ще більш знижується від впливу реальних шумів (флуктуацій амплітуди в ІП, виниклих шумових імпульсів та ін.).

Спосіб розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими в змішаному потоці імпульсних сигналів. Виконаємо формування з вихідного

змішаного потоку імпульсних сигналів з двох ІП X_1 і X_2 потік, у якому кожному імпульсу привласнена однакова амплітуда. У результаті отримаємо дві змішані імпульсні послідовності – вихідну послідовність X і послідовність X' імпульсів з одиничною амплітудою, отриману із послідовності X . Таким чином, послідовності X і X' , можна подати у вигляді

$$X = a_1 X_1^* + a_2 X_2^*, \quad X' = X_1^* + X_2^*$$

Застосувавши дискретне перетворення Фур'є [Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ./ под ред. Ю.Н.Александрова. –М.: Мир, 1978. –848 с.: ил.] на інтервалі спостереження T за дискретності за часом Δt та через адитивність перетворення для складових імпульсного сигналу X_1 і X_2 з урахуванням нормування складових часткових спектрів, нормований спектр послідовності X' можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} \overline{G}_{Sm}(X') &= \overline{G}_{Sm}(X_1) p_1 + \overline{G}_{Sm}(X_2) p_2 \\ \overline{G}_{Cm}(X') &= \overline{G}_{Cm}(X_1) p_1 + \overline{G}_{Cm}(X_2) p_2, \quad (2) \\ p_1 &= \frac{n_1}{n}, \quad p_2 = \frac{n_2}{n} \quad \text{при } p_1 > 0, p_2 < 1, \\ p_1 + p_2 &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

де m – номер складової спектру ($m = 0, 1, \dots, M$), де M – максимальний номер, який дорівнює половині числа L розбиття інтервалу спостереження T на часові дискрети Δt). Відповідно, нормований спектр послідовності X :

$$\begin{aligned} \overline{G}_{Sm}(X) &= \overline{G}_{Sm}(X_1) q_1 + \overline{G}_{Sm}(X_2) q_2 \\ \overline{G}_{Cm}(X) &= \overline{G}_{Cm}(X_1) q_1 + \overline{G}_{Cm}(X_2) q_2, \quad (4) \\ q_1 &= \frac{a_1 n_1}{A}, \quad q_2 = \frac{a_2 n_2}{A} \quad \text{при} \\ q_1 > 0 \quad q_2 < 1, \quad q_1 + q_2 &= 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Побудуємо в прямокутній системі координат G_S , G_C (рис. 2) вектор OE m -ї складової нормованого спектра послідовності X і вектор OF аналогічної спектральної складової послідовності X' . Відповідно співвідношенням (2) ... (5) точки D і H , які є вершинами векторів невідомих нормованих часткових спектрів послідовностей X_1 і X_2 , розташовані на прямій, яка з'єднує точки E і F так, що виконуються співвідношення:

$$\frac{EH}{DH} = q_1, \quad \frac{ED}{DH} = q_2, \quad \frac{FH}{DH} = p_1, \quad \frac{FD}{DH} = p_2. \quad (6)$$

Визначивши величини n_2 , a_2 , n_1 і n_2 розв'язанням системи рівнянь (1) методом, який описано вище, за формулами (3) і (5) неважко знайти вагові коефіцієнти

p_1, p_2, q_1 і q_2 та на основі співвідношень (6) визначити складові часткових спектри:

$$G_{Sm}(X_1) = \frac{\bar{G}_{Sm}(X)q_1 - \bar{G}_{Sm}(X)p_1}{p_2q_1 - q_2p_1},$$

$$G_{Cm}(X_1) = \frac{\bar{G}_{Cm}(X)q_1 - \bar{G}_{Cm}(X)p_1}{p_2q_1 - q_2p_1},$$

$$G_{Sm}(X_2) = \frac{\bar{G}_{Sm}(X)q_2 - \bar{G}_{Sm}(X)p_2}{p_1q_2 - q_1p_2},$$

$$G_{Cm}(X_2) = \frac{\bar{G}_{Cm}(X)q_2 - \bar{G}_{Cm}(X)p_2}{p_1q_2 - q_1p_2}.$$

Повторюючи вказану процедуру для всіх m , відновлюємо часткові спектри послідовностей X_1 і X_2 . Оскільки дані спектри є спектрами частот повторення імпульсів, то перші гармоніки їх є шукані оцінки цих частот.

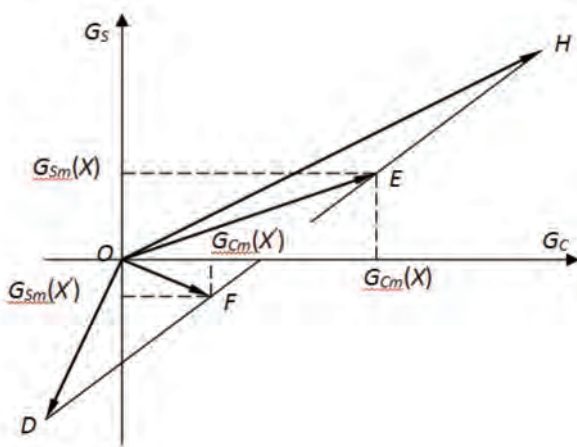


Рис. 2 – Вектор m -ї складової спектра ІП X_1 і X_2

Алгоритм розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими в змішаному потоці імпульсних сигналів, який реалізує запропонований спосіб, подано на рис. 3.

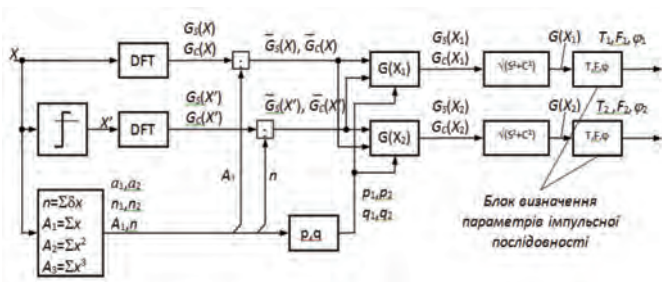


Рис. 3 – Алгоритм розпізнавання джерел

Результати дослідження запропонованого способу розпізнавання джерел у змішаному потоці імпульсних сигналів подані на рис. 4 та рис. 5. Часові реалізації змішаної імпульсної послідовності X і послідовності імпульсів з одиничною амплітудою X' та їх амплітудні спектри $G_X(f)$ і $G_{X'}(f)$ показані на рис. 4а, 4с та

рис. 4б, 4д, відповідно.

Істинні амплітудні спектри $G_{X_1}^*(f)$ і $G_{X_2}^*(f)$ моделей реалізації ІП X_1 і X_2 та амплітудні спектри $G_{X_1}(f)$ і $G_{X_2}(f)$ ІП X_1 і X_2 , отримані в результаті обробки реалізації вихідного змішаного потоку імпульсних сигналів X за алгоритмом, який реалізує запропонований спосіб, показані на рис. 5а та рис. 5б, відповідно.

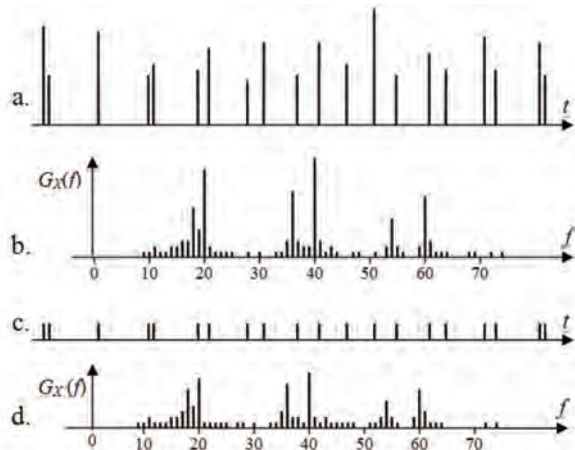


Рис. 4 – Реалізація та спектр змішаного потоку імпульсних сигналів X

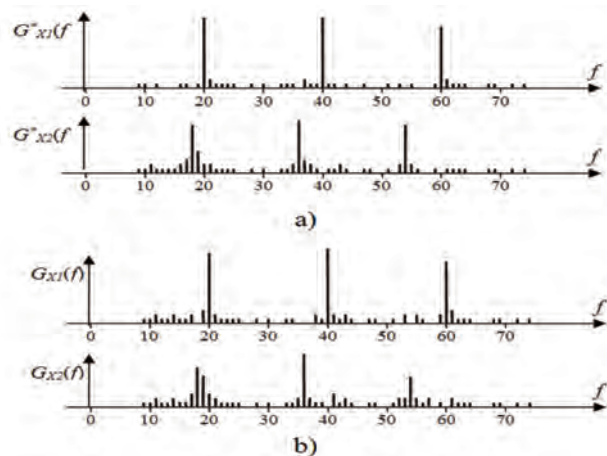


Рис. 5 – Спектри ІП X_1 і X_2 : а) моделей реалізації ІП X_1 і X_2 ; б) ІП X_1 і X_2 вихідного змішаного потоку імпульсних сигналів X

Висновки.

1. Запропонований спосіб забезпечує визначення параметрів ІП (амплітуда, частота), а за співвідношенням синусних і косинусних складових першої гармоніки спектра дозволяє визначити відносне положення кожної із послідовностей X_1 і X_2 на часовому інтервалі T без безпосереднього виділення цих послідовностей.

2. Дослідження запропонованого способу показали що він не має обмежень порівнянно з селектором ІП на основі розв'язання системи алгебраїчних рівнянь і забезпечує більш ефективно розпізнавання джерел за їхніми регулярними складовими в змішаному потоці

імпульсних сигналів за флуктуацій амплітуди в ІП та виникнення шумових імпульсів.

3. Застосування запропонованого способу підвищує якість розпізнавання джерел несправностей та визначення їхніх параметрів у вирішенні задач діагностики та прогнозування для реалізації обслуговування машин і механізмів сільськогосподарської техніки, орієнтованого на їхній технічний стан.

Аннотация. Предложен способ распознавания источников по их регулярным составляющим в смешанном потоке импульсных сигналов, который позволяет определить амплитуду, частоту повторения и относительное положение каждой из последовательностей импульсов на интервале накопления без непосредственного выделения этих последовательностей. Приведены результаты моделирования, которые подтверждают эффективность предложенного способа

для распознавания источников неисправностей механизмов и машин при решении задач диагностики и прогнозирования технического состояния сельскохозяйственной техники.

Summary. A method for recognizing sources by their regular components in a mixed flux of pulse signals is proposed, which makes it possible to determine the amplitude, frequency of repetition and the relative position of each of the pulse sequences in the accumulation interval without direct isolation of these sequences. The results of modeling are presented which confirm the effectiveness of the proposed method for recognizing the sources of malfunctions of mechanisms and machines in solving problems of diagnosis and prediction of the technical condition of agricultural machinery.

Стаття надійшла до редакції 13 травня 2017 р.