

ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДИФІКОВАНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА ДРОБОВОГО ПОРЯДКУ

Мартинюк В. В., к.т.н., доцент; Федула М. В., аспірант
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Виявлення періодичних сигналів в умовах відношення сигнал/шум менше одиниці є одним із головних питань сучасної радіотехніки. У 1990-х роках були розроблені принципово нові методи виявлення слабких сигналів на основі застосування систем із хаотичною динамікою. На даний час на основі таких методів розроблені системи, які дозволяють виявити періодичний сигнал в умовах співвідношення сигнал/шум значно меншого від одиниці [1].

В той же час, останніми роками ведуться розробки нової елементної бази радіоелектронних засобів на основі пристроїв, які реалізують операції інтегрування дробового порядку. Активно проводяться дослідження можливості підвищення ефективності пристроїв обробки слабких сигналів із застосуванням елементів дробового порядку. Проте, як правило, розглядаються лише можливості їх використання як малошумлячих елементів та елементів із постійним фазовим зсувом [2].

У даній роботі пропонується спосіб виявлення слабких періодичних сигналів із застосуванням модифікованої хаотичної системи Дуффінга-Холмса дробового порядку, яка описується диференціальним рівнянням:

$$D^p x(t) + kD^q x(t) - c_1 x^3(t) + c_2 x^5(t) = \gamma \sin(\omega t).$$

Прийmemo $q = \alpha$, $p = 1 + \alpha$, $0 < \alpha < 2$, $c_2 = [1 + as(t)]$. Тоді отримаємо рівняння (1):

$$D^{1+\alpha} x(t) + kD^\alpha x(t) - x^3(t) + [1 + as(t)]x^5(t) = \gamma \sin(\omega t). \quad (1)$$

Для імітаційного моделювання процесу виявлення періодичних сигналів модифікованою системою Дуффінга-Холмса дробового порядку (1) використано пакет програм MATLAB/Simulink.

В процесі моделювання у якості інтегратора дробового порядку використовується бібліотека «Fractional Variable Order Derivative Simulink Toolkit», яка є офіційним доповненням до стандартних бібліотек Simulink.

Дробова похідна розраховується за формулою Грюнвальда-Летнікова:

$${}_0 D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{r=0}^n (-1)^r \binom{\alpha}{r} f(t - rh),$$

де $n = t/h$ — номер відліку похідної; додатні порядки $\alpha > 0$ блоку відповідають операціям диференціювання, а від'ємні $\alpha < 0$ — інтегрування.

При дробовому порядку $\alpha = 1,001$ виявлення періодичного сигналу спостерігається в умовах $\text{сигнал} / \text{шум} = -105$ дБ (рис.1).

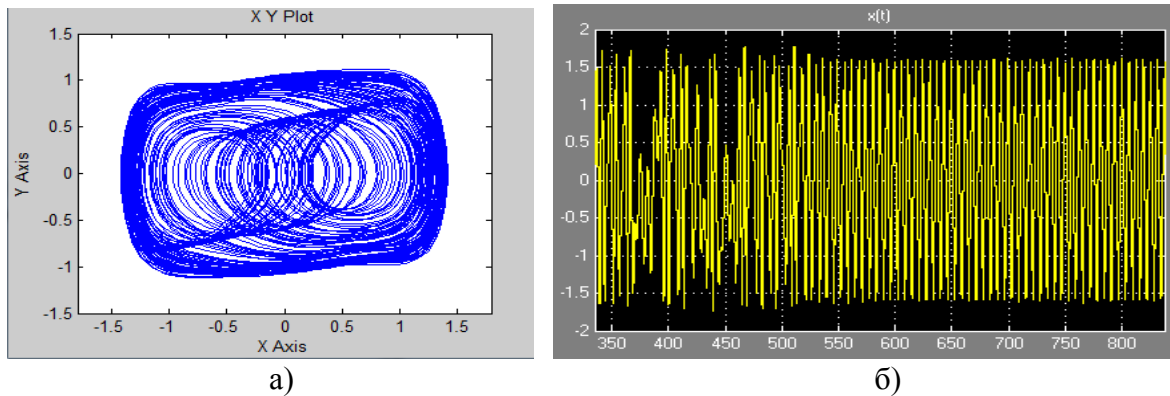


Рис.1. Результати моделювання при $\alpha = 1,001$, $\text{сигнал} / \text{шум} \approx -105$ дБ:

а) фазовий портрет; б) вихідний сигнал $x(t)$

За результатами моделювання запропонованої системи виявлення слабких періодичних сигналів можна зробити висновки:

1. Значення дробового порядку α запропонованої системи Дуффінга-Холмса суттєво впливає на форму та режим її коливань:

2. При $\alpha = 1,001$ отримано мінімальний поріг виявлення періодичного сигналу – в умовах співвідношення сигнал/шум -105 дБ по потужності, що дає вигравш на 13% у децибелах порівняно із системою, описаною в публікації [1].

3. В процесі подальшої роботи необхідно побудувати неперервні моделі інтеграторів та диференціаторів дробового порядку в середовищі Simulink або іншої системи імітаційного моделювання, щоб мінімізувати вплив ефектів дискретизації моделі.

Отже, модифікована система Дуффінга-Холмса дробового порядку може демонструвати значно вищу чутливість до слабких періодичних сигналів в умовах дії сильного шуму, ніж аналогічна система цілого порядку. Отриманий результат свідчить про необхідність подальшого дослідження, розробки та вдосконалення хаотичних систем виявлення слабких сигналів із застосуванням елементів дробового порядку.

Література

1. Li Y. Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise / Y. Li, B. Yang // Chinese Science Bulletin. — 2003. — V.48. — №5. — P. 508 — 510.

2. Ушаков П. А. Методы анализа и синтеза многослойных неоднородных RC-элементов с распределенными параметрами и устройств на их основе / П. А. Ушаков // диссертация на соискание ученой степени д.т.н. — Ижевск. — 2008. — 379 с.