



УКРАЇНА

(19) UA (11) 87910 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
G01R 23/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

### (54) СПОСІБ ДЕТЕКТУВАННЯ СИГНАЛІВ ІЗ ВИСОКИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ШУМУ

1

2

(21) а200712822

(22) 19.11.2007

(24) 25.08.2009

(46) 25.08.2009, Бюл.№ 16, 2009 р.

(72) КАРПАШ МАКСИМ ОЛЕГОВИЧ, КАРПАШ  
ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

(56) RU 2028629 C1, 09.02.1995

RU 2088945 C1, 27.08.1997

US 6105015 A, 15.08.2000

US 4633400 A, 30.12.1986

US 5287430 A, 15.02.1994

US 5502688 A, 26.03.1996

DE 19949637 A1, 19.04.2001

FR 2724029 A1, 01.03.1996

(57) Спосіб детектування сигналів із високими значеннями шуму, що полягає у розпізнаванні корисного сигналу заданої форми, який **відрізняється** тим, що для вказаного розпізнавання корисного сигналу використовують штучні нейронні мережі, при цьому виконують тренування нейронної мережі із одним прихованим шаром шляхом подавання на її вхід та вихід корисного сигналу без шуму, далі аналізують значення виходів нейронів у прихованому шарі при подаванні на вхід нейронної мережі зашумленого корисного сигналу, причому цей сигнал аналізують частинами, і кількість входів у нейронну мережу і виходів з неї дорівнює тривалості корисного сигналу, поділений на крок його квантування, і якщо значення виходів нейронів у прихованому шарі близьке до одиниці, то поданий сигнал розпізнається як корисний.

Винахід відноситься до оброблення цифрових сигналів, зокрема виділення інформативних характеристик сильно зашумлених сигналів в акустичних, сейсмічних, електричних, радіолокаційних системах та системах передавання, розпізнавання і відтворення цифрових зображень.

Наприклад, при використанні безконтактного ультразвуку для контролю товщини або ступеню корозійного пошкодження металевих виробів значна частина ультразвукової енергії на границях розділу (п'єзоелемент/повітря, повітря/метал та метал/повітря) втрачається. У зв'язку із цим, відбитий імпульс ультразвукової хвилі повертається із значним рівнем шумів (Фіг.1). Відношення сигнал/шум може складати 1 і менше.

У зв'язку із цим, необхідно було запропонувати метод обробки сигналів, який би дозволяв виявляти сигнали на фоні значних завад.

Відомий спосіб [1] виділення детермінованих складових сигналів, який полягає у тому, що вибирають оптимальний низькочастотний фільтр шляхом аналізу сигналу за паралельними каналами, в кожному з яких двічі виконується фільтрація шляхом одно- та двократного пропускання вихідного сигналу через фільтр низьких частот із подальшим виділенням енергії різниці сигналів двох фільтра-

цій визначають канал із максимальною енергією зі сторони низькочастотних каналів, який і містить оптимальний фільтр низьких частот. Детерміновану складову визначають як суму двох сигналів, перший із яких є реакцією оптимального низькочастотного фільтра на вихідний сигнал, а другий пропорційний різниці першого сигналу і реакції двократного проходження через оптимальний фільтр вихідного сигналу з коефіцієнтом пропорційності. Після цього різницю між вихідним сигналом і детермінованою складовою сигналу приймають за новий сигнал і цикл операцій повторюють до співпадіння місця положення максимуму на спектрі енергій із положення на попередньому циклі.

До недоліків даного методу слід віднести необхідність виконання великої кількості обчислень, що унеможлиблює його використання в умовах реального часу. Іншими недоліками вказаного методу є чутливість до наявності гаусового шуму в сигналі, який буде спричиняти суттєві спотворення енергетичного спектру, а також значне накопичення похибок даного методу.

Відомий також спосіб [3] виділення характеристик форми сейсмічних сигналів. Даний метод призначений для розпізнавання сигналів за їх фо-

(19) UA (11) 87910 (13) C2

рмою. Вважається, що кожен вхідний сигнал є комбінацією основного сигналу із певної групи та шуму. Основний сигнал для кожної групи отримується шляхом виділення форм сигналів із ортономальними основами. Таким чином, основний сигнал репрезентує окрему групу сигналів. Метод реалізується шляхом використання так званого „плаваючого вікна” - спосіб аналізування сигналів із одиничним кроком по вибірці в межах обраного розміру сигналу, який необхідно детектувати.

Даний метод характеризується високою імовірністю невірної класифікації сигналу, оскільки вплив розміру шуму (відношення сигнал-шум) не враховане.

Існує також метод [3], який передбачає використання гібридної системи на базі нейронних мереж [4-6] та вейвлет-перетворення [7] для класифікації сигналів або зображень, представлених сигналом в системі даних. Система класифікації складається із одного або більше здавачів для прийняття сигналів, засобів вейвлет-перетворення вхідних сигналів, засобів класифікації сигналів згідно кількох визначених категорій і генерування вихідних класифікаційних сигналів. Як засіб вейвлет-перетворення використовують модуль розрахунку заданої кількості коефіцієнтів вейвлет. Як засіб класифікації використовують набір гібридних нейронних мереж, кожна із яких складається із нейромережі визначення місця розташування, нейромережі визначення величини сигналу, та класифікаційної нейромережі.

До суттєвих недоліків вказаного методу слід віднести вплив вибору кількості коефіцієнтів вейвлет-перетворення (обирається оператором) та точності визначення місця положення та величини сигналу на похибку вірного детектування, яка може бути достатньо значною для сигналів із значними рівнями шуму.

Найбільш близьким по технічній суті до запропонованого є [8-10] кореляційний метод детектування із використанням кодів Баркера. Суть вказаного методу полягає у розрахунку значень кореляції отриманої вибірки зашумленого сигналу із ідеальним сигналом. Найчастіше, для підвищення інформативності та чутливості методу ідеальний сигнал певним чином кодується. Найкращими для вирішення цієї задачі є коди Баркера.

Проте, зі всіх кодів Баркера найбільш придатним для застосувань в ультразвуку є код типу „+1 - 1”, який може бути представлений звичайною синусоїдою (Фіг.2) і є найкоротшою послідовністю. Це пояснюється специфікою роботи реальних п'єзоелектричних елементів [11] - послідовності кодів Баркера із більшою кількістю елементів не можуть бути правильно відтворені з огляду на певну інерційність в роботі п'єзоелементів.

Задача даного винаходу полягає у розробленні способу детектування сигналів із високими значеннями шуму шляхом використання штучних нейронних мереж, аналізу значень виходів нейронів у прихованому шарі мережі при подаванні на її вхід зашумленого корисного сигналу, причому, кількість входів і виходів мережі повинна дорівнювати тривалості корисного сигналу, поділений на крок його квантування, що дозволить використовувати даний спосіб в галузі неруйнівного контролю

для виявлення дефектів у матеріалах та виробів при їх ультразвуковому дослідженні, в радіолокації для виявлення об'єктів на фоні значних завад, а також у інших сферах техніки, які пов'язані із обробкою сигналів з високими значеннями шуму.

Суть запропонованого способу полягає в наступному.

По вибірці із сигналами (Фіг.3) реалізується так званий метод „плаваючого вікна”. Тобто, аналізується весь сигнал частинами, розмір яких відповідає розміру корисного сигналу (Фіг.2), який необхідно виявити - із кроком одиниця таке вікно пересувається вздовж всього сигналу.

В такому разі, задача зводиться до аналізу вибірки із сигналу, яка може містити корисний сигнал або шум. Іншими словами, необхідно розпізнати в зашумленому сигналі корисний - синусоїду в даному випадку.

Для вирішення означеної задачі розпізнавання образів використовується нейронна мережа, яка тренується шляхом подавання на її вхід і на вихід ідеальний корисний сигнал (Фіг.2). В мережі передбачається один прихований шар із довільною кількістю нейронів, в межах 5-13. Наприклад, для пояснення реалізації способу було обрано кількість, яка рівна 77 нейронам.

Процедура тренування полягає у налаштуванні вагових коефіцієнтів у вузлах (нейронах) мережі. Мережа із одним прихованим шаром тренується із заданим рівнем похибки (не більше 1-2%) шляхом подавання на її вхід та вихід корисного сигналу без шуму, причому, кількість входів і виходів мережі дорівнює тривалості корисного сигналу, поділений на крок його квантування [4, 5].

Таким чином, якщо розмір плаваючого вікна (відповідає кількості нейронів на вході та виході) рівний 101, а кількість нейронів у прихованому шарі складає 77, а похибка тренування складає 3%, можна стверджувати, що у виходах 11 нейронів міститься інформація про всі 101 значень вхідного образу із похибкою 3 %.

Після тренування згідно вказаних критеріїв мережа є придатною для роботи із новими даними. При цьому, на вхід нейромережі можуть подаватись сигнали загалом двох типів - зашумлений корисний сигнал і просто шум. Якщо сигнал, поданий на вхід нейромережі, буде розпізнано як корисний і це відповідатиме дійсності, то це означає, що корисний сигнал виявлено. Встановлено, що значення виходів нейронів близьке до одиниці вказує на те, що поданий сигнал є корисним, значення близькі до нуля або -1 вказують на те, що поданий сигнал не є корисним, або що рівень шумів є надто великим.

Для того, щоб розрізнати між двома вказаними класами сигналів, достатньо провести розрахунок виходів нейронів внутрішнього (прихованого) шару. На Фіг.4 зображені виходи нейронів прихованого шару нейромережі при поданні на її вхід шумових сигналів, які не містять корисного сигналу. На Фіг.5 зображені виходи нейронів прихованого шару нейромережі при поданні на її вхід зашумлених сигналів, за різних рівнів шуму.

Як видно із Фіг.5, виходи прихованих нейронів за різних рівнів шуму для корисного сигналу повторюються на 4, 5, 6 та 8 нейронах. Наприклад,

виходи нейрону 2 суттєво змінюються в залежності від рівня шуму. На Фіг.4 для жодного із нейронів у прихованому шарі повторюваності не може бути помічено.

Отже, при поданні на вхід нейронної мережі зашумленого корисного сигналу на виходах окремих нейронів у прихованому шарі мережі будуть спостерігатись однакові значення із невеликими відхиленнями, а при поданні „білого" (гаусового) шуму - ці значення будуть суттєво відрізнятись. Експериментально перевірено, що в межах кількості прихованих нейронів 5-13 (за кількості нейронів на вході і виході рівній 100) така тенденція зберігається.

На Фіг.6 показані виходи даних нейронів для корисного сигналу в залежності від рівня шуму. При цьому середнє значення суми виходів вказаних нейронів складає при подачі на вхід нейронної мережі зашумлених корисних сигналів - 3.98 в межах рівня шуму 0-20дБ.

Виходи тих же нейронів при подачі на нейронну мережу шумових сигналів, які не містять корисного сигналу зображені на Фіг.7. Середнє значення суми виходів вказаних нейронів складає -0.31.

Відомо [4, 5], що максимальне значення виходу прихованого нейрона в мережі рівне 1, а мінімальне мінус 1. Максимальне значення суми виходів обраних прихованих нейронів {4-6 та 8} дорівнює 4, а мінімальне - мінус 4. Виходи нейронів, рівні 1 відповідають подачі на вхід мережі незашумленого корисного сигналу. Для надійного виявлення корисного сигналу за високих рівнів шуму встановлено як бракувальний критерій правильності детектування корисного сигналу - сума виходів обраних нейронів повинна бути не меншою 2, що становить 75% абсолютного значення суми виходів обраних нейронів.

Таким чином, можемо стверджувати, що шляхом оцінки виходів нейронів прихованого шару отриманої нейронної мережі можна розрізнити між зашумленим сигналом та просто „білим" (гаусовим) шумом.

Показано, що запропонований спосіб дозволяє детектувати корисні сигнали навіть за відношення сигнал/шум рівному 0.3. Зашумлений сигнал за такого рівня шуму в порівнянні з ідеальним зобра-

жено на Фіг.8. Сума виходів 4-го, 5-го, 6-го та 8-го нейронів склали 3.45.

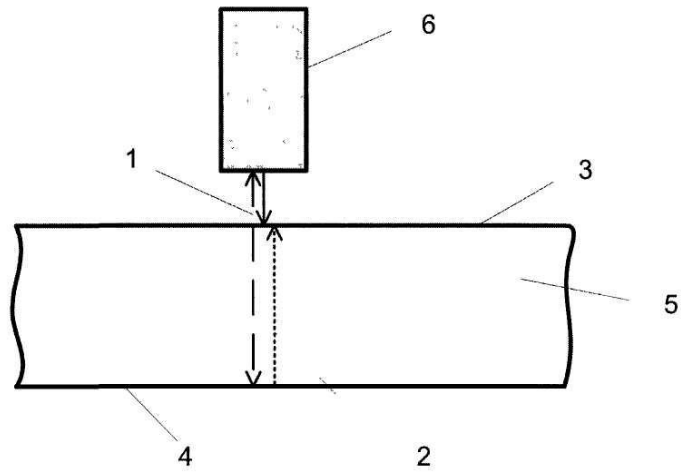
Для статистичного аналізу функціонування методу було згенеровано по 1000 зашумлених корисних сигналів (відношення сигнал/шум рівне 0.35) та 1000 сигналів шуму.

Реалізація запропонованого методу для вказаних наборів даних дозволяє стверджувати, що за вказаних рівнів шуму похибка правильного детектування корисного сигналу складає не більше 1.2% (12 випадків із 1000, коли значення суми виходів нейронної мережі складало менше 2). В ході аналізування набору шумових сигналів кількість випадків помилкового розпізнання шуму як корисного сигналу дорівнювала 0.8% (8 випадків із 1000).

Таким чином, експериментально доведено можливість реалізації запропонованого методу детектування корисних сигналів за умов високих значень шуму.

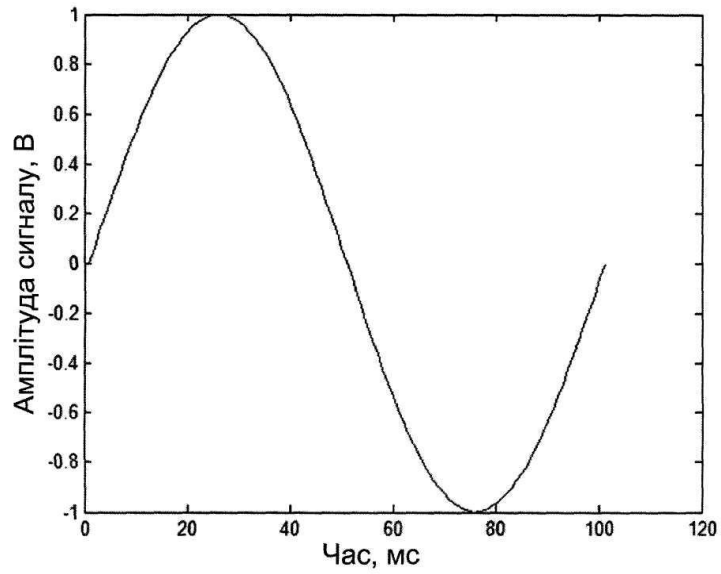
Перелік посилань

1. Патент RU 2028629, G01R23/16.
2. Патент US 4633400, G06K9/48.
3. Патент US 6105015, G06F15/18.
4. Хайкин С. Нейронные сет: полный курс. - М.: Вильямс, 2006. - 1104с.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 344с.
6. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 176с .
7. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. - М.: ДМК, 2005. - 304с.
8. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985. - 384с.
9. Малыгин И.В. Коды, коды, коды... // Технология и средства связи. - 1999. -№3.-с.53-57.
10. Качанов В.К. Использование радиолокационных сигналов и методов их обработки в ультразвуковой дефектоскопии композиционных материалов // ТД и НК, 1995, №2. - С.3-17.
11. Кажис Р. И. Ю. О формировании псевдослучайных кодовых последовательностей пьезоэлектрическими преобразователями. - Изв. вузов ЛитССР. Радиоэлектроника, 1976, т.12, №1, с.130-140.

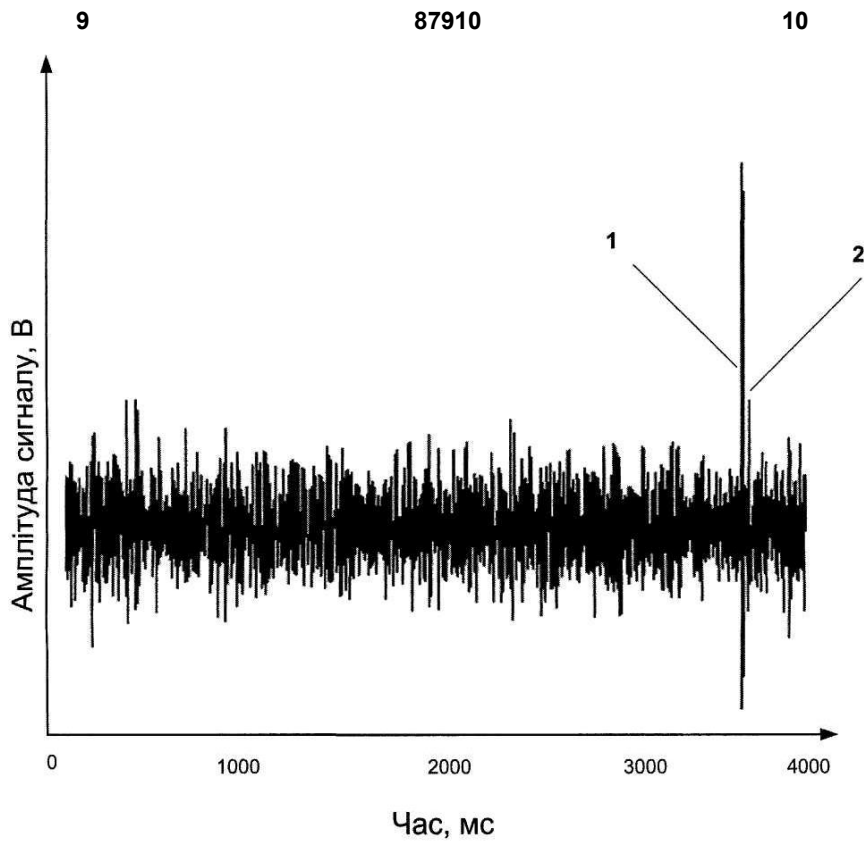


1 – ультразвуковий імпульс, відбитий від зовнішньої поверхні; 2 – ультразвуковий імпульс, відбитий від внутрішньої поверхні; 3 – зовнішня поверхня; 4 – внутрішня поверхня; 5 – об'єкт контролю; 6 – п'єзоелектричний перетворювач

Фіг.1



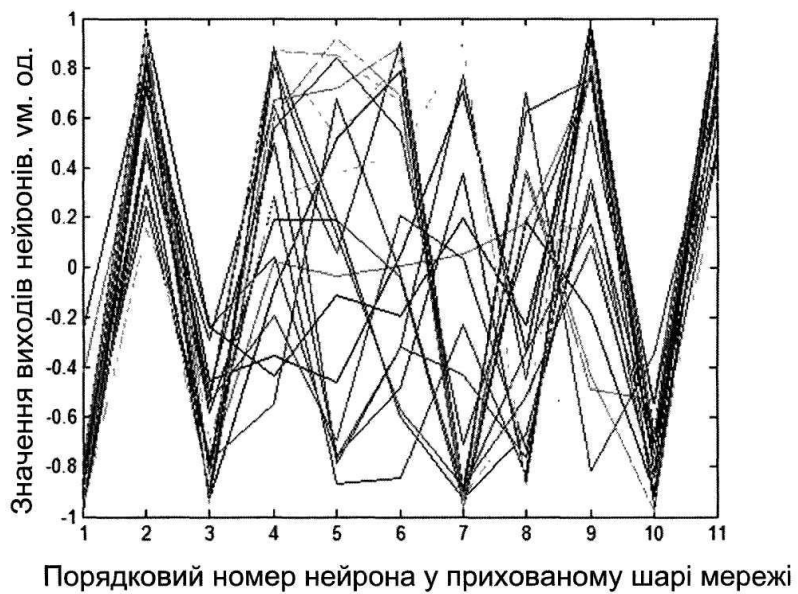
Фіг.2



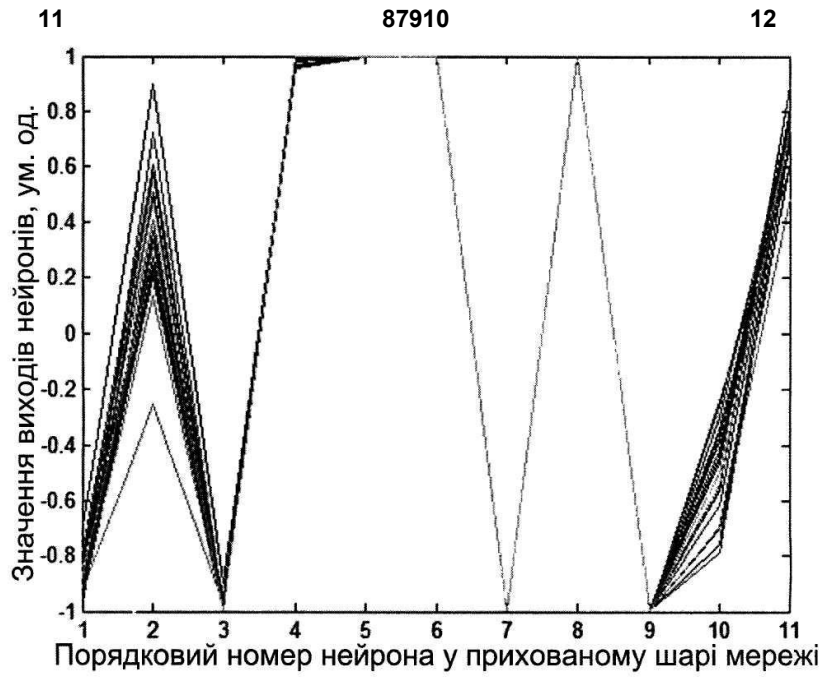
*1 – ультразвуковий імпульс, відбитий від зовнішньої поверхні на екрані осцилографа; 2 – ультразвуковий імпульс, відбитий від зовнішньої поверхні на екрані осцилографа, рівень якого близький до рівня шуму*

Фіг.3

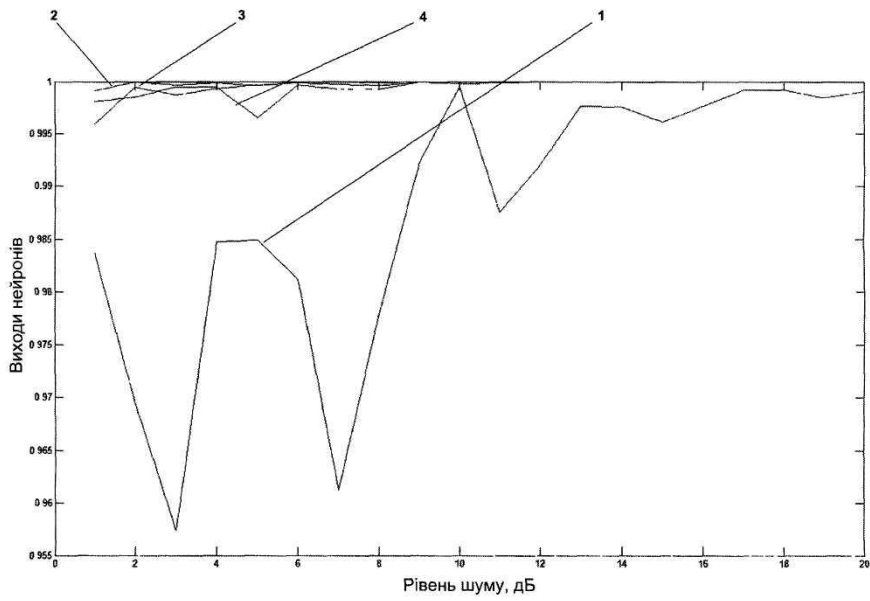
Спосіб детектування сигналів із високими значеннями шуму



Фіг.4

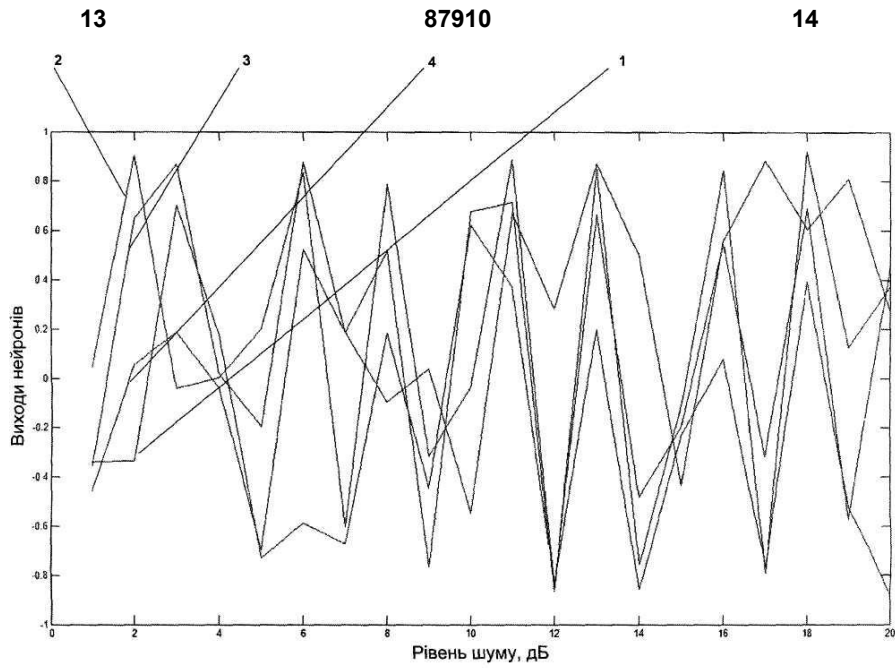


Фіг.5

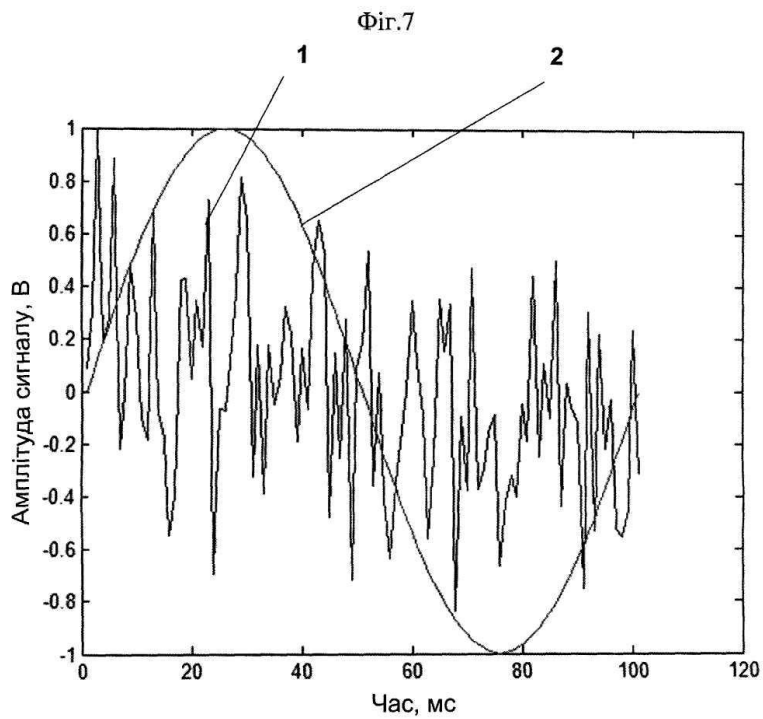


1 – виходи 4-го нейрона прихованого шару; 2 – виходи 5-го нейрона прихованого шару; 3 – виходи 6-го нейрона прихованого шару; 4 – виходи 8-го нейрона прихованого шару

Фіг.6



1 – виходи 4-го нейрона прихованого шару; 2 – виходи 5-го нейрона прихованого шару; 3 – виходи 6-го нейрона прихованого шару; 4 – виходи 8-го нейрона прихованого шару



1 – зашумлений корисний сигнал за відношення сигнал/шум рівному 0.3; 2- незашумлений ідеальний сигнал

Фіг.8