



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **145636** (13) **U**
(51) МПК
G06G 7/48 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

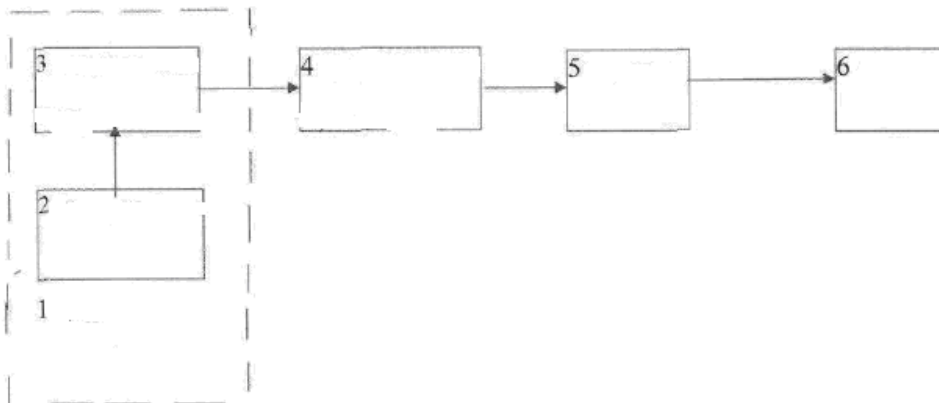
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2020 04706</p> <p>(22) Дата подання заявки: 24.07.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 29.12.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 28.12.2020, Бюл.№ 24</p>	<p>(72) Винахідник(и): Карташов Володимир Михайлович (UA), Тихонов В'ячеслав Анатолійович (UA), Бабкін Станіслав Іванович (UA), Коритцев Ігор Васильович (UA), Олейніков Володимир Миколайович (UA), Зубков Олег Вікторович (UA), Шейко Сергій Олександрович (UA), Селезньов Іван Сергійович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ (ХНУРЕ), пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA/UA)</p>
---	---

(54) ЦИФРОВИЙ ІМІТАТОР АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

(57) Реферат:

Цифровий імітатор акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів, який складається з цифрового обчислювача, який містить генератор білого шуму (ГБШ) і цифровий фільтр, вхід якого підключений до виходу (ГБШ), крім того, містить цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), вхід якого підключений до виходу цифрового фільтра, а також містить послідовно включені підсилювач і вихідний аудіоблок, причому вихід і ЦАП з'єднаний зі входом підсилювача, причому як цифровий фільтр включений формуючий авторегресійний фільтр.



UA 145636 U

Корисна модель належить до області радіолокаційних, лазерних та акустичних вимірювань і може бути використана для калібровки пасивних содарів та імітації змінення структури акустичного сигналу безпілотного літального апарату (БПЛА), що приймається.

Відомий імітатор акустичних сигналів (SU1317375 A1, G01V1/38 от 15.06.1987, бюл. 22).
 5 Винахід відноситься до технічної фізики та може бути використаний для перевірки роботи геофізичної апаратури, призначеної для сейсмоакустичних досліджень структурних та літологічних особливостей донних відкладень на акваторіях. Мета винаходу - підвищення точності імітування акустичних сигналів за рахунок імітації акустичних сигналів автоматичного контролю параметрів у процесі вироблення сигналів, які імітуються. Імітатор містить генератор імпульсів, реверсивний лічильник, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), компаратор, блок керування, генератор ударного збудження, дільник, комутатор аналогових сигналів, повторювач сигналів, формувач часових інтервалів та блок індикації.

Недоліком цього аналога є те, що він не може бути використаним у аероакустиці для імітації акустичних сигналів, які випромінюються БПЛА.

15 Відомий також імітатор акустичних сигналів [SU 1352513 A1, G 06 G 7/48 от 15.11.87. Бюл. № 42]. Винахід відноситься до обчислювальної техніки і призначений для калібровки та аперативної перевірки працездатності акустичної вимірювальної апаратури, зокрема геолокаторів. Імітатор містить генератор тактових імпульсів, елементи затримки (2), формувачі імпульсів (2), джерело опорної напруги, ключі (2), атенюатор, подільники частоти (2), ЦАП (2),
 20 лічильник, елемент HI-I, розподільник імпульсів.

Недоліками даного пристрою є низька точність синтезу акустичних сигналів за допомогою аналогових електронних пристроїв, відсутність універсальності при імітації сигналів з різними характеристиками та громіздкість.

25 Найближчим аналогом є цифровий імітатор акустичних шумів [Моржов В.І., Єрмачков Ю.О. Цифровий імітатор акустичних шумів. Проблеми інформатизації та управління, № 1 (25), 2009. Стор. 123-127].

Як відомо, наприклад [Моржов В.І., Єрмачков Ю.О. Цифровий імітатор акустичних шумів. Проблеми інформатизації та управління, № 1 (25), 2009. Стор. 123-127], для реалізації цифрового синтезу акустичних шумів необхідно розраховувати математичні моделі для кожного
 30 виду сигналу, за допомогою яких імітуються акустичні шуми на цифрових обчислювальних засобах у відповідності з початковими умовами та керуючими сигналами. Цифрові моделі кожного виду сигналу складаються та подаються на аудіоблок, який і є джерелом звука у імітаторі. Структурна схема цифрового імітатора акустичних шумів містить генератор білого шуму (ГБШ) і набір цифрових фільтрів (цифровий обчислювач), набір ЦАП (за кількістю
 35 цифрових фільтрів), підсилювач суми сигналів і вихідний аудіоблок.

Недоліками цього цифрового імітатора є низькі точність і швидкодія імітатора, складність його налаштування під сигнали різних БПЛА.

Як відомо, наприклад [1. Гордієнко Ю.О., Бугайов М.В., Солонець О.І., Солопій О.А. Особливості акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2016, № 1 (22). С. 32-35. 2. A. Bernardini, F. Mangiatordi, E. Pallotti, L. Capodiferro; F. Ugo Bordoni, "Drone detection by acoustic signature identification", Electronic Imaging, Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World 2017, pp. 60-64], частотний спектр акустичних сигналів різних БПЛА у залежності від виду та швидкості польоту вельми різний: максимум спектральної щільності потужності (СЩП) акустичного сигналу конктетного
 45 БПЛА розміщується у різних ділянках частотного діапазону. Акустичний сигнал від БПЛА описується дійсними числами, часто має багатомодову структуру СЩП. У роботі [В.Н. Олейников, О.В. Зубков, В.М. Карташов, И.В. Коротцев, С.И. Бабкин, С.А. Шейко. Исследование эффективности обнаружения и распознавания акустического излучения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. Вып. 195. 2018, с. 209-217] показано, що типова реалізація СЩП акустичного випромінювання (АВ), наприклад, квадрокоптера містить вузькосмугові спектральні складові основного тону, його гармоніки та широкосмугову шумову складову, зумовлену зривом турбулентного повітряного потоку гвинтів. Аналіз СЩП різних моделей малорозмірних БПЛА, здібних нести корисне навантаження, наприклад, у вигляді професійної відеокамери, показав,
 50 що частота основного тону АВ БПЛА знаходиться у межах від 90 до 240 Гц. Кількість гармонік основного тону АВ БПЛА - від 10 до 40. Зі зростом відстані до БПЛА, через поглинання звуку у атмосфері, високочастотні гармоніки суттєво послабляються до рівня фонових шумів. Тому для калібровки пасивних содарів та імітації змінення структури акустичного сигналу безпілотного літального апарата, який приймається, необхідно мати можливість імітації, як мінімум, від 2-х до
 60 8-ми гармонік основного тону АВ БПЛА.

Як було зазначено у найближчому аналогу, для забезпечення надійного режиму роботи пасивного содара контролю повітряної обстановки у різних умовах імітатор акустичних сигналів БПЛА має володіти універсальністю налаштування та калібровки, можливістю оперативної перевірки працездатності содара. Для вирішення цих задач застосовують велику кількість цифрових фільтрів та ЦАП, яку містить цифровий обчислювач, що обумовлює низькі точність і швидкодію імітатора, складність його налаштування під сигнали різних БПЛА.

Для виключення цих недоліків зменшують кількість цифрових фільтрів і ЦАП, застосовуючи у цифровому імітаторі акустичних сигналів БПЛА генератор процесу авторегресії (ШАР), який переналаштовується, - у якості цифрового обчислювача.

Переваги авторегресійних фільтрів (АР) над звичайними цифровими фільтрами складаються у наступному:

1) у підвищенні швидкодії імітатора (простота розрахунку коефіцієнтів підсилення формуючих АР фільтрів генератора імітаційних сигналів за допомогою аналітичних формул, які використовуються, зв'язку параметрів СЩП та коефіцієнтів підсилення фільтрів);

2) у високій точності імітації (оптимальність моделі по МНК дозволяє підвищити точність моделі сигналів);

3) легкість керування імітатором за рахунок програмного переналаштування формуючого АР фільтра.

Акустичний сигнал від БПЛА має складну структуру СЩП, яка змінюється від одномодової до багатомодової. Він моделюється процесом авторегресії і для нього можна отримати параметричну СЩП на основі моделі АР. Тому можна стверджувати, що цей сигнал моделюється АР моделлю і його можна імітувати за допомогою ГПАР.

Технічною задачею корисної моделі є підвищення точності і швидкодії імітатора, спрощення його налаштування під сигнали різних БПЛА.

Ця задача вирішена наступним чином. У цифровому імітаторі акустичних сигналів БПЛА, який містить цифровий обчислювач, до складу якого входять генератор білого шуму (ГБШ) і цифровий фільтр, вхід якого підключений до виходу ГБШ, окрім того, імітатор містить цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), вхід якого підключений до виходу цифрового фільтру, а також містить послідовно з'єднані підсилювач і аудіоблок, згідно корисної моделі обчислювальний блок є генератором процесу авторегресії, у якому як цифровий фільтр включений авторегресійний формуючий цифровий фільтр.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де подано структурну схему цифрового імітатора акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів.

Цифровий імітатор акустичних сигналів БПЛА складається з цифрового обчислювача 1, до складу якого входять генератор білого шуму 2 і авторегресійний формуючий цифровий фільтр 3, вхід якого підключений до виходу генератора білого шуму 2, окрім того, імітатор містить цифро-аналоговий перетворювач 4, вхід якого підключений до виходу авторегресійного формуючого цифрового фільтра 3, а також містить послідовно з'єднані підсилювач 5 і вихідний аудіоблок 6, причому вихід цифро-аналогового перетворювача 4 з'єднаний зі входом підсилювача 5.

Робота цифрового імітатора акустичних сигналів БПЛА.

Імітатор акустичних сигналів БПЛА реалізують на мікропроцесорі або на комп'ютері, у які записують програму генерації процесу авторегресії методом формуючого фільтра. Цифровий обчислювач 1 формує сигнал з заданою СЩП з білого шуму, який пропускається через АР фільтр, коефіцієнти підсилення якого співпадають з коефіцієнтами АР моделі імітаційного сигналу БПЛА. Коефіцієнти підсилення формуючого фільтра залежать від: кількості піків, їхньої частоти та ширини смуги на рівні 0,5. Таким чином, отримують амплітудно-частотну характеристику формуючого фільтра, яка співпадає з СЩП АР моделі. Корені

характеристичного рівняння обчислюються з виразів $c_{p,k} = e^{-\pi\Delta f_k T}$ або $c_{p,k} = e^{-\pi\Delta f_k T - j2\pi f_k T}$,

$c_{p,k+1} = e^{-\pi\Delta f_k T + j2\pi f_{k+1} T}$, де P - порядок моделі АР, T - інтервал дискретизації, Δf_k - ширина

смуги k -того піка, f_k - частота k -того піка. Для розрахунку коефіцієнтів АР використовують знайдений зв'язок з коренями характеристичного рівняння АР за формулами $\Phi_{1,1} = c_{1,1}$, якщо

порядок АР дорівнює 1, $\Phi_{2,1} = c_{2,1} + c_{2,2}$, $\Phi_{2,2} = -c_{2,1}c_{2,1}$ якщо порядок АР дорівнює 2,

$\Phi_{3,1} = c_{3,1} + c_{3,2} + c_{3,3}$; $\Phi_{3,2} = -(c_{3,1}c_{3,2} + c_{3,2}c_{3,3} + c_{3,1}c_{3,3})$ $\Phi_{3,3} = c_{3,1}c_{3,2}c_{3,3}$ якщо порядок АР

дорівнює 3,

$$\Phi_{4,1} = c_{4,1} + c_{4,2} + c_{4,3} + c_{4,4};$$

$$\Phi_{4,2} = -(c_{4,1}c_{4,2} + c_{4,1}c_{4,3} + c_{4,1}c_{4,4} + c_{4,2}c_{4,3} + c_{4,2}c_{4,4} + c_{4,3}c_{4,4}),$$

$$\Phi_{4,3} = c_{4,1}c_{4,2}c_{4,3} + c_{4,1}c_{4,3}c_{4,4} + c_{4,1}c_{4,3}c_{4,4} + c_{4,2}c_{4,3}c_{4,4}; \quad \Phi_{4,4} = c_{4,1}c_{4,2}c_{4,3}c_{4,4} \quad \text{якщо порядок}$$

5 моделі АР дорівнює 4, де $\Phi_{p,i}$ - коефіцієнти АР для P -го порядку моделі АР. Аналогічні вирази для коефіцієнтів АР можна отримати і для більш високих порядків моделей АР акустичного сигналу БПЛА. Число піків у СЦП визначається порядком моделі АР, яка використовується, і, у загальному випадку, дорівнює двом порядкам моделі АР на один пік. Для генерації сигналу на нульовій частоті достатньо одного порядку моделі АР. Надалі за допомогою різницевого

рівняння
$$x_t = \sum_{k=1}^p \Phi_{p,k} x_{t-k} + a_t$$
, де a_t - некорельовані випадкові відліки, так звані помилки

10 передбачення, генерується процес АР x_t заданої довжини, який імітує акустичний сигнал БПЛА. Сформований цифровим обчислювачем 1 сигнал з заданою СЦП надходить на вхід ЦАП 4 і після перетворення у аналогову форму надходить до підсилювача 5, а опісля підсилювання аналоговий сигнал надходить до аудіоблока 6.

15 Таким чином, застосовуючи у цифровому імітаторі акустичних сигналів БПЛА генератор процесу авторегресії, який може переналаштовуватись, у якості цифрового обчислювача досягають підвищення точності і швидкодії імітатора, спрощення його налаштування під акустичні сигнали різних БПЛА.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

20 Цифровий імітатор акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів, який складається з цифрового обчислювача, який містить генератор білого шуму (ГБШ) і цифровий фільтр, вхід якого підключений до виходу (ГБШ), крім того, містить цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), вхід якого підключений до виходу цифрового фільтра, а також містить послідовно включені підсилювач і вихідний аудіоблок, причому вихід (ЦАП) з'єднаний зі входом підсилювача, який

25 **відрізняється** тим, що як цифровий фільтр включений формуючий авторегресійний фільтр.

