



УКРАЇНА

(19) UA (11) 60222 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
H03H 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛУ

1

(21) u201014827

(22) 10.12.2010

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл. № 11, 2011 р.

(72) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(57) Пристрій фільтрації сигналу, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, який **відрізняється** тим, що додатково містить перший канал обробки, другий канал обробки, суматор і фільтр, причому входи першого і другого каналів обробки є першим і другим входами пристрою відповідно, виходи каналів обробки з'єднані із входами суматора, вихід суматора з'єднаний із входом фільтра, а вихід фільтра є виходом пристрою, при цьому перший канал обробки містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення нижньої грані і блок обчислення позитивної частини, а другий канал обробки містить блок послідовно з'єдна-

2

них елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення верхньої грані і блок обчислення негативної частини, причому вхід блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу кожного каналу обробки є входом даного каналу обробки, при цьому в першому каналі обробки виходи блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блока обчислення нижньої грані, а в другому каналі обробки виходи блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блока обчислення верхньої грані, причому вихід блока обчислення нижньої грані з'єднаний із входом блока обчислення позитивної частини, а вихід блока обчислення верхньої грані з'єднаний із входом блока обчислення негативної частини, при цьому вихід блока обчислення позитивної частини є виходом першого каналу обробки, а вихід блока обчислення негативної частини є виходом другого каналу обробки.

Корисна модель відноситься до галузі обробки сигналів, зокрема, до пристроїв фільтрації сигналів, а саме, до пристроїв фільтрації сигналів на фоні перешкод у просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки.

Відомий трансверсальний фільтр, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок резисторів і суматор, причому кожний вихід блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднаний із входом відповідного резистора, а вихід кожного резистора, з'єднаний з відповідним входом суматора, вихід якого є виходом трансверсального фільтра [1].

Недоліком відомого трансверсального фільтру є додаткові схемні витрати, необхідні для підстроювання резисторів при зміні спектральної щільності потужності перешкоди, і як наслідок, зменшення швидкодії роботи пристрою, а також низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод.

Найбільш близьким технічним рішенням є однорідний фільтр, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу [2].

Недоліками відомого однорідного фільтру є низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод та залежність перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов апіорної невизначеності.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм роботи і конструкцію пристрою, а саме, шляхом додаткового включення двох каналів обробки, суматору і фільтру, забезпечити підвищення перешкодостійкості фільтрації сигналу в умовах впливу сильних перешкод та виключити залежність перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов апіорної невизначеності, що дозволяє усунути недоліки прототипу.

Задача корисної моделі досягається тим, що пристрій фільтрації сигналу, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, згідно корисної моделі, додатково містить перший канал обробки, другий канал обробки, суматор і фільтр, причому входи першого і другого каналів обробки є першим і другим входами пристрою відповідно, виходи каналів обробки з'єднані

(13) U  
(11) 60222  
(19) UA

із входами суматора, вихід суматора з'єднаний із входом фільтра, а вихід фільтра є виходом пристрою, при цьому перший канал обробки містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення нижньої грані і блок обчислення позитивної частини, а другий канал обробки містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення верхньої грані і блок обчислення негативної частини, причому вхід блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу кожного каналу обробки є входом даного каналу обробки, при цьому в першому каналі обробки виходи блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блоку обчислення нижньої грані, а в другому каналі обробки виходи блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блоку обчислення верхньої грані, причому вихід блоку обчислення нижньої грані з'єднаний із входом блоку обчислення позитивної частини, а вихід блоку обчислення верхньої грані з'єднаний із входом блоку обчислення негативної частини, при цьому вихід блоку обчислення позитивної частини є виходом першого каналу обробки, а вихід блоку обчислення негативної частини є виходом другого каналу обробки.

Порівняльний аналіз технічного рішення, яке заявляється, із найближчим аналогом дозволяє зробити висновок, що запропонований пристрій фільтрації сигналу відрізняється тим, що додатково містить перший канал обробки, другий канал обробки, суматор і фільтр, причому входи першого і другого каналів обробки є першим і другим входами пристрою відповідно, виходи каналів обробки з'єднані із входами суматора, вихід суматора з'єднаний із входом фільтра, а вихід фільтра є виходом пристрою, при цьому перший канал обробки містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення нижньої грані і блок обчислення позитивної частини, а другий канал обробки містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, блок обчислення верхньої грані і блок обчислення негативної частини, причому вхід блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу кожного каналу обробки є входом даного каналу обробки, при цьому в першому каналі обробки виходи блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блоку обчислення нижньої грані, а в другому каналі обробки виходи блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу з'єднані з відповідними входами блоку обчислення верхньої грані, причому вихід блоку обчислення нижньої грані з'єднаний із входом блоку обчислення позитивної частини, а вихід блоку обчислення верхньої грані з'єднаний із входом блоку обчислення негативної частини, при цьому вихід блоку обчислення позитивної частини є виходом першого каналу обробки, а вихід блоку обчислення негативної частини є виходом другого каналу обробки.

Суть загальної ідеї запропонованого пристрою фільтрації сигналу полягає в наступному.

Взаємодія корисного сигналу  $s(t)$  і перешкоди  $n(t)$  в просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки  $L(\vee, \wedge)$  визначається двома бінарними операціями  $\vee, \wedge$  у двох каналах прийому відповідно [3]:

$$x(t) = s(t) \vee n(t), \quad (1a)$$

$$x(t) = s(t) \wedge n(t), \quad (1б)$$

де  $s(t) \vee n(t) = \sup_t[s(t), n(t)]$ ,  $s(t) \wedge n(t) = \inf_t[s(t), n(t)]$ ;  $s(t), n(t) \in L(\vee, \wedge)$  - операції верхньої  $s(t) \vee n(t)$  і нижньої  $s(t) \wedge n(t)$  граней відповідно.

Імовірнісні розподілення корисного сигналу  $s(t)$  і перешкоди  $n(t)$  вважаються довільними. Миттєві значення (часові відліки) корисного сигналу  $\{s(t_i)\}$  і перешкоди  $\{n(t_i)\}$  є елементами простору сигналів:  $s(t_i), n(t_i) \in L(\vee, \wedge)$ . Часові відліки перешкоди  $\{n(t_i)\}$  вважаються статистично незалежними. Часові відліки  $\{s(t_i)\}$  і  $\{n(t_i)\}$  корисного сигналу  $s(t)$  і перешкоди  $n(t)$  беруться на області визначення  $T_s$  сигналу  $s(t): t_i \in T_s$  через інтервал дискретизації  $\Delta t$ , такий що він забезпечує незалежність часових відліків перешкоди  $\{n(t_i)\}$ , причому  $\Delta t < 1/f_0$ , де  $f_0$  - частота сигналу  $s(t)$ .

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень, де на фіг. 1 представлена структурна схема запропонованого пристрою фільтрації сигналу; на фіг. 2 показана функціональна схема першого каналу обробки; на фіг. 3 наведена функціональна схема другого каналу обробки; на фіг. 4 представлена функціональна схема запропонованого пристрою фільтрації сигналу; на фіг. 5 показані реалізація  $s^*(t)$  корисного сигналу  $s(t)$ , що діє на входах запропонованого пристрою фільтрації сигналу і відповідна реалізація  $w^*(f)$  сигналу  $w(t)$  на виході суматора 3, отримані в результаті статистичного моделювання за допомогою математичного пакету MATHCAD.

Пристрій фільтрації сигналу конструктивно містить (див. фіг. 1, 2, 3, 4): перший канал обробки - 1; другий канал обробки - 2; суматор - 3; фільтр - 4; перший канал обробки 1 конструктивно містить: блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 5; елементи затримки вхідного сигналу - 5.1...5.N - 1; блок обчислення нижньої грані - 6; блок обчислення позитивної частини - 7; другий канал обробки 2 конструктивно містить: блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 8; елементи затримки вхідного сигналу - 8.1...8.N - 1; блок обчислення верхньої грані - 9; блок обчислення негативної частини - 10.

Пристрій фільтрації сигналу працює таким чином (див. фіг. 1, 2, 3, 4).

Елементи затримки вхідного сигналу 5.1...5.N - 1 блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 5 першого каналу обробки 1 формують сукупності  $\{x(t_i)\}$  затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу  $x(t)$  першого каналу обробки (див. фіг. 2):

$$x(t_i) = s(t_i) \vee n(t_i), \quad (2a)$$

де  $t_i = t - j\Delta t$  - значення часового параметру часових відліків  $\{x(t_i)\}$ , сигналів  $x(t_i)$ ,  $j = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $t_i \in T^* \subset T_s$ ;  $T^*$  - інтервал обробки:  $T^* = [t - (N-1)\Delta t, t]$ ;  $N \in \mathbb{N}$ ,  $N$  - множина натуральних чисел.

Елементи затримки вхідного сигналу  $8.1 \dots 8.N$  - 1 блоку послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 8 другого каналу обробки 2 формують сукупності  $\{\tilde{x}(t_j)\}$  затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу  $\tilde{x}(t)$  другого каналу обробки (див. фіг. 3):

$$\tilde{x}(t_j) = s(t_j) \wedge n(t_j), \quad (26)$$

де  $t_j = t - j\Delta t$  - значення часового параметру часових відліків  $\{\tilde{x}(t_j)\}$  сигналів  $\tilde{x}(t_j)$ ,  $j=0,1,\dots,N-1$ ,  $t_j \in T^* \subset T_s$ ;

$T^*$  - інтервал обробки:  $T^* = [t - (N-1)\Delta t, t]$ ;

$N \in \mathbb{N}$ ,  $N$  - множина натуральних чисел.

Блок обчислення нижньої грані 6 обчислює

нижню грань  $y(t) = \bigwedge_{j=0}^{N-1} x(t - j\Delta t)$  сукупності  $\{x(t_j)\}$  затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу  $x(t)$  першого каналу обробки 1 (див. фіг. 2):

$$y(t) = \bigwedge_{j=0}^{N-1} x(t_j) = \bigwedge_{j=0}^{N-1} x(t - j\Delta t). \quad (3a)$$

Блок обчислення верхньої грані 9 обчислює

верхню грань  $\tilde{y}(t) = \bigvee_{j=0}^{N-1} \tilde{x}(t - j\Delta t)$  сукупності  $\{\tilde{x}(t_j)\}$  затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу  $\tilde{x}(t)$  другого каналу обробки 2 (див. фіг. 3):

$$\tilde{y}(t) = \bigvee_{j=0}^{N-1} \tilde{x}(t_j) = \bigvee_{j=0}^{N-1} \tilde{x}(t - j\Delta t). \quad (3b)$$

Блок обчислення позитивної частини 7 формує значення позитивної частини  $y_+(t)$  сигналу  $y(t)$  (див. фіг. 2, 4):

$$y_+(t) = y(t) \vee 0. \quad (4a)$$

Блок обчислення негативної частини 10 формує значення негативної частини  $\tilde{y}_-(t)$  процесу  $\tilde{y}(t)$  (див. фіг. 3, 4):

$$\tilde{y}_-(t) = \tilde{y}(t) \wedge 0. \quad (4b)$$

Суматор 3 обчислює значення суми  $w(t) = y_+(t) + \tilde{y}_-(t)$  двох сигналів  $y_+(t)$ ,  $\tilde{y}_-(t)$  на виході блоку обчислення позитивної частини 7 і блоку обчислення негативної частини 10 відповідно (див. фіг. 1, 4):

$$w(t) = y_+(t) + \tilde{y}_-(t). \quad (5)$$

Фільтр 4 здійснює згладжування сигналу  $w(t)$  суми  $w(t) = y_+(t) + \tilde{y}_-(t)$  шляхом обчислення вибіркової медіани  $\text{med}\{*\}$  сукупності  $\{w(t_k)\}$  часових відліків суми  $w(t)$  (див. фіг. 1, 4):

$$v(t) = \text{med}\{w(t_k)\}, \quad (6)$$

де:  $t_k = t - \frac{k}{M} \Delta t$  - значення часового параметру часових відліків  $\{w(t_k)\}$  сигналу  $w(t)$ ,  $k=0,1,\dots,M-1$ ;  $t_k \in \tilde{T} = [t - \Delta t, t]$ ;

$\tilde{T}$  - інтервал, на якому здійснюється згладжування сигналу  $w(t)$ ;

$M \in \mathbb{N}$ ,  $N$  - множина натуральних чисел.

Підсумувавши, таким чином, зміст отриманих співвідношень (6), (5), (4a,b), (3a,b), (2a,b), можна зробити висновок про те, що оцінка  $v(t) = \hat{s}(t)$  корисного сигналу  $s(t)$ , що виділяється за допомогою фільтру 4, є функція згладжування сигналу  $w(t)$ , яка є сумою сигналів  $y_+(t)$ ,  $\tilde{y}_-(t)$ , що обчислюється суматором 3, а сигнали  $y_+(t)$ ,  $\tilde{y}_-(t)$  є результатами первинної обробки вхідних сигналів  $x(t)$ ,  $\tilde{x}(t)$ , яка здійснюється за допомогою першого каналу обробки 1 та другого каналу обробки 2 відповідно.

На фіг. 5 показані реалізація  $s^*(t)$  корисного сигналу  $s(t)$ , що діє на входах запропонованого пристрою фільтрації сигналу і відповідна реалізація  $w^*(t)$  сигналу  $w(t)$  на виході суматора 3, отримані в результаті статистичного моделювання за допомогою математичного пакету MATHCAD. Наведений приклад відповідає наступним умовам. Сигнал - вузькосмуговий радіоімпульс; перешкода - квазібілий гаусовський шум з відношенням максимальної частоти спектральної щільності перешкоди до частоти сигналу  $f_{n,\max}/f_0 = 64$ ; співвідношення сигнал-перешкода  $E_s/N_0 = 10^{-6}$  ( $E_s$  - енергія сигналу,  $N_0$  - спектральна щільність потужності перешкоди). У якості трансверсальних фільтрів використовувалися фільтри із шістнадцятьма відводами (число часових відліків  $N$  сигналів  $x(t)$  і  $\tilde{x}(t)$ , які використовуються при обробці, дорівнює 16). Затримка переднього фронту напівперіодів сигналу  $w(t)$  відносно корисного сигналу  $s(t)$ , яка обумовлена наявністю динамічної помилки формування оцінки сигналу  $\hat{s}(t)$ , дорівнює  $(N-1) \cdot \Delta t$ ,  $\Delta t = 1/(2f_{n,\max}) \ll 1/f_0$ . Імовірність помилкового формування  $P_{\text{пом}}$  оцінки сигналу  $\hat{s}(t)$  (імовірність формування перешкодового викиду) складала досить малу величину  $P_{\text{пом}} \approx 2^{-16}$ , тому викидів перешкоди на інтервалі моделювання ( $m = 2^{10} = 1024$  часових відліків) не спостерігається. При зміні співвідношення сигнал-перешкода  $E_s/N_0$  у досить широких межах:  $10^{-10} \leq E_s/N_0 \leq 10$ , коефіцієнт взаємної кореляції сигналів  $s(f)$  і  $w(t)$  приймав значення  $0.97 \dots 0.98$ , що свідчить про інваріантність пристрою фільтрації сигналу щодо умов апіорної невизначеності.

Підвищення ефективності застосування пристрою фільтрації сигналу, який заявляється, у порівнянні із прототипом досягається шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм роботи і конструкцію пристрою, а саме, шляхом додаткового включення двох каналів обробки, суматору і фільтру, за рахунок чого забезпечується підвищення перешкодостійкості фільтрації сигналу в умовах впливу сильних перешкод та виключення залежності перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов апіорної невизначеності.

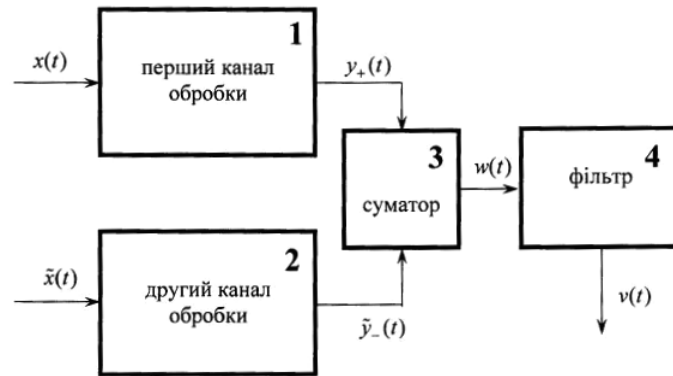
Джерела інформації:

1. Введение в цифровую фильтрацию // Под ред. Р.Богнера. М.: Мир, 1976, стр. 83, рис. 6.1 - аналог.

2. Гольденберг Л.М., Матюшин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1990, стр. 78, рис. 3.3.а. - прототип.

3. Попов А.А. Характеристики обработки гармонических сигналов на фоне помех (шумов) в

условиях их взаимодействия в К-пространстве // Известия вузов. Радиоэлектроника 2008, № 10, с. 69-80.



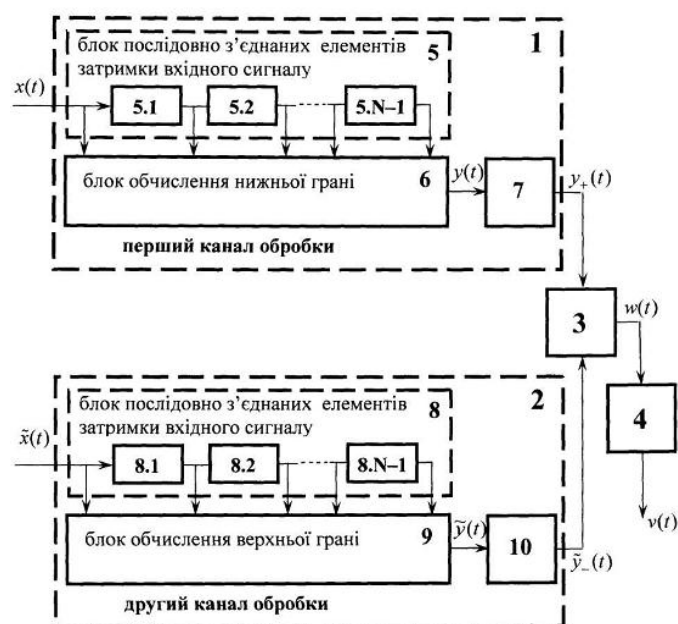
Фиг. 1



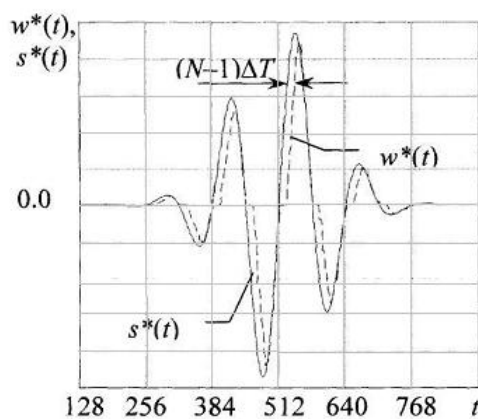
Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5