



УКРАЇНА

(19) UA (11) 65236 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H03H 15/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ РОЗДІЛЕННЯ РАДІОІМПУЛЬСІВ

1

(21) u201106965

(22) 02.06.2011

(24) 25.11.2011

(46) 25.11.2011, Бюл.№ 22, 2011 р.

(72) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(57) Спосіб розділення радіоімпульсів, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією радіоімпульсів і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують розділені відклики радіоімпульсів, який **відрізня-**

2

ється тим, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів і перешкоди, а в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу додатково обчислюють нижню (верхню) грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють позитивну (негативну) частину нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, здійснюють згладжування отриманої позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті чого отримують розділені відклики радіоімпульсів.

Корисна модель належить до галузі обробки сигналів, зокрема до способів розділення радіоімпульсів, а саме до способів розділення радіоімпульсів без внутрішньоімпульсної модуляції на фоні перешкод у просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки.

Відомий спосіб розділення радіоімпульсів, що реалізується за допомогою пристрою розділення радіоімпульсних сигналів, при якому приймають вхідний сигнал, який є функцією радіоімпульсів і перешкоди, формують копії вхідного сигналу, здійснюють кореляційну обробку, обчислюють апостеріорні ймовірності, обчислюють функціонал відношення вірогідності, в результаті обробки вхідного сигналу отримують розділені відклики радіоімпульсів [1].

Недоліками відомого способу розділення радіоімпульсів є складність реалізації, яка обумовлена значним обсягом апріорної інформації, необхідної для роботи пристрою та складністю алгоритму роботи пристрою. До недоліків відносяться також низька роздільна здатність при розділенні радіоімпульсів без внутрішньоімпульсної модуляції і низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним за прототип, є спосіб розділення радіоімпульсів, що реалізується за допомогою пристрою розділення радіоімпульсів, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є

функцією радіоімпульсів і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують розділені відклики радіоімпульсів [2].

Недоліками відомого способу розділення радіоімпульсів, обраного за прототип, є низька роздільна здатність, а також низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм розділення радіоімпульсів, а саме шляхом прийому вхідного сигналу, який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів і перешкоди, а також додаткового обчислення нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислення позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, здійснення згладжування отриманої позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, забезпечити підвищення роздільної здатності та перешкодостійкості в умовах впливу сильних перешкод, що дозволяє усунути недоліки прототипу.

(19) UA (11) 65236 (13) U

Суть корисної моделі в способі розділення радіоімпульсів, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією радіоімпульсів і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують розділені відклики радіоімпульсів, який полягає в тому, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів і перешкоди, а в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу додатково обчислюють нижню (верхню) грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють позитивну (негативну) частину нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, здійснюють згладжування отриманої позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті чого отримують розділені відклики радіоімпульсів.

Порівняльний аналіз технічного рішення, яке заявляється, з прототипом дозволяє зробити висновки, що спосіб розділення радіоімпульсів відрізняється тим, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів і перешкоди, а в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу додатково обчислюють нижню (верхню) грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють позитивну (негативну) частину нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, здійснюють згладжування отриманої позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті чого отримують розділені відклики радіоімпульсів.

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень, де на фіг.1 представлена послідовність операцій, що пояснює суть способу розділення радіоімпульсів; на фіг.2 показана функціональна схема пристрою розділення радіоімпульсів, за допомогою якого реалізується зазначений спосіб; на фіг.3 показана осцилограма сигналу $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 3 в умовах впливу на вхіді пристрою розділення радіоімпульсів двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ при відсутності перешкоди $n(t)=0$; на фіг.4 наведена осцилограма сигналу $z(t)$ на виході пристрою розділення радіоімпульсів в умовах впливу на вхіді пристрою розділення радіоімпульсів двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ при відсутності перешкоди $n(t)=0$; на фіг.5 показана осцилограма сигналу $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 3 в умовах впливу на вхіді пристрою розділення радіоімпульсів двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ у присутності перешкоди $n(t)$; на фіг.6 наведена осцилограма сигналу $z(t)$ на виході пристрою розділення радіоімпульсів в умовах впливу на

вході пристрою двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ у присутності перешкоди $n(t)$.

Згідно схеми на фіг.1, суть способу розділення радіоімпульсів пояснюється за допомогою наступної послідовності операцій.

Задають часовий інтервал Δt такий, що забезпечує незалежність часових відліків $\{n(t_j)\}$ перешкоди $n(t)$, причому $\Delta t = T_0 = 1/f_0$, де T_0 - період коливань, а f_0 - частота радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$.

Приймають вхідний сигнал $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$ і перешкоди $n(t)$ відповідно [3]:

$$x(t) = s_1(t) \vee s_2(t) \vee n(t), \quad (1a)$$

$$\tilde{x}(t) = s_1(t) \wedge s_2(t) \wedge n(t), \quad (1b)$$

де $s_{1,2}(t) \vee n(t) = \sup_L [s_{1,2}(t), n(t)]$,

$s_{1,2}(t) \wedge n(t) = \inf_L [s_{1,2}(t), n(t)]$ - функції верхньої $s_{1,2}(t) \vee n(t)$ і нижньої $s_{1,2}(t) \wedge n(t)$ граней відповідно.

Формують сукупність $\{x(t_j)\}$ ($\{\tilde{x}(t_j)\}$) затриманих на заданий часовий інтервал Δt копій $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$):

$$x(t_j) = s_1(t_j) \vee s_2(t_j) \vee n(t_j), \quad (2a)$$

$$\tilde{x}(t_j) = s_1(t_j) \wedge s_2(t_j) \wedge n(t_j), \quad (2b)$$

де $s_1(t_j)$, $s_2(t_j)$ і $n(t_j)$ - часові відліки радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$ і перешкоди $n(t)$, які беруться через заданий часовий інтервал Δt ;

$t_j = t - j\Delta t$ - значення часового параметра копій $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), $j=0, 1, \dots, N-1$,

$t_j \in T^* \subset T_S$,

де: Δt - заданий часовий інтервал; T_S - область визначення радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$; T^* - інтервал обробки: $T^* = [t - (N-1)\Delta t, t]$;

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

В ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу:

обчислюють нижню $y(t)$ (верхню $\tilde{y}(t)$) грань сукупності $\{x(t_j)\}$ ($\{\tilde{x}(t_j)\}$) затриманих на заданий часовий інтервал копій $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$):

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

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

обчислюють позитивну $y_+(t)$ (негативну $y_-(t)$) частину нижньої $y(t)$ (верхньої $\tilde{y}(t)$) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$):

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

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

здійснюють згладжування отриманої позитивної $y_+(t)$ (негативної $y_-(t)$) частини нижньої $y(t)$ (верхньої $\tilde{y}(t)$) грані сукупності затриманих на заданий

часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), в результаті чого отримують розділені відклики радіоімпульсів:

$$z(t) = \text{med}\{y_+(t_k)\}, \quad (5a)$$

$$\tilde{z}(t) = \text{med}\{y_-(t_k)\}, \quad (5b)$$

де: $\text{med}\{*\}$ - вибіркова медіана $\text{med}\{*\}$ сукупності $\{y_+(t_k)\}$ ($\{y_-(t_k)\}$) часових відліків позитивної $y_+(t)$ (негативної $y_-(t)$) частини;

$$t_k = t - \frac{k}{M} \Delta t - \text{значення часового параметра}$$

часових відліків $\{y_+(t_k)\}$ ($\{y_-(t_k)\}$) позитивної $y_+(t)$ (негативної $y_-(t)$) частини, $k=0, 1, \dots, M-1$;

$t_k \in \tilde{T} = [t - \Delta t, t]$, \tilde{T} - інтервал, на якому здійснюється згладжування;

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

Спосіб розділення радіоімпульсів, який заявляється, реалізується за допомогою пристрою розділення радіоімпульсів, який конструктивно містить (див. фіг.2): блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 1, який, в свою чергу, містить елементи затримки вхідного сигналу - 2; блок обчислення нижньої (верхньої) грані - 3; блок обчислення позитивної (негативної) частини - 4; фільтр - 5.

Сукупність функціональних елементів і зв'язків між ними пристроєм розділення радіоімпульсів дозволяє реалізувати послідовність дій даного способу.

Реалізація способу розділення радіоімпульсів за допомогою вищезазначеного пристрою здійснюється таким чином (див. фіг.2).

За допомогою блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 1 та елементів затримки вхідного сигналу 2 задають часовий інтервал Δt , причому $\Delta t = T_0 = 1/f_0$, де T_0 - період коливальності, а f_0 - частота радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$.

На вході пристрою розділення радіоімпульсів приймають вхідний сигнал $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$ і перешкоди $n(t)$ відповідно до формул (1a) і (1b).

За допомогою блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 1 на виході елементів затримки вхідного сигналу 2 формують сукупність $\{x(t_j)\}$ ($\{\tilde{x}(t_j)\}$) затриманих на заданий часовий інтервал Δt копій $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) згідно з формулами (2a) і (2b).

В ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу:

за допомогою блока обчислення нижньої (верхньої) грані 3 обчислюють нижню $y(t)$ (верхню $\tilde{y}(t)$) грань сукупності $\{x(t_j)\}$ ($\{\tilde{x}(t_j)\}$) затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) у відповідності до формул (3a) і (3b);

за допомогою блока обчислення позитивної (негативної) частини 4 обчислюють позитивну $y_+(t)$ (негативну $y_-(t)$) частину нижньої $y(t)$ (верхньої $\tilde{y}(t)$) грані сукупності затриманих на заданий часовий

інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$) згідно формул (4a) і (4b);

за допомогою фільтра 5 здійснюють згладжування отриманої позитивної $y_+(t)$ (негативної $y_-(t)$) частини нижньої $y(t)$ (верхньої $\tilde{y}(t)$) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), в результаті чого отримують розділені відклики радіоімпульсів відповідно до формул (5a) і (5b).

Підсумовуючи таким чином зміст отриманих співвідношень (5a), (5b); (4a), (4b); (3a), (3b); (2a), (2b), можна зробити висновок про те, що сигнал $z(t)$ ($\tilde{z}(t)$), який виділяється за допомогою фільтра 5, є комбінацією розділених відкликів радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$, які отримуються шляхом згладжування позитивної $y_+(t)$ (негативної $y_-(t)$) частини, що є результатом обробки вхідного сигналу $x(t)$ ($\tilde{x}(t)$), яка здійснюється за допомогою блока обчислення нижньої (верхньої) грані 3 та блока обчислення позитивної (негативної) частини 4.

На фіг.3, 5 показані осцилограми сигналів $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 4, а на фіг.4, 6 наведені осцилограми сигналів $z(t)$ на виході пристрою розділення радіоімпульсів в умовах відсутності і наявності перешкоди відповідно, отримані в результаті статистичного моделювання процесу обробки вхідного сигналу у даному пристрої за допомогою математичного пакету MATHECAD. Наведені приклади відповідають наступним умовам. Радіоімпульси $s_1(t)$, $s_2(t)$ - вузькосмугові радіоімпульси без внутрішньоімпульсної модуляції; перешкода - квазібілий гаусівський шум з відношенням максимальної частоти спектральної щільності перешкоди $f_{n,\max}$ до частоти радіоімпульсів f_0 : $f_{n,\max}/f_0=8$; співвідношення сигнал-перешкода для радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$ приймали значення $E_{s1}/N_0=8 \cdot 10^{-7}$, $E_{s2}/N_0=3,2 \cdot 10^{-6}$ відповідно (де: E_{s1} , E_{s2} - енергії радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$; N_0 - спектральна щільність потужності перешкоди). Число часових відліків N вхідного сигналу $x(t)$, які використовуються при обробці і визначаються кількістю періодів коливальності радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$, дорівнює 10. Затримка радіоімпульсу $s_1(t)$ відносно радіоімпульсу $s_2(t)$ складає $1,25T_0$, де T_0 - період коливальності: $T_0=1/f_0$, f_0 - частота радіоімпульсів.

На фіг.3 суцільною лінією показана осцилограма сигналу $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 4 в умовах впливу на вході пристрою розділення радіоімпульсів двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ при відсутності перешкоди $n(t)=0$. Радіоімпульси $s_1(t)$, $s_2(t)$ показано пунктирною лінією.

На фіг.4 суцільною лінією наведена осцилограма сигналу $z(t)$ на виході пристрою розділення радіоімпульсів в умовах впливу на вході пристрою двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ при відсутності перешкоди $n(t)=0$. Як видно з фіг.4, верхи відкликів радіоімпульсів дещо зрізано, що пояснюється впливом фільтра 5, що згладжує сигнал $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 4.

На фіг.5 суцільною лінією показана осцилограма сигналу $y_+(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 4 в умовах впливу на вході

пристрою розділення радіоімпульсів двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ у присутності перешкоди $n(t)$. Як можна побачити на фіг.5, відклики радіоімпульсів $s_1(t)$, $s_2(t)$ на виході блока обчислення позитивної частини 4 розділені та добре помітні на фоні залишків перешкодових викидів, не дивлячись на достатньо малі співвідношення сигнал-перешкода.

На фіг.6 суцільною лінією наведена осцилограма сигналу $z(t)$ на виході пристрою розділення радіоімпульсів в умовах впливу на вході пристрою двох радіоімпульсів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ у присутності перешкоди $n(t)$. Порівнюючи осцилограми сигналів на фіг.5, 6, можна помітити, що за допомогою фільтра 5, що згладжує сигнал $y_+(t)$, усуваються перешкодові викиди, які залишились після попередньої обробки вхідного сигналу у блока обчислення нижньої грані 3 та у блока обчислення позитивної частини 4.

Результати статистичного моделювання процесу обробки вхідного сигналу у запропонованому пристрої розділення радіоімпульсів у вигляді осцилограм сигналів $y_+(t)$ та $z(t)$, які показані на фіг.5 і фіг.6 відповідно, свідчать про високу ефективність розділення радіоімпульсів на фоні сильних перешкод.

Підвищення ефективності способу розділення радіоімпульсів, який заявляється, у порівнянні із прототипом, досягається шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення від-

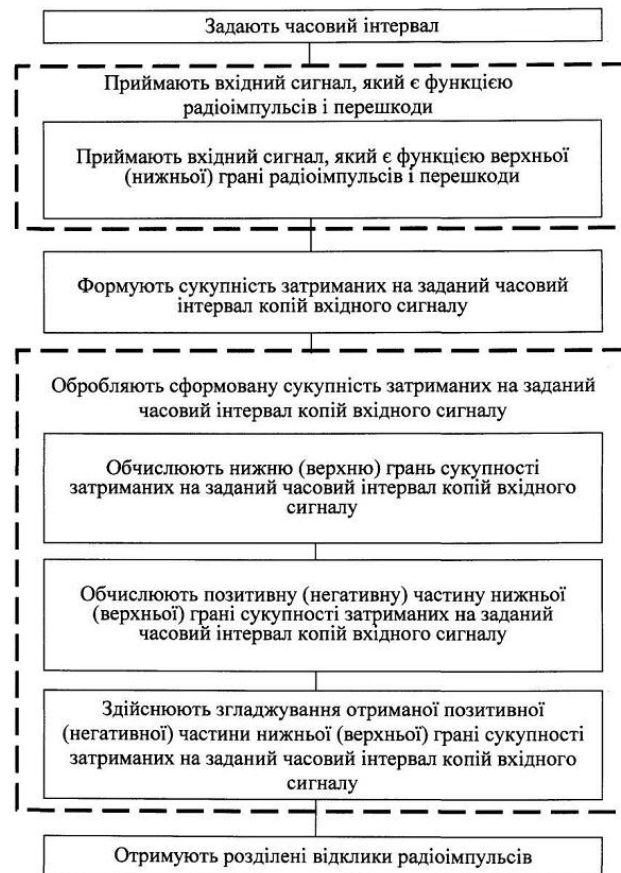
повідних змін в алгоритм розділення радіоімпульсів, а саме шляхом прийому вхідного сигналу, який є функцією верхньої (нижньої) грані радіоімпульсів і перешкоди, а також додаткового обчислення нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислення позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, здійснення згладжування отриманої позитивної (негативної) частини нижньої (верхньої) грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, за рахунок чого забезпечується підвищення роздільної здатності та перешкодостійкості в умовах впливу сильних перешкод.

Джерела інформації:

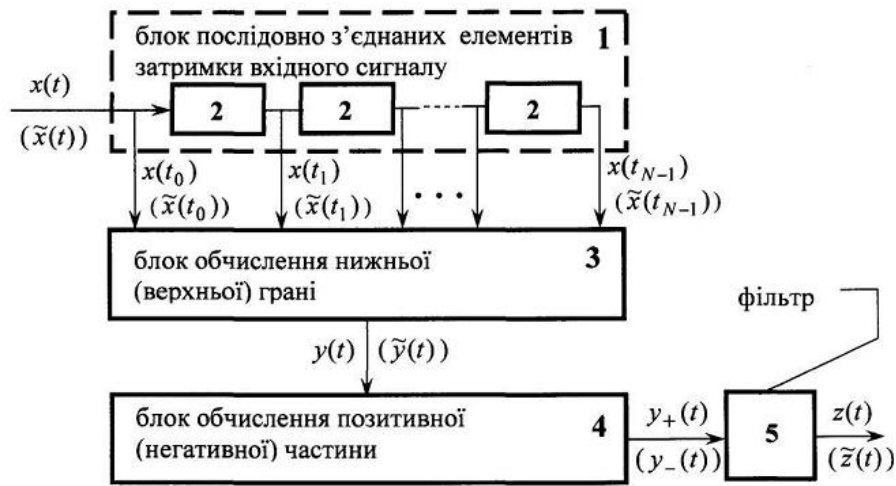
1. Егоров А.Е., Кокунин П.А., Надеев А.Ф. и др. Устройство разрешения радиоимпульсных сигналов на фоне произвольной помехи // Патент РФ 2269205, кл. H04B 15/00, 2006, стор. 3, фіг.1. - аналог.

2. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. М.: Сов. радио, 1974, стр. 52, рис. 1.3.8 - прототип.

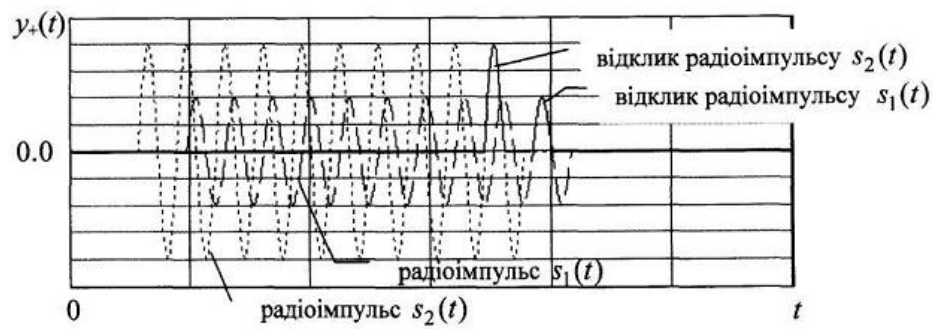
3. Попов А.А. Характеристики обработки гармонических сигналов на фоне помех (шумов) в условиях их взаимодействия в К-пространстве // Известия вузов. Радиоэлектроника 2008, № 10, С. 69-80.



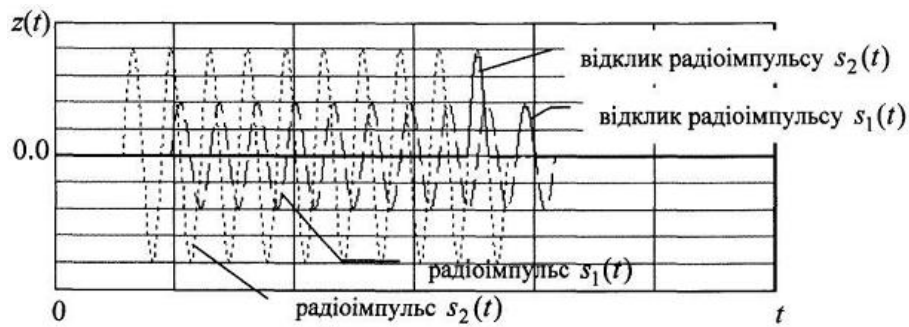
Фіг. 1



Фіг. 2



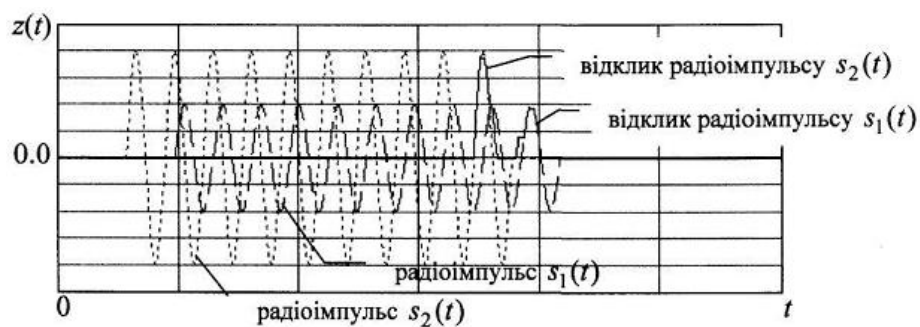
Фіг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6