



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **86834**

(13) **U**

(51) МПК

G01R 29/26 (2006.01)

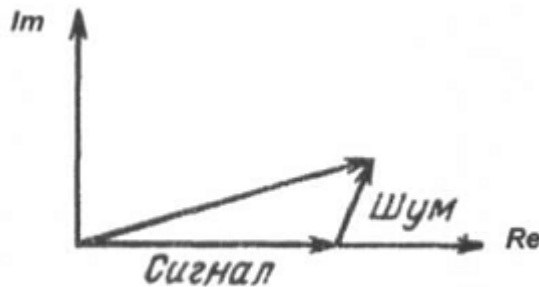
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | | | |
|--|----------------------------|---------------------|--|
| (21) Номер заявки: | u 2013 09268 | (72) Винахідник(и): | Алаєв Олександр Миколайович (UA), Атаров Микола Олександрович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: | 23.07.2013 | (73) Власник(и): | ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: | 10.01.2014 | | |
| (46) Публікація відомостей про видачу патенту: | 10.01.2014, Бюл.№ 1 | | |

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ

(57) Реферат:

Спосіб вимірювання відношення сигнал/шум включає вузькосмугову фільтрацію суміші сигналу і шуму, фазово-амплітудне перетворення та її подальшу обробку, причому після вузькосмугової фільтрації й фазово-амплітудного перетворення роблять виділення екстремальних значень сигналу, коли похідна сигналу після фазово-амплітудного перетворення змінюється в нуль і коротких викидів великої амплітуди сигналу, після чого визначають відношення частоти появи аномальних помилок за одиницю часу до частоти появи екстремальних значень сигналу за одиницю часу.



Фиг. 1

UA 86834 U

Корисна модель належить до області радіовимірювань, зокрема до вимірювання відношення сигнал/шум.

Відомий спосіб вимірювання відношення сигнал/шум, в якому суміш сигналу і шуму перетворюють за допомогою нелінійного елемента з квадратичною характеристикою, проводять вимірювання значень спектральної щільності потужності процесу на виході нелінійного елемента у двох частотних діапазонах, межею поділу яких є половинне значення ширини спектра шуму (сигналу), обчислюють функцію від цих величин, за якою судять про шукану величину (А. С. СРСР № 1529148, МПК 8 G01R 29/26, опубл. 15.12.1989).

Недоліками способу вимірювання відношення сигнал/шум, прийнятого як аналог, є низька швидкодія через наявність двох паралельно включених смугових фільтрів, для яких потрібне попереднє визначення смуги пропускання, на що витрачається додатковий час.

Найбільш близьким аналогом до пропонованого є спосіб вимірювання відношення сигнал/шум (RU № 2354981, МПК 8 G01R 29/26, опубл. 10.05.2009).

Спосіб вимірювання відношення сигнал/шум, при якому здійснюється вузькосмугова фільтрація суміші сигналу, перемикання фази височастотної складової суміші сигналу і шуму на π при кожному досягненні обвідної суміші сигналу і шуму нуля, подальше виділення позасмугових складових у спектрі обробленого сигналу і по відношенню потужності позасмугових складових до загальної потужності сигналу визначення відношення сигнал/шум.

Основним недоліком способу вимірювання відношення сигнал/шум, вибраного як найближчий аналог, є необхідність попередньої оцінки ширини спектра сигналу (смуги частот, що займає сигнал), що істотно збільшує час оцінки відношення сигнал/шум, тим самим знижує швидкодію.

Технічною задачею запропонованого способу вимірювання відношення сигнал/шум є удосконалення способу, в якому забезпечується підвищення швидкодії через застосування методу, інваріантного до ширини спектра.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в способі вимірювання відношення сигнал/шум, що включає вузькосмугову фільтрацію суміші сигналу і шуму, фазово-амплітудне перетворення та її подальшу обробку, згідно з корисною моделлю, після вузькосмугової фільтрації й фазово-амплітудного перетворення роблять виділення екстремальних значень сигналу, коли похідна сигналу після фазово-амплітудного перетворення змінюється в нуль і коротких викидів великої амплітуди сигналу, після чого визначають відношення частоти появи аномальних помилок за одиницю часу до частоти появи екстремальних значень сигналу за одиницю часу і за формулою:

$$\rho = \left[\operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{f_s}{0,79N_{1\max}} \right) \right]^2,$$

де $\operatorname{erfc}^{-1}()$ - зворотна додаткова функція помилки; f_s - частота появи аномальних помилок за одиницю часу, с^{-1} ; $N_{1\max}$ - частота появи екстремальних значень за одиницю часу, с^{-1} визначають відношення сигнал/шум.

Суть способу пояснюється фіг. 1-6. На фіг. 1 показано відносне векторне представлення суми сигналу та шуму з урахуванням частоти несучої; на фіг. 2 - годограф вектора суми гармонічного сигналу і шуму, коли вектор шуму малий у порівнянні з сигнальним вектором; на фіг. 3 - частота суми гармонічного сигналу і шуму; на фіг. 4 - годограф вектора суми гармонічного сигналу і шуму, коли вектор шуму великий порівняно з сигнальним вектором; на фіг. 5 - частота суми гармонічного сигналу і шуму; на фіг. 6 зображений графік залежності відношення числа аномальних помилок до середнього числа максимумів флуктуації частоти від відношення сигнал/шум.

Відомо, що прийом корисних сигналів з безперервною несучою супроводжується шумами. При цьому, якщо розглянути миттєву частоту такої суми корисного сигналу і шуму, то можна зазначити, що є дві складові: невеликі флуктуації і короткі викиди великої амплітуди.

Немодульовану несучу сигналу можна представити як обертовий вектор з фазою $\Theta(t)$ і довжиною, що дорівнює амплітуді $U_m(t)$. Частота сигналу є кутова швидкість обертання цього вектора.

Вектор шуму складається з сигнальним вектором. Оскільки сигнальний вектор обертається з постійною швидкістю, для зручності подання можна просто відображати відносне обертання результуючого вектора щодо сигнального вектора (фіг. 1).

Коли вектор шуму малий, як показано на фіг. 2, він викликає незначні флуктуації миттєвої частоти, як показано на фіг. 3.

Якщо вектор шуму великий, то результуючий вектор прийнятої суміші сигналу і шуму описує своїм кінцем траєкторію навколо початку координат (фіг. 4). Це викликає фазову помилку величиною 2π (перескок на один період або цикл). Якщо такий рух відбувається швидко, то його можна приблизно вважати стрибком фази, який веде до появи короточасного імпульсу миттєвої частоти великої амплітуди, як показано на фіг. 5.

Це явище називається аномальною помилкою. При цьому миттєва частота такої суми представляється імпульсною послідовністю, обумовленою тим, що кінець результуючого вектора описує траєкторії навколо початку координат, і флуктуаційного шуму, який можна досліджувати методами лінійного аналізу. Компонента перескоків фази володіє рівномірним спектром з щільністю $(2\pi)^2 f_s$, де f_s - математичне очікування числа перескоків в секунду (середня інтенсивність перескоків), визначається за формулою:

$$f_s = R \cdot \operatorname{erfc}(\rho^{1/2}), \quad (1)$$

де ρ - відношення сигнал/шум на виході фільтра ПЧ, $\operatorname{erfc}(\cdot)$ - додаткова функція помилки, яка визначається виразом:

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt, \quad (2)$$

R - радіус гірації фільтра ПЧ:

$$R = \frac{\int_0^\infty (f - f_0)^2 H(f) df}{\int_0^\infty 2H(f + f_0) df}, \quad (3)$$

де f_0 - несуча частота, H - передатна характеристика фільтра.

Беручи передатну характеристику фільтра ПЧ рівномірної в межах

$$\left[f_0 - \frac{\Delta f}{2}; f_0 + \frac{\Delta f}{2} \right], \quad \text{з (3) отримаємо наступний результат для радіуса гірації:} \quad R = \frac{\Delta f}{2\sqrt{6}}.$$

Якщо підставити це значення в (1) отримаємо:

$$f_s = \frac{\Delta f}{2\sqrt{6}} \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho}), \quad (4)$$

З останнього виразу видно, що число аномальних помилок залежить від смуги частот займаної сигналом, тому представляє інтерес розробка способу оцінки відносної частоти появи аномальних помилок, інваріантних до смуги частот.

Визначимо середнє число максимумів $N_{1\max}$ випадкової частоти суми сигналу і шуму, вважаючи спектральну щільність шуму рівномірної в смузі частот Δf з рівномірним розподілом фази в межах від $-\pi$ до π .

Спектральна щільність флуктуацій фази суми гармонійного сигналу і шуму буде також

прямокутною, але її смуга буде складати $\frac{\Delta f}{2}$.

Відомо співвідношення для середнього числа максимумів для флуктуацій фази квазігармонійного процесу як:

$$N_{1\max} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{r_0^{(4)} - (r_0'')^2}{-r_0''}}, \quad (5)$$

де r_0 - кореляційна функція процесу $r(\tau)$ за умови $\tau=0$; r_0'' і $r_0^{(4)}$ похідні $r(\tau)$ за умови $\tau=0$ другого і четвертого порядку відповідно.

Враховуючи причинно-наслідковий зв'язок, очевидно, що середнє число екстремумів для флуктуацій фази і частоти буде збігатися, оскільки частота є похідною фази.

Прийнявши, що функція зміни частоти має рівномірний спектр у смузі частот від 0 до $\frac{\Delta f}{2}$, її кореляційну функцію можна представити у вигляді:

$$r(\tau) = \frac{\sin(\frac{\pi \Delta f \tau}{2})}{\frac{\pi \Delta f \tau}{2}},$$

знайшовши похідні і підставивши в (5) отримаємо:

$$N_{1\max} \approx 0,258\Delta f$$

Розділивши (4) на отримане співвідношення, отримаємо вираз інваріантного до ширини спектру аналізованого сигналу:

$$\frac{f_s}{N_{1\max}} \approx 0,79 \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho})$$

Таким чином, відношення сигнал/шум буде визначатися за формулою:

$$\rho = \left[\operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{f_s}{0,79 N_{1\max}} \right) \right]^2, \quad (6)$$

де $\operatorname{erfc}^{-1}(\cdot)$ - зворотна додаткова функція помилки

Графік цієї залежності представлений на фіг. 6.

Запропонований метод оцінки відношення сигнал/шум, заснований на знаходженні відношення частоти появи аномальних помилок (короткочасних імпульсів миттєвої частоти великої амплітуди) до загального числа екстремумів (викидів) частоти сигналу, є інваріантним до смуги частот, що займає прийнятий сигнал. Він не вимагає попередньої оцінки смуги частот, що займає прийнятий сигнал, що в підсумку призводить до зменшення часу, необхідного для оцінки відношення сигнал/шум, що підвищує швидкодію.

Приклад реалізації цього способу ілюструється на фіг. 7, де блок 1 - вузькосмуговий фільтр, блок 2 - частотний детектор, блок 3 - показник екстремумів, 4 - лічильник екстремумів, блок 5 - диференціальний ланцюг, блок 6 - амплітудний селектор, блок 7 - лічильник аномальних викидів, блок 8 - вирішальний пристрій.

Після попередньої фільтрації і частотного детектування суми сигналу і шуму, що здійснюються в блоках 1 і 2 відповідно, роблять виділення екстремальних значень і коротких викидів великої амплітуди (аномальних викидів) за допомогою блоків 3, 5 і 6 відповідно. Далі за допомогою блоків 4 і 7 підраховується число екстремумів і аномальних викидів. Вирішальний пристрій (блок 8) зчитує вміст лічильника аномальних викидів при заданому значенні лічильника екстремумів і виконує перетворення числа відповідно до формули (6).

Показник екстремумів реалізується схемою, представленою на фіг. 8, де DA1 - операційний підсилювач (ОУ), DA2 - компаратор. Його робота пояснюється часовими діаграмами, наведеними на фіг. 9, де 10 - вхідний сигнал; 11 - сигнал на виході ОУ; 12 - сигнал на виході компаратора.

При збільшенні вхідного сигналу, сигнал на виході ОУ також збільшується, причому його рівень більше рівня вхідного сигналу на величину граничного значення напруги на діоді VD1. За умови зменшення рівня вхідного сигналу, сигнал на виході ОУ також зменшується, причому його рівень менше рівня вхідного сигналу на величину порогового значення напруги на діоді VD2.

Таким чином, між вхідним сигналом і сигналом на виході ОУ завжди існує різниця, яка дорівнює граничній напрузі відкриття діодів VD1 і VD2, причому, якщо вхідний сигнал збільшується, ця різниця має позитивний знак, якщо зменшується - негативний знак. Зміна знаку різниці напруг відбувається в момент зміни знака похідної сигналу (коли похідна змінюється в нуль).

Ця різниця виділяється за допомогою компаратора.

Використання запропонованого способу забезпечує підвищення швидкодії за рахунок застосування методу інваріантного до смуги частот, що займає прийнятий сигнал.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб вимірювання відношення сигнал/шум, що включає вузькосмугову фільтрацію суміші сигналу і шуму, фазово-амплітудне перетворення та її подальшу обробку, який **відрізняється** тим, що після вузькосмугової фільтрації й фазово-амплітудного перетворення роблять виділення екстремальних значень сигналу, коли похідна сигналу після фазово-амплітудного перетворення змінюється в нуль і коротких викидів великої амплітуди сигналу, після чого визначають відношення частоти появи аномальних помилок за одиницю часу до частоти появи екстремальних значень сигналу за одиницю часу і за формулою:

$$\rho = \left[\operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{f_s}{0,79 N_{1\max}} \right) \right]^2,$$

де $\operatorname{erfc}^{-1}(\cdot)$ - зворотна додаткова функція помилки; f_s - частота появи аномальних помилок за одиницю часу, с^{-1} ; N_{max} - частота появи екстремальних значень за одиницю часу, с^{-1} ; визначають відношення сигнал/шум.

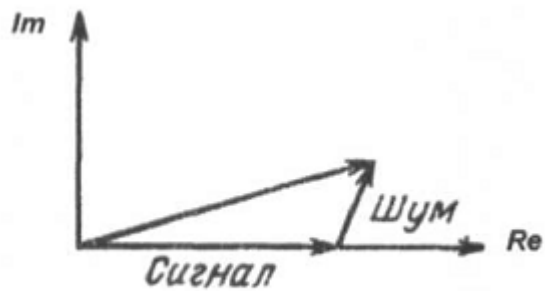


Fig. 1

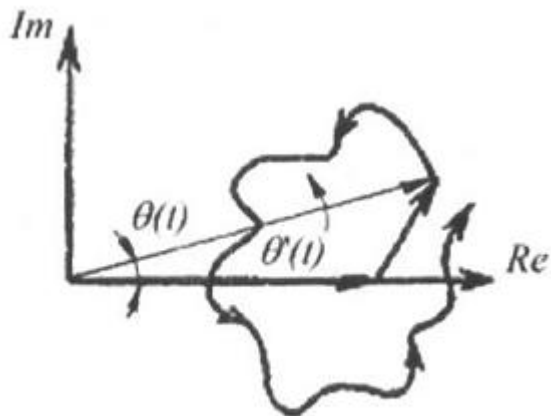


Fig. 2

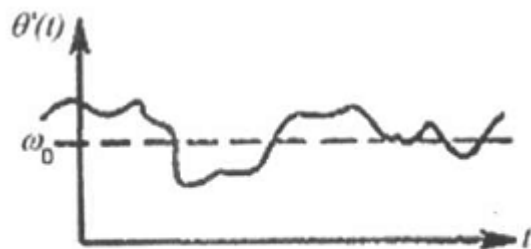


Fig. 3

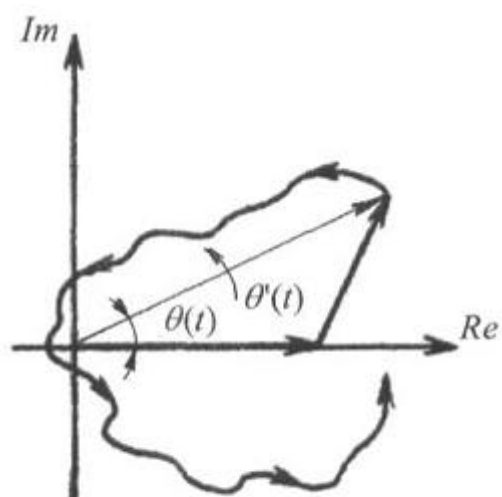


Fig. 4

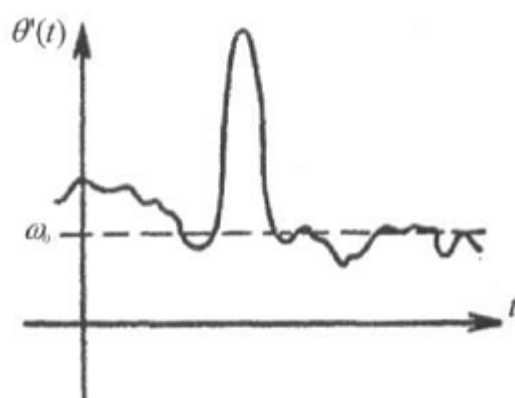


Fig. 5

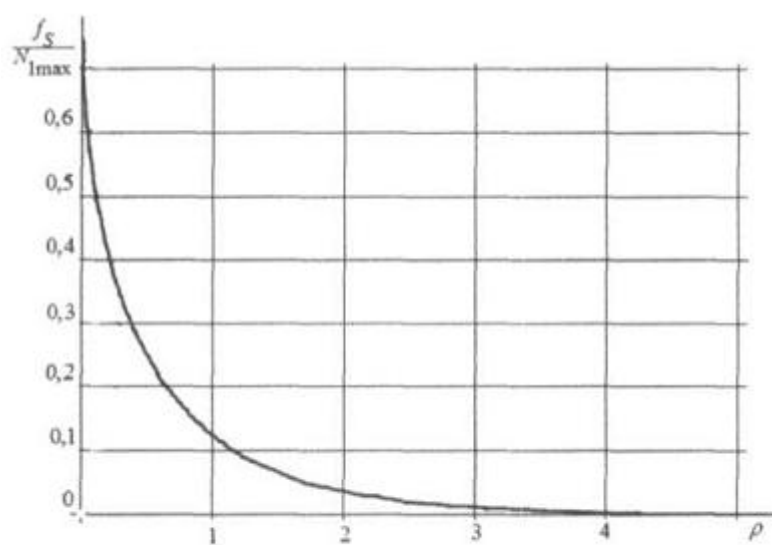


Fig. 6

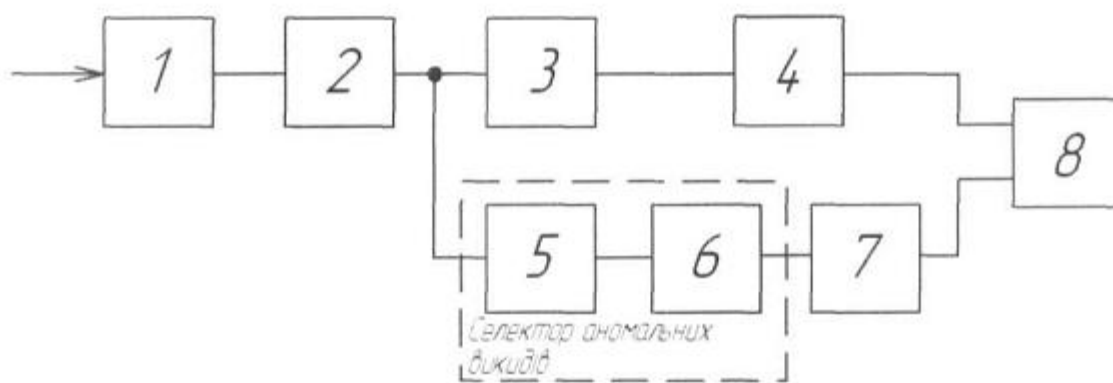


Fig. 7

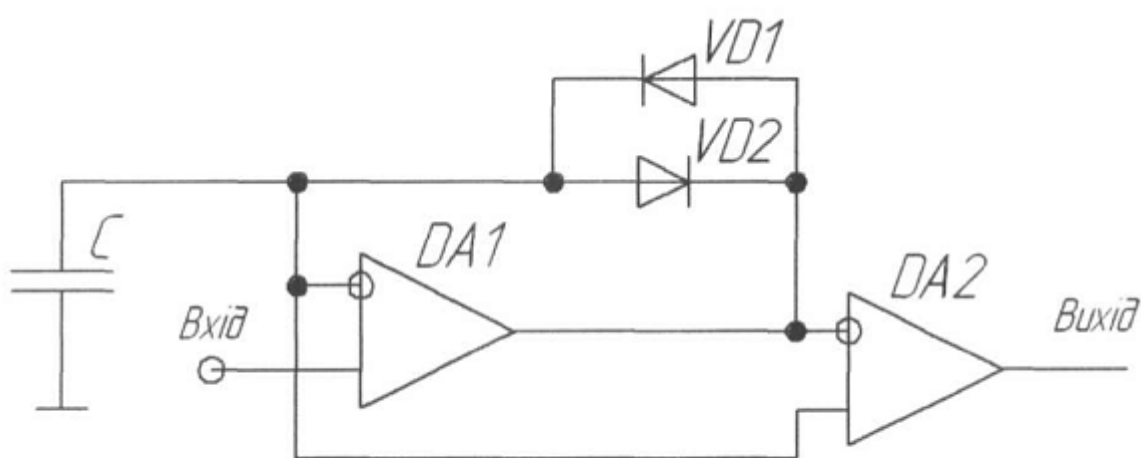


Fig. 8

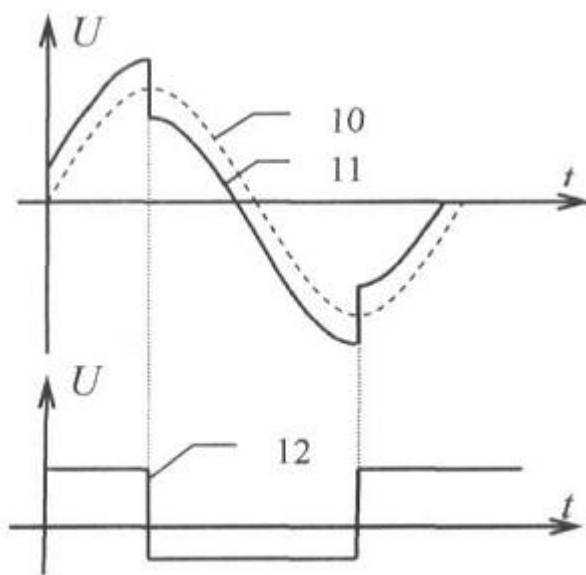


Fig. 9

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601