



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58848 (13) U
(51) МПК
G01R 23/16 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ АКТИВНОГО СПЕКТРА СИГНАЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1

2

(21) u201012014

(22) 11.10.2010

(24) 26.04.2011

(46) 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 р.

(72) ТУНИК ВОЛОДИМИР ФЕДОТОВИЧ

(73) ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В.ЛАЗАРЯНА

(57) 1. Пристрій для обробки та аналізу активного спектра сигналів вимірювальної інформації (ВІ), який містить від одного до п'яти каналів одночасної дії, кожен з яких містить відомий структурно-сигнальний нестационарний фільтр (ССНФ), сигнальний вхід якого є входом каналу, виходом якого є вихід ССНФ, на вході керування якого знаходиться керуючий елемент (КЕ), який **відрізняється** тим, що ССНФ є фільтром зі зовнішнім чи оберненим керуванням за частотою зміщення активного спектра або за обвідною сигналів ВІ, для чого у кожен канал введено стаціонарний фільтр нижніх частот (ФНЧ) першого порядку, вихід якого з'єднано зі входом КЕ; та частотний детектор Гільберта (ЧДГ), який містить послідовно з'єднані фазорізничевий перетворювач Гільберта, блок арктангенса та диференціатор, або амплітудний детектор Гільберта

(АДГ), який містить перетворювач Гільберта, на виході кожного фазообертача якого знаходиться блок піднесення до квадрата (КВ) і послідовно з'єднані суматор, кожен вхід якою з'єднано із виходом одного з КВ, та здобувач квадратного кореня (ЗК); а вхід ФНЧ з'єднано із виходом диференціатора або ЗК, і при зовнішньому керуванні ССНФ вхід ЧДГ або АДГ з'єднано із сигнальним входом ССНФ, а при оберненому керуванні - із його виходом.

2. Пристрій п. 1, який **відрізняється** тим, що в залежності від умов розв'язання конкретної технічної задачі, один з фазообертачів перетворювача Гільберта за своєю амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) є ФНЧ із кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) та з лінійною фазочастотною характеристикою (ФЧХ), а другий фазообертач є гільбертовим фільтром верхніх частот (ФВЧ) також з КІХ та з такою ж за крутизою ФЧХ, зміщеною на 90°; ССНФ кожного каналу має відповідні смугу пропускання та початкову резонансну частоту настройки з урахуванням впливу на неї значення та характеру вихідного опору КЕ і стаціонарний ФНЧ має певну частоту зрізу.

Корисна модель відноситься до техніки обробки та аналізу активного спектра сигналів вимірювальної інформації (ВІ) про короткочасне порушення нормального функціонування реальних фізичних об'єктів. Ці смугові з невеликою базою сигнали є функцією коливального типу в основному із дійсними нулями та зі змінними частотою і амплітудою.

Відома ступінь корисності використання у різних галузях науки і техніки апаратурного аналізу спектра реальних фізичних процесів, які в основному є випадковими нестационарними, тому їх аналіз можна виконувати лише найбільш швидкодіючими відомими аналізаторами паралельного типу одночасної дії. Але стаціонарні аналізуючі фільтри цих аналізаторів неадекватні нестационарним процесам, тому при їх використанні виника-

ють недопустимі похибки аналізу навіть при небажаному збільшенні часу аналізу до відомої межі їх структурної однорідності.

Однією з можливостей підвищення ефективності апаратурного спектрального аналізу саме нестационарних процесів, до яких відносяться сигнали ВІ є шлях використання відомого поняття про активний спектр сигналів, який безперервно розміщується по пасивному - неінформаційному (зайвому) частотному діапазону значної ширини порівняно із активною смугою цього спектра, який у кожний момент несе досить повну інформацію про сигнали, що обробляються та аналізуються. Зрозуміло, що адекватними для таких сигналів повинні бути лише автоматично керовані смугові фільтри, які здатні, перш за все, відслідковувати зміщення активного спектру.

UA (13)

58848 (11)

UA (19)

Відомий пристрій для слідкувального аналізу активного спектра нестационарних процесів [Патент України на корисну модель №33179 від 10.06.2008. Бюл. №11], який містить 3-5 каналів одночасної дії, аналізуючи фільтри кожного з яких є автоматично керованими смуговими фільтрами вище другого порядку [Патент України на корисну модель №23124 від 10.05.2007. Бюл. №6], які згідно з відомим поняттям активного спектру і за аналогією з відомими аналізаторами спектру розраховують на активну смугу і мають високу вибірковість, що значно ускладнює реалізацію аналізатора. Крім того, ці фільтри відслідковують лише частоту зміщення активного спектру незалежно від зміни активної смуги, яка є смугою спектра обвідної вхідного сигналу і ця обвідна безпосередньо не зв'язана із миттєвою частотою зміщення активного спектра.

Однак активний спектр сигналів ВІ, на відміну від модульованих сигналів зі змішуваною амплітудно-частотною модуляцією, має принципову особливість - взаємозалежність обвідної та миттєвої частоти через перетворення Гільберта, тому для обробки та аналізу таких сигналів достатньо використовувати слідкуючи одиночні коливальні контури (резонатори), автоматичне керування яких можна виконувати чи обвідною, чи миттєвою частотою зміщення активного спектра.

Подібні фільтри відомі [Виницкий А.С. Модулированные фильтры и следящий приём ЧМ сигналов. - М.: «Сов. радио», 1969г.]. Ці фільтри представляють собою слідкуючи одиночні коливальні контури, але затухання і, як наслідок, смуга пропускання цих фільтрів залежать від функції миттєвої частоти вхідного сигналу з умови так названої адіабатичної інваріантності і незалежно від функції їх обвідної.

Найбільш близьким аналогом до технічного рішення, що заявляється, є такий пристрій обробки та аналізу активного спектра сигналів, подібних сигналам ВІ, аналізуючи фільтри якого є відомі структурно-сигнальні нестационарні фільтри (ССНФ) [Заездный А.М., Зайцев В.А.. Структурно-сигнальные параметрические фильтры и их использование для разделения сигналов. «Радиотехника», т.26, №1, 1971г.].

Ці фільтри представляють собою також слідкуючи одиночні коливальні контури, але вони відповідають умові узагальненого резонансу, коли безперервно компенсується затухання контуру зовнішнім діянням, тому він сприймає адекватне складне діяння подібно тому, як найпростіше синусоїдальне колювання сприймає стаціонарний резонансний контур. Ключова особливість фільтрів ССНФ є така, що їх затухання і, як наслідок, смуга пропускання залежать не тільки від функції миттєвої частоти зміщення активного спектра, а і, головне, від функції зміни обвідної вхідного сигналу.

Однак при цьому вирази змінних коефіцієнтів диференційного рівняння другого порядку, що відповідає ССНФ, має порівняно велику кількість параметрів, відносин їх похідних та їх добуток. Це суттєво ускладнює реалізацію такого ССНФ. Крім того при цьому не встановлений зв'язок засобу

автоматичного керування ССНФ із принципом виділення обвідної та миттєвої частоти, тем більш, частоти зміщення активного спектра.

Технічною задачею, яка вирішується корисною моделлю, є задача одержання значно більш простого та ефективного пристрою для обробки та аналізу активного спектра сигналів ВІ за рахунок спрощення реалізації фільтрів, що аналізують.

Ця задача вирішується пристроєм для обробки та аналізу активного спектра сигналів виміральної інформації і його варіантами, який містить від одного до п'яти каналів одночасної дії, кожен з яких містить відомий структурно-сигнальний нестационарний фільтр (ССНФ), сигнальний вхід якого є входом каналу, виходом якого є вихід ССНФ, на вході керування якого знаходиться керуючий елемент (КЕ).

Новим є те, що ССНФ є фільтром зі зовнішнім чи оберненим керуванням за частотою зміщення активного спектра або за обвідною сигналів ВІ, для чого у кожен канал уведено стаціонарний фільтр нижніх частот (ФНЧ) першого порядку, вихід якого з'єднано із входом КЕ; та частотний детектор Гільберта (ЧДГ), який містить послідовно з'єднані фазо різницевий перетворювач Гільберта, блок арктангенса та диференціатор; або амплітудний детектор Гільберта (АДГ), який містить перетворювач Гільберта, на виході кожного фазообертача якого знаходиться блок піднесення до квадрату (КВ) і послідовно з'єднані суматор, кожен вхід якого з'єднано із виходом одного з КВ, та здобувач квадратного кореня (ЗК); а вхід ФНЧ з'єднано із виходом диференціатора або ЗК, і при зовнішньому керуванні ССНФ вхід ЧДГ або АДГ з'єднано із сигнальним входом ССНФ, а при оберненому керуванні - із його виходом.

Серед відомих перетворювачів Гільберта частіше використовують такий, фазообертачами якого є фазові контури [Авраменко В.Л., Галямичев Ю.П., Ланнэ А.А. Электрические линии задержки и фазовращатели. - М.: «Связь», 1973г., Гл.4] чи перетворювачі Гільберта зі фазовими контурами і з лінійною фазочастотною характеристикою (ФЧХ) [Трифонов И.И. Расчёт электронных цепей с заданными частотными характеристиками. - М.: «Радио и связь», 1988г., п.2.7(6)].

Але для реалізації таких перетворювачів потрібно мати багато фазових контурів і, головне, важко реалізовувати при цьому потрібну їх амплітудно-частотну характеристику (АЧХ).

Новим є також і те, що, в залежності від умов розв'язання конкретної технічної задачі, один з фазообертачів перетворювача Гільберта за своєю амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) є ФНЧ зі кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) та з лінійною фазочастотною характеристикою (ФЧХ), а другий фазообертач є гільбертовим фільтром верхніх частот (ФВЧ) також з КІХ та з такою ж за крутизною ФЧХ, зміщеною на 90°; ССНФ кожного каналу має відповідні початкову смугу пропускання та резонансну частоту настройки з урахуванням впливу на неї значення та характеру вихідного опору КЕ і стаціонарний ФНЧ має певну частоту зрізу.

На кресленні, що додається, наведені структурні електричні схеми запропонованого фільтра у варіанті зовнішнього керування Фіг.1 та оберненого керування Фіг.2 за миттєвою частотою або за обвідною сигналів ВІ, ЧД Гільберта (ЧДГ) Фіг.3 та АД Гільберта (АДГ) Фіг.4. У варіанті керування за обвідною сигналів ВІ замість ЧДГ на схемах Фіг.1 та Фіг.2 повинен знаходитися АДГ (його з'єднання показані пунктиром). Ці фільтри містять керований ССНФ 1, ЧДГ 2, фазообертач - КІХ ФНЧ 4 і фазообертач - КІХ ФВЧ 5, блок арктангенса 6, диференціатор 7, керуючий елемент (КЕ) 8, стаціонарний фільтр нижніх частот (ФНЧ) 9, АДГ 10, блок зведення до квадрату (КВ) 11, суматор 12 і здобувач квадратного кореня (ЗК) 13.

Виходом запропонованого фільтра є вихід ССНФ 1, входом якого при прямому керуванні ССНФ 1 Фіг.1 є його сигнальний вхід об'єднаний зі входом ЧДГ 2 або АДГ 10, а при оберненому керуванні вихід ССНФ 1 Фіг.2 з'єднано зі входом ЧДГ 2 або АДГ 10. Для обох фільтрів ЧДГ 2 або АДГ 10 послідовно з'єднано з ФНЧ 9 та КЕ 8, вихід якого з'єднано зі входом керування ССНФ 1. У АДГ 10 або ЧДГ 2 вихід фазообертача 4 з'єднано відповідно зі входом одного із КВ 11 або з одним із входів блоку арктангенса 6, а вихід фазообертача 5 з'єднано із входом другого КВ 11 або з другим входом блоку арктангенса 6, вихід якого послідовно з'єднано зі диференціатором 7, вихід якого є виходом ЧДГ 2. Вихід кожного КВ 11 з'єднано зі одним із входів суматора 12, який послідовно з'єднано із ЗК 13, вихід якого є виходом АДГ 10.

Працює запропонований пристрій таким чином:

Цілоком реально мати таку систему обробки та аналізу сигналів ВІ, яка автоматично включається у роботу в момент $t=0$ початку і відключається в момент $t=T$ закінчення відхилення об'єкта від нормального функціонування. Отже, оскільки напруга $u_1(t)$ являє собою вхідний сигнал скінченної довжини за часом, то його комплексний спектр $\underline{S}(\omega)$ можна представити наступним виразом прямого перетворення Фур'є:

$$\underline{S}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T u_1(t) \exp(-j\omega t) dt. \text{ При}$$

цьому у спектральна функція $\underline{S}(\omega)$, як відомо, має певну симетрію, тобто $\underline{S}(\omega) = \underline{S}^*(-\omega)$. Значить спектральні функції на вісі позитивних та на вісі негативних частот однозначно зв'язані між собою. Це дозволяє для заданої функції $u_1(t)$ визначити комплексний сигнал $\underline{U}_1(t)$, використовуючи спектр лише на вісі позитивних частот за формулою

$$\underline{U}_1(t) = 2 \int_0^{\infty} \underline{S}(\omega) \exp(j\omega t) d\omega \text{ оберненого перетворення Фур'є. Функцію } \underline{U}_1(t) \text{ можна представити або у алгебраїчній формі } \underline{U}_1(t) = u_1(t) + jh(t), \text{ або}$$

$\underline{U}_1(t) = A(t) \exp j\varphi(t) = A(t) \exp j \int \omega(t) dt$ у показниковій формі. У цих формулах $h(t)$ - перетворення

Гільберта функції $u_1(t)$, $A(t) = \sqrt{u^2(t) + h^2(t)}$ - обвідна, $\varphi(t) = \arctg \frac{h(t)}{r(t)}$ - миттєва фаза і $\omega(t) = \frac{d}{dt} \varphi(t)$ - миттєва частота сигналу ВІ. Диференціюванням виразу $\underline{U}_1(t) = A(t) \exp j\varphi(t)$ та діленням результату

на цей же вираз одержимо: $\frac{\dot{\underline{U}}_1(t)}{\underline{U}_1(t)} = \frac{\dot{A}_t}{A(t)} + j\omega(t)$.

Складові у правій частині цього виразу для комплексної функції лівої частині взагалі є лише спряженими складовими Гільберта.

Саме цей вираз встановлює потрібний для практичного використання принциповий взаємозв'язок через перетворення Гільберта обвідної $A(t)$ та миттєвої частоти $\omega(t)$ для широкого класу сигналів, подібних сигналам ВІ. Це означає, що для сигналів ВІ неможливо для керування перестройкою фільтрів використовувати типові амплітудний детектор та частотний дискримінатор: необхідно використовувати лише ЧДГ 2 або АДГ 10, бо наявність миттєвої частоти $\omega(t)$ зміщення активного спектра сигналів ВІ є достатньою умовою для встановлення і обвідної $A(t)$ або навпаки.

У початковий момент автоматичної перестройки частотних фільтрів на виході ЧДГ 2 або АДГ 10 відсутня керуюча напруга. В такому випадку, якщо керування фільтром виконувати за відомим принципом ручної перестройки, то частота настройки тимчасово одержаного стаціонарного ССНФ 1 визначається лише значенням та характером опору його елементів і, головне, вихідного опору елемента КЕ 8. Лише з появою напруги керування на виході ЧДГ 2 або АДГ 10 почнеться процес автоматичної настройки ССНФ 1 на частоту або на обвідну вхідного сигналу.

Можна показати, що у приведеному часі довільний сигнал ВІ з'являється простішим майже гармонійним коливанням довжиною T . Однак це коливання зберігає повну інформацію про вхідний сигнал у значеннях своїх постійних амплітуди A та фази φ .

Оскільки у реальному часі ці параметри стають відповідно $A(t)$ і $\varphi(t)$, то на основі того ж принципу взаємозв'язку обвідної та миттєвої частоти, остається стверджувати, що адекватним для сигналів ВІ являється тільки нестационарний автоматично керований резонатор. Дослідження показали, що найкращим серед інших нестационарних резонаторів є відомий ССНФ, керований лише за частотою $\omega(t)$ або за обвідною $A(t)$. Для напруги $u_2(t)$ при керуванні лише за частотою $\omega(t)$ і при резонансній частоті початкової настройки $\omega_0(t)$ ССНФ 1 відповідає значно простішому диференційному

$$\ddot{u}_2 + [2\alpha \frac{\omega(t)}{\omega_0} - \frac{\dot{\omega}_t}{\omega(t)}] \dot{u}_2 + \omega^2(t) u_2 = \omega^2(t) \dot{u}_1 \text{ порівняно}$$

з тим, у якому використовують керування також і за обвідною $A(t)$. При необхідності використовувати ССНФ 1 при керуванні лише за обвідною $A(t)$ він повинен реалізовуватися відповідно до відомого диференційного рівняння:

$$\ddot{u}_2 + 2\left(\alpha - \frac{\dot{A}_t}{A}\right)\dot{u}_2 + (\omega_0^2 + \alpha^2 + 2\frac{\dot{A}_t^2}{A^2} - 2\alpha\frac{\dot{A}_t}{A} - \frac{\ddot{A}_t}{A})u_2 = \omega_0^2 u_1.$$

Відомо, що для реалізації лінійних систем, які характеризуються диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами, подібними відміченим, необхідно мати лише інтегратор, диференціатор, суматор та підсилювач зі змінним коефіцієнтом передачі.

Основне призначення слідкуючих фільтрів і систем зі прямим керуванням полягає у досягненні найбільшого значення відношення сигнал/перешкода. Зрозуміло, що чим вище точність слідкування, тим більше це відношення. Максимум цього відношення одержується при інших рівних умовах роботи цих фільтрів на шляху урахування тонкої структури активного спектра сигналів ВІ - наявність резонансних областей - формант. Значить, для кожної форманти необхідно використовувати окремий канал обробки та аналізу автоматично керованим ССНФ 1. Оскільки перетворювач Гільберта, що входить до ЧДГ 2 або АДГ 10 є смуговим пристроєм, то ці детектори не можуть заперечувати можливості створення такої системи, адже вони можуть розраховуватися відповідно числу каналів на порівняно вузьку активну смугу кожної форманти.

На відміну від фільтрів зі оберненим керуванням, для фільтрів зі прямим керуванням не існує проблеми стійкості їх роботи. При цьому вони забезпечують більш високу степінь точності слідкування - достатньо точну відповідність в усталеному (статичному) режимі форми відклику фільтра зовнішньому діянню.

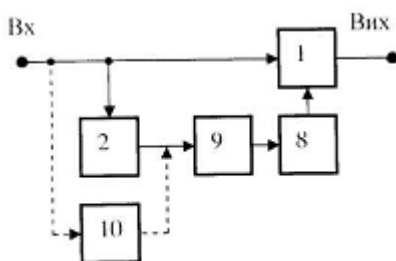
Для фільтрів зі оберненим керуванням вимога точності слідкування також необхідно забезпечувати, але згідно з відомим основним рівнянням роботи системи автоматичного слідкування за частотою тільки на невеликому початковому відрізьку перехідного процесу самонастроювання спостерігається порівняно велика похибка, яка в уста-

леному (статичному) режимі автоматично спрямовує до мінімуму. При цьому мінімальна похибка, у залежності від степеню астатизму все ж є більшою, чим у фільтрів прямого керування.

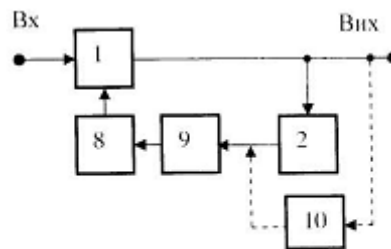
Для фільтрів з оберненим керуванням існує необхідність забезпечення стійкості їх роботи. Методи дослідження стійкості для відомих слідкуючих фільтрів з оберненим керуванням і одержані результати, можна надіятися, є справедливими і для запропонованих фільтрів згідно зі структурною та фізичною подібністю цих фільтрів. При цьому необхідно враховувати особливу роль ФНЧ 9 першого порядку зі певним значенням частоти зрізу.

Однак, відомі результати теоретичного дослідження роботи відомих слідкуючих фільтрів не дають достатньої упевненості для запропонованих фільтрів. З тієї причини усі основні вище відмічені результати були перевірені на різних комп'ютерних моделях з використанням особливостей моделювання у VisSim та VisSim Comm. Усі ці результати, у том числі і стійкість роботи слідкуючих фільтрів ССНФ 1 з оберненим керуванням за допомогою ЧДГ 2 та АДГ 10 повністю підтвердились!

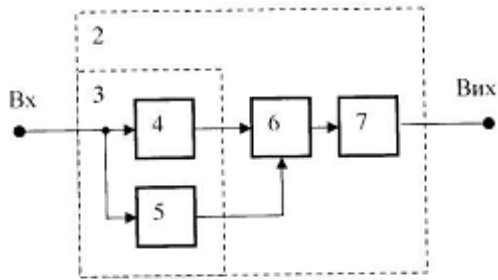
Таким чином, в залежності від умов розв'язання конкретної технічної задачі на шляху використання запропонованих фільтрів, на відміну від відомих аналізаторів спектра паралельного типу, дійсно існує можливість створювати як на аналоговій, так і на цифровій елементній базі значно більш спрощені та високоточні пристрої для обробки та аналізу активного спектра широкого типу сигналів, подібних сигналам ВІ. Використання цих пристроїв у системах функціонування реальних технічних об'єктів дозволить суттєво поліпшувати основні робочі характеристики їх, що саме і визначає практичну корисність упровадження таких систем у науку і техніку.



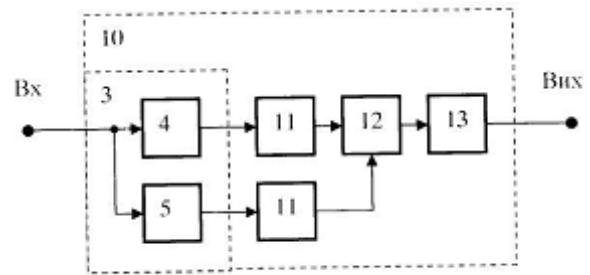
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4