



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55285 (13) U
(51) МПК (2009)
G06G 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ У VisSim Comm СТРУКТУРНО-СИГНАЛЬНИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ ФІЛЬТРІВ

1

2

(21) u201006631

(22) 31.05.2010

(24) 10.12.2010

(46) 10.12.2010, Бюл.№ 23, 2010 р.

(72) ТУНИК ВОЛОДИМИР ФЕДОТОВИЧ

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

(57) 1. Пристрій для моделювання у VisSim Comm структурно-сигнальних нестационарних фільтрів (ССНФ), що містить послідовно з'єднані за сигнальним входом керований за обернено пропорційною функцією обвідної вхідного сигналу диференціатор (КД), вхід якого є входом ССНФ; керований за обернено пропорційною функцією миттєвої частоти того ж сигналу резонансний контур (РК) та керований за обернено пропорційною функцією цієї ж обвідної інтегратор (КІ), вихід якого є виходом ССНФ, який **відрізняється** тим, що у нього введено фазорізницеве коло (ФК), яке містить паралельно з'єднані за входом блоки Lowpass FIR (LF) та Hilbert FIR (HF); а також - формувач комплексного сигналу (ФКС), амплітудний детектор (АД) і частотний детектор (ЧД), вихід якого з'єднано із входом керування РК за частотою, а вхід ЧД з'єднано з виходом ФКС, який також з'єднано зі входом АД, вихід якого з'єднано зі входом керування КД та КІ за обвідною, а один із входів ФКС

з'єднано з виходом LF, а другий з'єднано з виходом HF.

2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що контур РК містить послідовно з'єднані за сигнальним входом перший дільник сигналів (ДС), на вході ділення якого знаходиться блок постійної (БП) X_0 ; перший суматор; перший та другий інтегратори і перший множник сигналів (МС); також - диференціатор; другий МС, на другому вході якого знаходиться БП d ; блок піднесення до квадрата (БЗК) і послідовно з'єднані другий ДС, другий суматор з від'ємним входом і третій МС, другий вхід якого з'єднано з виходом першого інтегратора, а вихід - з від'ємним входом першого суматора, другий від'ємний вхід якого з'єднано з виходом ЧД і об'єднано з другим входом другого ДС, зі входами диференціатора, другого МС та БЗК, вихід якого з'єднано із входом першого МС, а вихід диференціатора з'єднано з другим входом другого ДС і вихід другого МС з'єднано з другим входом другого суматора.

3. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що КД містить послідовно з'єднані МС, ДС та диференціатор; при цьому на другому вході МС знаходиться БП C_0 і другий вхід ДС з'єднано з виходом АД; а КІ містить послідовно з'єднані МС, ДС та інтегратор, при цьому другий вхід МС з'єднано з виходом також АД і на другому вході ДС знаходиться також БП C_0 .

Корисна модель відноситься до техніки комп'ютерного математичного моделювання частотних електричних фільтрів для дослідження і розробки нестационарних фільтрів, адекватних активному спектру сигналів інформації про короткочасне порушення нормального безперервного функціонування реальних фізичних об'єктів.

Широко відома особлива роль електричних частотних фільтрів у різних галузях науки і техніки. Але, якщо теорія та практика використання стаціонарних фільтрів розроблені досить глибоко, то ефективне використання нестационарних фільтрів, із-за складностей математичного аналізу їх, має суттєві труднощі. З цієї причини у теперішній час

мають єдиною залишається можливість комп'ютерного математичного моделювання таких фільтрів.

Відомі особливості комп'ютерного аналогового математичного моделювання різних систем [Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем. Справочное пособие. - М.: «Энергоиздат», 1987]. Але аналогове моделювання за своїми можливостями та ефективністю значно уступає цифровому моделюванню.

Із методів цифрового моделювання відома комп'ютерна система блочного моделювання VisSim є найбільш ефективною для моделювання

UA (19) 55285 (13) U

частотних фільтрів, у тому числі смугових нестационарних фільтрів [Туник В.Ф. Моделирование в VisSim следящих фильтров с самонастройкой. «Известия ВУЗов. Радиоэлектроника», Т. 52, №9, 2009 г.], які, згідно з відомим поняттям активного спектру і за аналогією з відомими загальними аналізаторами спектру, розраховуються на усю активну смугу і мають високу вибірковість, тому вони є фільтрами вище другого порядку [Патент України на корисну модель №33017, Бюл. №11, 2008 р.], що значно ускладнює їх реалізацію. Крім того, ці фільтри, також згідно з поняттям активного спектру, відслідковують лише частоту зміщення цього спектру незалежно від обвідної сигналу.

Відоме аналогове моделювання нестационарних фільтрів другого порядку - одиночного коливального контуру [Виницкий А.С. Модулированные фильтры и следящий приём ЧМ сигналов. - М: «Сов. радио», 1969 г., П. 16.]. Але затухання і, як наслідок, смуга пропускання цих фільтрів хоча і залежать від функції миттєвої частоти вхідного сигналу, але лише з умови так названої адиабатичної інваріантності і це незалежно від функції його обвідної.

Відоме моделювання на аналоговому комп'ютері і структурно-сигнальних нестационарних фільтрів (ССНФ) [Заездный А.М., Зайцев В.А.. Структурно-сигнальные параметрические фильтры и их использование для разделения сигналов. «Радиотехника», т. 26, № 1, 1971 г.]. Ці фільтри представляють собою коливальні контури, які відповідають умові узагальненого резонансу, коли безперервно компенсується затухання контуру зовнішнім діянням, тому він сприймає адекватні складні сигнали 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 обвідної вхідного сигналу.

Але вирази змінних коефіцієнтів диференціальних рівнянь другого порядку відомих ССНФ мають порівняно велику кількість параметрів, відносин їх похідних та добуток, що суттєво ускладнює реалізацію таких ССНФ.

Найбільш близьким аналогом до технічного рішення, що заявляється, є відомий ССНФ спрощеної реалізації [Зайцев В.А.. Структурно-сигнальные нестационарные фильтры как основа для построения следящих систем связи. Сб. Методы помехоустойчивого приёма ЧМ и ФМ сигналов. - М.: «Сов. радио», 1972 г., Рис. 2], який містить послідовно з'єднані керований диференціатор, послідовний резонансний контур (РК) з керованими індуктивним та ємнісним елементами та керований інтегратор, сигнальний вхід якого з'єднано з конденсатором контуру РК. Керування диференціатора і інтегратора виконано за обернено пропорційною функцією обвідною вхідного сигналу, а керування індуктивного та ємнісного елементів за обернено пропорційною функцією зміщення середньої частоти активного спектра цього ж сигналу.

Але, якщо ці фільтри, згідно з поняттям активного спектру, використовувати як окрему ланку для побудови фільтрів високого порядку, то значного спрощення реалізації аналізатора досягнуто не буде і чим вище їх порядок, тим нижче ефект спрощення, а наявність керованого індуктивного елемента потребує використовувати для низько-частотних сигналів важкокерованих котушок індуктивності великих розмірів, що приводить до перекручування результатів автоматичного керування і суперечить принципу мініатюризації вимірювальної апаратури.

Крім того, дослідження цього ССНФ показало, що його амплітудно-частотна характеристика зростає з підвищенням резонансної частоти настройки, що приводить до частотних перешкод вихідного сигналу. При цьому невідомим є принцип виділення обвідної та миттєвої частоти зміщення активного спектра сигналів, а використання типових інерційних амплітудних детекторів і частотних дискримінаторів суттєво впливають на точність одержаних вихідних сигналів при автоматичній перестройки ССНФ.

Технічною задачею, яка вирішується корисною моделлю, є задача одержання значно більш універсальної, ефективної та спрощеної моделі ССНФ саме у VisSim Comm.

Ця задача вирішується пристроєм для моделювання у VisSim Comm структурно-сигнальних нестационарних фільтрів (ССНФ), що містить послідовно з'єднані за сигнальним входом керований за обернено пропорційною функцією обвідної вхідного сигналу диференціатор (КД), вхід якого є входом ССНФ; керований за обернено пропорційною функцією миттєвої частоти того ж сигналу резонансний контур (РК) та керований за обернено пропорційною функцією цієї ж обвідної інтегратор (КІ), вихід якого є виходом ССНФ.

Новим є те, що у цей пристрій введено фазорізничеве коло (ФК), яке містить паралельно з'єднані за входом блоки Lowpass FIR (LF) та Hilbert FIR (HF); а також - формувач комплексного сигналу (ФКС), амплітудний детектор (АД) і частотний детектор (ЧД), вихід якого з'єднано із входом керування РК за частотою, а вхід ЧД з'єднано з виходом ФКС, який також з'єднано зі входом АД, вихід якого з'єднано зі входом керування КД та КІ за обвідною, а один із входів ФКС з'єднано з виходом LF, а другий з'єднано з виходом HF.

Новим є і те, що контур РК містить послідовно з'єднані за сигнальним входом перший дільник сигналів (ДС), на вході ділення якого знаходиться блок постійної (БП) X_0 перший суматор; перший та другий інтегратори і перший множник сигналів (МС); також - диференціатор; другий МС, на другому вході якого знаходиться БП d ; блок піднесення до квадрата (БЗК) і послідовно з'єднані другий ДС, другий суматор з від'ємним входом і третій МС, другий вхід якого з'єднано з виходом першого інтегратора, а вихід - з від'ємним входом першого суматора, другий від'ємний вхід якого з'єднано з виходом ЧД і об'єднано з другим входом другого ДС, зі входами диференціатора, другого МС та БЗК, вихід якого з'єднано зі входом першого МС, а вихід диференціатора з'єднано з другим входом

другого ДС і вихід другого МС з'єднано з другим виходом другого суматора.

Новим є також і те, що КД містить послідовно з'єднані МС, ДС та диференціатор; при цьому на другому вході МС знаходиться БП C_0 і другий вхід ДС з'єднано з виходом АД; а КІ містить послідовно з'єднані МС, ДС та інтегратор, при цьому другий вхід МС з'єднано з виходом також АД і на другому вході ДС знаходиться також БП C_0 .

На кресленні, що додається, наведені структурні електричні схеми запропонованої моделі ССНФ Фіг.1 та керованого резонансного контуру Фіг.2, які містять ССНФ 1, керований диференціатор КД 2, керований резонансний контур РК 3, керований інтегратор КІ 4, фазорізнцицеве коло ФК 5, Lowpass FIR (LF) - фільтр нижніх частот з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) - далі ФНЧ 6, Hilbert FIR (HF) - фільтр Гільберта з КІХ - далі фільтр Гільберта 7, формувач комплексного сигналу ФКС 8, амплітудний детектор АД 9 та частотний детектор ЧД 10, які є блоками лише VisSim Comt; множник сигналів МС 11, дільник сигналів ДС 12, диференціатор 13, інтегратор 14, суматор 15, блок піднесення до квадрата БЗК 16, блок постійної БП C_0 , також БП X_0 і БП d .

Входом запропонованого фільтра є вхід фазорізнцицевого кола ФК 5, тобто є вхід ФНЧ 6 та фільтра Гільберта 7, а виходом - вихід керованого інтегратора КІ 4. Вхід керування КД 2 та КІ 4 з'єднано з виходом АД 9. Контур РК 3 містить послідовно з'єднані перший дільник сигналів ДС 12, перший суматор 15, перший та другий інтегратори 14 і перший множник сигналів МС 11; також - послідовно з'єднані другий ДС 12, другий суматор 15 і третій МС 11, другий вхід якого з'єднано з виходом першого інтегратора 14, а вихід - з від'ємним входом першого суматора 15. Контур РК 3 містить також диференціатор 13, вихід якого з'єднано з другим входом другого ДС 12; другий МС 11, вихід якого з'єднано з другим входом другого суматора 15 і блок піднесення до квадрата БЗК 16, вихід якого з'єднано з другим входом першого МС 11. Вихід частотного детектора ЧД 10 з'єднано з другим від'ємним входом першого суматора 15, з другим входом другого ДС 12, зі входами диференціатора 13, другого МС 11 та БЗК 16.

Працює запропонований пристрій таким чином:

Напряга $u_1 = A(t) \cos[\omega(t)t]$ інформаційного сигналу про короточасне порушення нормального безперервного функціонування реальних фізичних об'єктів надходить на вхід фазорізнцицевого кола ФК 5, тобто - на вхід ФНЧ 6 та фільтра Гільберта 7, на виході кожного з яких одержується напряга сигналів відповідно g та h , кожна з яких надходить на один із входів формувача комплексного сигналу ФКС 8, з виходу якого напряга надходить на вхід амплітудного детектора АД 9 і на вхід частотного детектора ЧД 10. На виході АД 9 одержується на-

пряга обвідної $A \left(\leftarrow \right) = \sqrt{g^2 + h^2}$, а на виході ЧД 10 - напряга миттєвої частоти $\omega \left(\leftarrow \right) = \frac{d}{dt} \arctg \frac{h}{g}$, яка на-

дходить на вхід керування контуру РК 3 Фіг.2, а напряга обвідної $A(t)$ надходить на вхід керування

ДС 12, що входить до блока КД 2, і на вхід керування МС 11, що входить до блока КІ 4 Фіг.1.

На виході блока КД 2 одержується напряга u , яка надходить на сигнальний вхід контуру РК 3 Фіг.2. Для реального диференціатора напряга

$$u = \frac{d}{dt} RC \left(\leftarrow \right), \text{ де згідно з відомим ССНФ спро-}$$

щеної реалізації, $C \left(\leftarrow \right) = \frac{C_0}{A \left(\leftarrow \right)}$, а C_0 - початкове зна-

чення ємності конденсатора блоків КД 2 та КІ 4. На другому вході МС 11, що входить до КД 2 і на вході ДС 12, що входить до КІ 3 знаходиться блок постійної (БИ) C_0 .

У відомому фільтрі ССНФ контур РК 3 Фіг.2 представляє послідовне з'єднання резистивного, індуктивного та ємнісного елементів, вихідна напряга якого одержується зі конденсатора, тобто

$$u_c = \frac{1}{C_k(t)} \int i(t) dt, \text{ де } C_k \left(\leftarrow \right) = \frac{C_0}{\tau \left(\leftarrow \right)}. \text{ У цьому ж фільтрі}$$

індуктивність $L \left(\leftarrow \right) = \frac{L_0}{\tau \left(\leftarrow \right)}$, де L_0 - постійне значення

індуктивності початкової настройки контуру РК 3 Фіг.2, а $\tau = \tau(t) = \int \frac{\omega(t) dt}{\omega_0}$ - приведений час, де ω_0 -

постійна частота початкової настройки цього ж контуру.

Інтегро-диференційне рівняння цього контуру для струму i має вигляд:

$$u = ir + \frac{d}{dt} L(t)i + \frac{1}{C_k(t)} \int idt \quad (1)$$

Після підстановки у (1) вище наведені параметри та нескладних перетворень одержимо наступне рівняння зі змінними коефіцієнтами:

$$\frac{d}{dt} i + \left(d - \frac{\dot{\omega}_t}{\omega(t)} \right) i + \omega(t)^2 \int idt = \frac{\omega(t)}{X_0} u \quad (2)$$

де $d = r/X_0$ - затування контуру, $X_0 = \omega_0 L$ - реактивний опір індуктивного елемента на резонансній частоті ω_0 . Відомо, що для реалізації контуру РК 3 Фіг.2 за рівнянням (2) необхідно мати лише інтегратор, диференціатор, суматор і підсилювач зі змінним коефіцієнтом передачі, які входять до блоків лише VisSim.

Для одержання структурної схеми контуру РК 3 Фіг.2 рівняння (2) необхідно перетворити до ви-

гляду: $\frac{d}{dt} i = \frac{\omega(t)}{X_0} u - \left(d - \frac{\dot{\omega}_t}{\omega(t)} \right) i + \omega(t)^2 \int idt$, з якого

виявляється зрозумілою структурна схема цього контуру і, як наслідок, осмисленість його особливостей праці.

Дослідження запропонованої комп'ютерної моделі підтвердило відсутність вище відмічених недоліків відомого фільтра ССНФ простішої реалізації, що дозволяє одержувати більш універсальні, ефективні та спрощені ССНФ з високою точністю вихідного сигналу після швидкого закінчення перехідного процесу у РК 3 і це практично незалежно від функцій обвідної та миттєвої частоти вхідного сигналу, якщо ця функція неперервна.

Таким чином, в залежності від умов конкретних технічних задач на шляху використання за-

