



УКРАЇНА

(19) UA (11) 33017 (13) U
(51) МПК (2006)
G06G 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ У VISSIM СЛІДКУВАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

1

(21) u200800969

(22) 28.01.2008

(46) 10.06.2008, Бюл.№ 11, 2008 р.

(72) ТУНИК ВОЛОДИМИР ФЕДОТОВИЧ, UA

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

(57) Пристрій для моделювання у VisSim слідувальних фільтрів (СФ), що охоплений оберненим зв'язком через послідовно з'єднані частотний дискримінатор і згладжуючий фільтр нижніх частот (ЗФНЧ), такий частотний електричний фільтр вище другого порядку m і визначеного типу з власним багатопетлевым оберненим зв'язком, передаточна функція якого має n нулів передачі, початкові коефіцієнти a_k у поліномі чисельника, b_k - у поліномі знаменника, і містить послідовно з'єднані вхідний блок віднімання-зрівнювання, вихідний для СФ суматор, вихідний суматор оберненого зв'язку, n блоків установки масштабу a_k і m блоків установки

2

масштабу b_k , при цьому у загальному випадку при $n=m$ вихід кожного з блоків установки масштабу a_k і b_k з'єднано відповідно з кожним із входів вихідного для СФ суматора і вихідного суматора оберненого зв'язку, вихід якого з'єднано з від'ємним входом блока віднімання, який є входом СФ, який відрізняється тим, що у блок-схему моделі уведений один окремий блок множення, $m-1$ ланки каскадного з'єднання блока зведення в m -к ступінь з блоком множення, послідовно з'єднані блок ділення і m інтеграторів, і блок генерації значення b_m , вихід якого з'єднано з нижнім входом блока ділення, верхній вхід якого з'єднано з виходом блока віднімання, а вихід - зі входом блока установки масштабу a_n і з входом першого з m інтеграторів, вихід кожного з яких зв'язано через кожний блок множення з об'єднаним входом кожних з блоків установки масштабів a_k і b_k , а об'єднаний вхід зазначених ланок разом із входом окремого блока множення з'єднані з виходом ЗФНЧ.

Корисна модель відноситься до комп'ютерного математичного моделювання у VisSim частотних електричних фільтрів і може використовуватися для дослідження і розробки слідувальних фільтрів (СФ) вище другого порядку і визначеного типу, адекватних активному спектру нестационарних сигналів інформації.

Відомі моделі аналогового типу СФ лише другого порядку - одиночний коливальний контур з оберненим управлінням його резонансною частотою.

Хоча такий СФ успішно використовують, але аналогове моделювання за своїми можливостями та ефективністю значно уступає цифровому моделюванню, а СФ другого порядку не можуть забезпечити необхідну вибірковість при потрібній частоті смузі пропускання.

Відомий СФ, який містить керований фільтр (КФ), петля зворотного зв'язку якого містить послідовно з'єднані частотний дискримінатор (ЧД), згладжуючий фільтр нижніх частот (ЗФНЧ) і керуючий елемент (КЕ), вихід якого з'єднано зі входом керування КФ, який є фільтром вище другого по-

ряду і будь-якого типу не тільки каскадні, але також і різні багатопетлеві. [Патент України на корисну модель №23124 від 10.05.2007, Бюл. №6].

Ці СФ забезпечують необхідну вибірковість при потрібній частоті смузі пропускання, але для використання такого узагальненого СФ в реальних слідувальних пристроях необхідні досконалі дослідження їх, що у теперішній час краще виконувати у VisSim.

Із відомих методів моделювання у VisSim найбільш універсальним є метод моделювання диференційного рівняння об'єкта, що досліджується, яке для лінійної стаціонарної системи при використанні операторного метода можна звести до передаточної функції (ПФ) і використовувати відомі, так названі, універсальні блок-схеми моделі, які є багатопетлевыми з комплексними нулями передачі і містять блоки лише з бібліотеки VisSim. [Н.В. Клиначёв. Моделирование систем в программе VisSim. 2001. Сайт VisSim в России...vissim.com.ru.].

Хоча VisSim дійсно має великі потенційні можливості, але відмічені універсальні блок-схеми

(13) U

(11) 33017

(19) UA

вказаних систем неможливо використовувати для дослідження узагальнених СФ - нестационарних систем.

Найбільш близьким аналогом до технічного рішення, що заявляється, є відомий СФ, який містить загальний КФ, петля зворотного зв'язку якого містить послідовно з'єднані ЧД, ЗФНЧ і КЕ, вихід якого з'єднано із входом керування цього загального КФ, який є фільтром вище другого порядку різного типу з багатопетлевою реалізацією у загальному випадку з комплексними нулями передачі і містить декілька однакових КФ першого або другого порядку, вхідний і вихідний суматори, певну кількість віток прямої передачі і віток оберненого зв'язку з коефіцієнтом передачі відповідно a_k і $-b_k$. Відомі і зв'язки між цими блоками. [Капустян В.И., Активные RC-фильтры высокого порядка. -М.: Радио и связь, 1985.].

Хоча цей СФ лише уточнює вище відмічений узагальнений СФ, але блок-схему і цього СФ неможливо змодельовати у VisSim, бо у бібліотеці цієї комп'ютерної системи немає блоків керованих фільтрів.

Технічною задачею, яка вирішується винаходом є одержання моделі саме у VisSim блок-схеми СФ вище другого порядку і визначеного типу.

Ця задача вирішується пристроєм для моделювання у VisSim СФ, який уявляє, охоплений оберненим зв'язком через послідовно з'єднані частотний дискримінатор і згладжуючий фільтр нижніх частот (ЗФНЧ), такий частотний електричний фільтр вище другого порядку m і визначеного типу з власним багатопетлевым оберненим зв'язком, передаточна функція якого має n комплексних нулів передачі, початкові коефіцієнти a_k у поліномі чисельнику, b_k у поліномі знаменнику і містить послідовно з'єднані вхідний блок віднімання - зрівнювання, вихідний для СФ суматор, вихідний суматор оберненого зв'язку, n блоків установки масштабу b_k і m блоків установки масштабу b_k , при цьому, у загальному випадку при $n = m$, вихід кожного з блоків установки масштабу a_k і b_k з'єднані відповідно з одним із входів вихідного для СФ суматора і вихідного суматора оберненого зв'язку, вихід якого з'єднаний з від'ємним входом блоку віднімання, який є входом СФ.

Відрізняється цей пристрій тим, що у блок-схему моделі уведений один окремий блок множення, $m - 1$ ланок каскадного з'єднання блоку зведення в $m - k$ степінь з блоком множення, послідовно з'єднані блок ділення і m інтеграторів, блок генерації значення b_m , вихід якого з'єднано з нижнім входом блока ділення, верхній вхід якого з'єднано з виходом блока віднімання, а вихід - зі входом блоку установки масштабу a_n і зі входом першого із m інтеграторів, вихід кожного з яких зв'язано через кожний блок множення з об'єднаним входом кожних з блоків установки масштабу a_k і b_k , а об'єднаний вхід зазначених ланок

разом із входом окремого блоку множення з'єднано з виходом ЗФНЧ.

На кресленні, що додається, наведена структурна електрична схема моделі у VisSim запропонованого СФ.

Вона включає в себе блок-схему фільтра 1, що моделюється, ЧД 2, ЗФНЧ 3, блок віднімання - зрівнювання 4, блок ділення 5 верхнього на нижній сигнали, інтегратор 6, блок установки масштабу b_k 7, блок установки масштабу a_k 8, суматор 9, блок генерації значення b_m 10, блок множення 11 і блок зведення у $m - k$ степінь 12.

Входом блока-схеми 1 є вхід блока віднімання 4, вихід якого з'єднано зі входом блоку ділення 5, нижній вхід якого з'єднано з блоком генерації значення b_m 10. Вихід блока ділення 5 через блок установки масштабу a_n 8 з'єднано з одним із входів вихідного для СФ суматора 9 і зі входом першого із m послідовно з'єднаних інтеграторів 6, вихід якого з'єднано з одним із входів окремого із уведених блоків множення 11, вихід якого через блок установки масштабу a_{n-1} 8 зв'язано з другим із входів вихідного для СФ суматора 9 і через блок установки масштабу b_{m-1} - з одним із входів вихідного суматора 9 оберненого зв'язку, вихід якого з'єднано з від'ємним входом блоку віднімання 4, який є входом СФ. Аналогічно, вихід кожного із інших інтеграторів 6 з'єднано зі входом блоку множення 11, що входять у кожну з відмічених ланок. Вихід кожного з цих блоків множення 11 через блоки установки масштабу a_{n-k} 8 і b_{m-k} 7 зв'язано з кожним входом відповідно вихідного для СФ суматора 9 і вихідного суматора 9 оберненого зв'язку. Другий вхід окремого із блоків множення 11 і об'єднаний вхід усіх блоків зведення в $m - k$ степінь 12 з'єднано з виходом ЗФНЧ 3, вхід якого через ЧД 2 зв'язано з виходом блока 1.

Працює запропонована модель СФ таким чином:

Нехай напруга, що надходить на вхід блока віднімання 4 моделі блок-схеми 1 запропонованого пристрою, являє собою довільний нестационарний процес, наприклад звуковий сигнал, форманти якого еквівалентні активному спектру, чи процес зміни струму в контактному проводі при русі електроїзда і інші процеси в загальному випадку разом з перешкодами. У початковий момент після підключення зазначеної напруги чи з появою звуку після чергової паузи, коли зовнішнє діяння являє собою короткий імпульс, широкосмуговий спектр якого є суцільним і однорідним, на виході СФ ще не встигає сформуватися початковий фронт вихідного процесу. З цієї причини на виході ЧД-2 відсутня управляюча напруга, тому зворотний зв'язок виявляється відключеним і СФ працює в режимі стаціонарного фільтра.

Передаточна функція (ПФ) такого фільтра має вигляд:

$$W(s, \omega) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} \omega s^{n-1} + a_{n-2} \omega^2 s^{n-2} + \dots + a_1 \omega^{n-1} s + a_0 \omega^n}{b_m s^m + b_{m-1} \omega s^{m-1} + b_{m-2} \omega^2 s^{m-2} + \dots + b_1 \omega^{m-1} s + b_0 \omega^m},$$

який дійсний при припущенні, що постійна частота початкової настройки ω_0 дорівнює частоті настройки ω і при $m \geq n$.

Оскільки повторне диференціювання сигналів більше двох - трьох разів усуває перешкоди за межами робочої смуги частот, то у VisSim інтегрування в цифровій формі є значно більш стійкими, чим диференціювання. За цією причиною необхід-

$$W(s, \omega) = \frac{\frac{1}{b_m} (a_n + a_{n-1} \frac{1}{s} + a_{n-2} \omega^2 \frac{1}{s^2} + \dots + a_1 \omega^{n-1} \frac{1}{s^{n-1}} + a_0 \omega^n \frac{1}{s^n})}{1 + \frac{1}{b_m} (b_{m-1} \omega \frac{1}{s} + b_{m-2} \omega^2 \frac{1}{s^2} + \dots + b_1 \omega^{m-1} \frac{1}{s^{m-1}} + b_0 \omega^m \frac{1}{s^m})}$$

Цей вираз дозволяє обґрунтувати вибір і назву блоків, що входять у відомі, вище відмічені, універсальні блок-схеми моделі стаціонарного СФ з використанням ПФ.

Режим стаціонарного фільтра буде продовжуватися доти, поки на виході СФ не сформується визначена частина початкового фронту перехідного процесу. У залежності від смуги пропускання СФ, він виділить із вище зазначеного спектра лише відповідну вузькосмугову частину його, яка визначає відповідну форму перехідного процесу. Під час формування на виході СФ початкового фронту цього процесу, у визначений момент, в залежності від крутості цього фронту і величини порога спрацювання ЧД-2, на його виході з'явиться визначеної величини напруга. Ця напруга надходить на вхід ЗФНЧ 3, згладжена управляюча напруга з виходу якого надходить на другий вхід окремого із блоків множення 11 і на об'єднаний вхід усіх блоків зведення в m -к степінь 12. Ця управляюча напруга перетворюється у середині СФ у частоту управління ω_y . З цього моменту починається процес захоплення - самонастройки СФ. Характер цього процесу залежить тільки від функції миттєвої частоти, яка виходить у результаті взаємодії (биття) вільної і усталеної складових перехідного процесу на виході тепер вже нестаціонарного СФ. Ця миттєва частота несе повну інформацію не тільки про функцію миттєвої частоти вхідного сигналу, але і про особливості СФ у цілому. Саме функція цієї миттєвої частоти визначає закон самонастройки, який по зворотному зв'язку трансформує характеристики СФ так, що він поступово виявляється настроєний на необхідну частоту.

Таким чином, частоту настройки ω тепер можна представити як $\omega = \omega_0 \pm \omega_y$. Цей вираз вказує на звичайне зміщення потрібної частоти настройки СФ типу смуго-пропускний фільтр на величину $\pm \omega_y$, не змінюючи при цьому початкової частотної смуги його. Це означає, що такий СФ є адекватним активному спектру нестаціонарних сигналів, який, як відомо, також зміщується за частотою, але активна смуга спектральних частот залишається при цьому незмінною.

Оскільки ЧД-2 здатний змінювати знак в залежності від співвідношення частоти ω , вхідного для СФ сигналу і частоти ω_0 , то частоту настройки ω

но диференційні рівняння перетворювати у ПФ так, щоб оператор Лапласа входив лише з відмінним показником степеню. Для цього необхідно чисельник і знаменник у виразу ПФ розділити на оператор Лапласа, показник якого має вищу степінь. Після цього, розділив чисельник і знаменник на постійний коефіцієнт b_m , одержимо вираз для ПФ, у вигляді:

можна представити як $\omega = \omega_0 + \omega_y$. Коли ця частота збіжиться з частотою ω_0 слідування СФ повинне призупинитися. Щоб це відбулося, значення перехідної для ЧД-2 частоти ω_0 повинно досить точно дорівнювати значенню частоти ω_0 . Оскільки у системі координат ЧД-2 $\omega_0 = 0$, то також і $\omega_0 = 0$, значить $\omega = \omega_y$. Тоді, уявно підставивши цю частоту в одержаний вираз ПФ, стає зрозумілим як потрібно модернізувати блок-схему відомої моделі стаціонарного фільтра щоб одержати блок-схему моделі СФ.

Після того, як практично закінчиться процес самонастройки СФ, коли на його виході почнуть з'являтися перші коливання, на виході ЧД-2 з'явиться напруга, пропорційна частоті цих коливань. Так починається усталений режим утримання автоматично настроєного СФ на відзначену частоту. Оскільки СФ є лінійним фільтром і в ньому не міститься додаткових джерел коливання іншої частоти, то сигнали на вході і виході СФ не можуть відрізнитись друг від друга по частоті. Отже СФ виявляється досить точно настроєним на частоту ω , саме вхідного сигналу, що і потрібно.

Якщо частота ω_0 повільно змінюється по будь-якому заздалегідь невідомого закону, то, відповідно до розглянутого принципу самонастройки, СФ буде надійно відслідковувати зміни цієї частоти на усьому її діапазоні за умови, що верхня гранична частота спектру вхідного сигналу не перевищить так названу критичну частоту, вище якої СФ, як відомо, збуджується.

Саме дослідженню та розробки ефективних і надійних реальних СФ повинна стріяти запропонована модель його блок-схеми, бо безліч технічних задач зв'язано з проектуванням, конструюванням, регулюванням та настройкою цих фільтрів у процеси розробки реальних пристроїв. Комп'ютерне математичне моделювання у VisSim дозволяє продивляти велику кількість можливих варіантів СФ, скорочуючи час визначення оптимального з них для розв'язання конкретної технічної задачі, в тому числі задачі апаратурного слідувального аналізу активного спектра нестаціонарних сигналів.

Випробування у VisSim запропонованої моделі СФ різного типу і порядку показало дієздатність їх досить точно удержувати СФ частотою вхідного гармонійного генератора і надійно слідувати за

частотою свип-генератора у достатньо широкому частотному діапазоні.

Таким чином, можна стверджувати, що запропонована модель у VisSim блок-схеми СФ вище другого порядку, адекватних активному спектру

нестационарних процесів ϵ , безумовно, корисною моделлю при використанні її для дослідження і розробки реальних пристроїв, у які входять ці фільтри.

