

разработанного метода удалось почти в три раза уменьшить объем информации на выходе изображающего спектрометра.

Выводы. Показано, что уменьшение избыточности информации в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли можно обеспечить путем первичной обработки изображений с использованием принципов динамической спектральной фильтрации, которая обеспечивает выделения в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов. Разработана схема оптико-электронной системы, обеспечивающая уменьшение информационной избыточности, а также произведено математическое моделирование, которое обеспечивает формирование в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов.

1. Rapid C4I High Performance Computing for Hyperspectral Imaging Exploitation *Ramseyer, G.O., Spetka, S.E., Linderman, R.W., Romano, B.C.*, Electr. ресурс: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.6961&rep=rep1&type=pdf>.
2. *Попов М.А., Станкевич С.А.* Методы оптимизации числа спектральных каналов в задачах обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2006. – Т.3, №1. – С. 106-112.
3. *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Многоспектральные оптико-электронные системы // Спец. Техника. 2002. № 4. С.56-62.
4. *Смирнов Л.Е.* Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2005. – 348 с.
5. *Здор С.Е., Широков В.Б.* Оптический поиск и распознавание. – М: изд-во «Наука», 1973. – 240с.

Поступила 17.06.2010 г.

УДК 621.396

К.С. Козелкова, к.т.н., с.н.с. Центральный науково-дослідний інститут навігації і управління

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В РАДІОТЕХНІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

В статье представлен аналитический обзор традиционных методов исследования нелинейных процессов в радиотехническом комплексе наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами

A state-of-the-art review of traditional methods of research of nonlinear processes is in the radio engineering complex of the surface automated complex of management space vehicles

Введення. Традиційні теоретичні методи дослідження нелінійних процесів в радіопристрої діляться на чисельні і аналітичні [1, 2].

Чисельні методи обмежено застосовні для конструктивного дослідження загальних закономірностей впливу нелінійності АХ радіопристроїв на перешкодостійкість АПУ РТК. Це пояснюється високою чутливістю кінцевих результатів до варіації вихідних даних [2], що призводить до необхідності застосування досить трудомістких методів регуляризації задачі [1].

Основна частина. Для НВЧ і КВЧ АПУ РТК характерна частотно-селективна залежність АХ. Тому квазістатичних методи непридатні для дослідження в цій роботі, тому що не розглядають нелінійні динамічні системи [1].

Метод фазової площини застосовується для аналізу порівняно простих радіопристроїв. Причому він дозволяє отримувати, в основному, лише якісні результати [1], що не дозволяє застосовувати його для дослідження складних АПУ, на вхід яких надходять стохастичні сигнали і перешкоди [1].

Лінеаризація поблизу робочої точки справедлива лише в дуже вузькій малосигнальній області, що не дозволяє враховувати нелінійні динамічні процеси в НВЧ і КВЧ АПУ [1].

Використання методу гармонійної лінеаризації можливо тільки у випадках, коли в аналізованому радіопристрої міститься не більше одного нелінійного елемента зі стаціонарними в часі амплітудними характеристиками при періодичних вхідних і вихідних сигналах. При цьому основні частоти вхідних і вихідних сигналів повинні збігатися [2]. Тому вказаний метод не застосовний для дослідження складних динамічних АПУ РТК, що містять значну кількість перебудовуються в часі нелінійних інерційних елементів [2].

Статистична лінеаризація застосовується при введенні суворих припущень і вимагає вельми трудомістких викладок. При цьому обсяг обчислень наростає з зростанням складності радіопристрої, що обмежує використання даного методу для дослідження НВЧ і КВЧ РТК.

Метод комбінованих описують функцій, зберігаючи недоліки гармонійної і статистичної лінеаризації, через складність обчислень практично не застосовується [1].

Метод малого параметра має низьку точність, тому що не враховує нелінійні властивості радіопристроїв тому, що в ньому використовується зазвичай лише перше наближення до вирішення породжує системи. Для радіопристроїв, порядок яких вище другого, методи малого параметра стають громіздкими і не наочними, що не дозволяє їх використовувати для дослідження НВЧ і КВЧ АПУ, що складаються з багатокаскадну з'єднань нелінійних радіопристроїв високого порядку [1].

Можливості методу перетворень Тейлора застосовуються для аналізу нелінійних радіопристроїв тільки при детермінованих вхідних впливах [3], що не дозволяє його використовувати для дослідження нелінійних перетворень стохастичних радіосигналів і перешкод в АПУ [3].

Використання методу Марковських процесів, заснованого на застосуванні рівнянь Колмогорова - Фоккера - Планка, обмежена з-за великого обсягу складних викладок. Тому метод Марковських процесів в недостатньому ступені застосуємо для дослідження нелінійних процесів у складних АПУ [1].

Від зазначених недоліків у значній мірі вільний функціональний метод, який є одним з перспективних напрямків у теорії нелінійних РТК і заснований на представленні вихідного сигналу нелінійного радіопристрої у вигляді функціонального ряду Вольтера від вхідного впливу [4]

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} h'_n g(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) d\tau_i \quad (1)$$

або в багатовимірній комплексній площині [4]

$$\begin{aligned} Y(S_1, S_2, \dots) &= \sum_{n=1}^{\infty} H_n(S_1, \dots, S_n) \prod_{i=1}^n X(S_i) |_{S_i = j2\pi f_i}, \quad \forall i \in [1, 2, \dots] = \\ &= Y(f_1, f_2, \dots) = \sum_{n=1}^{\infty} H_n(f_1, \dots, f_n) \prod_{i=1}^n X(f_i), \quad (2) \end{aligned}$$

де $x(\cdot), y(\cdot), X(\cdot), Y(\cdot)$ - відповідно, вхідний і вихідний сигнали і їх перетворення Лапласа (Фур'є);

$h'_n g(\cdot), H_n(\cdot)$ - ядро Вольтера n -го порядку під тимчасовою і в багатовимірній комплексній площині, відповідно (ядро Вольтерра радіопристрої в багатовимірній комплексній площині зазвичай називають його нелінійної передатною функцією НПФ n -го порядку [4]);

$S_i(f_i)$ - аргумент багатовимірного перетворення Лапласа (Фур'є);

$j = \sqrt{-1}$ - уявна одиниця;

\forall - квантор спільності.

Перевага використання функціонального методу для дослідження НВЧ і КВЧ РТК обумовлена такими принципово важливими його перевагами, як одночасним урахуванням нелінійних та динамічних властивостей РТК, а також можливістю аналізу як амплітудних, так і фазових нелінійних спотворень, включаючи АФК [4, 5]; універсальністю даного методу щодо різних елементів АПУ і способів їх включення, діапазонів частот і т.д. [5]; інваріантністю щодо виду вхідних впливів (тобто можливістю вирішення завдання як для детермінованих, так і для випадкових вхідних сигналів) [4]; явними співвідношеннями між вхідними і вихідними сигналами АПУ [6]; простий зв'язком застосовуються на практиці критеріїв оцінки нелінійних властивостей АПУ з характеристиками їх НПФ [4, 6]; можливістю

ідентифікації [1]; інтерпретації лінійних систем як підкласу нелінійних, що дозволяє використовувати при дослідженні нелінійних процесів в РТС добре розроблені тимчасові і спектральні методи [1]; можливістю застосовувати даний метод, як в аналітичному, так і в обчислювальному плані [7].

Таким чином, функціональний метод є одним з найбільш зручних теоретичних методів для дослідження нелінійних процесів у перспективних АПУ РТК [7].

Однак у відомого математичного апарату обмежені можливості для розробки суворо обґрунтованих вимог до характеристик перспективних РТК. Це пояснюється труднощами з допомогою традиційних наукових положень оцінити вплив нелінійних динамічних процесів на завадостійкість і пропускну здатність НВЧ і КВЧ АПУ [7].

Висновки. На підставі вищевикладеного можна зробити висновок про недостатню ефективність відомого науково-методичного апарату для конструктивного аналізу нелінійних динамічних процесів в НВЧ і КВЧ АПУ РТК. Звідси випливає необхідність подальшого розвитку теоретичних основ функціонального методу в напрямі визначення ядер Вольтерра угломестних багатокаскадну АПУ для дослідження перспективних РТК НАКУ КА.

1. Статистические методы в проектировании нелинейных систем авто-матического управления / Под ред. Б.Г. Доступова. - М.: Машиностроение, 1970. - 407с.
2. Van Trees H.L. Comparison of Optimum Angle Modulation Systems and Rate-Distortion Bounds // Trans. IEEE, - 1965. - Vol.12, December, №12. - P.2123-2124.
3. Пухов Г.Е. Преобразования Тейлора и их применение в электротехнике и электронике. - К.: Наукова думка, 1978. - 180с.
4. Пупков К.А., Капалин В.И., Ющенко А.С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. - М.: Наука, 1978. - 448с.
5. Halme A., Orava J., Blomberg H. Polynomial operators in nonlinear Systems Theory // International Journal Systems Scig. - 1971. - V.2, №1. - P.21-26.
6. Богданович Б.М. Состояние и использование теории и методов расчета цепей класса Вольтерра-Винера для проектирования приемно-усилительных трактов по критериям нелинейности: Материалы симпозиума "Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах" / Радио-технический институт. - Минск: Изд. РТИ, 1977. - 100с.
7. Иванов М.А., Козелков С.В. Обоснование использования адаптивных методов теории высокоскоростной передачи специальной информации по радиоканалам миллиметрового диапазона длин волн. - М., 1989. - 12с. - Деп. в ЦИВТИ МО СССР, вып. 10. №4250, В1386.
8. Козелков С.В. Наземный радиотехнический комплекс управления и идентификации космических аппаратов двойного назначения среднего и дальнего космоса: Дис. докт. тех. наук: 05.17.21. - Харьков, 2000. - 457с.

Поступила 16.08.2010р.