

УДК 681.32

Е.С. Козелкова

ГП "Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления", Киев

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАДИОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

Сделан вывод о недостаточной эффективности известного научно-методического аппарата для конструктивного анализа нелинейных динамических процессов в сверхвысокочастотном (СВЧ) и крайневыхочастотном (КВЧ) диапазонах радиосигналов антенно-приемного устройства (АПУ) РТК. Обоснована необходимость дальнейшего развития теоретических основ функционального метода в направлении определения ядер Вольтерра угломестных многокаскадных АПУ для исследования перспективных радиотехнических комплексов (РТК) наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) космическими аппаратами (КА).

Ключевые слова: антенно-приемное устройство, крайневыхочастотный диапазон радиосигналов, наземный автоматизированный комплекс управления, радиотехнический комплекс, сверхвысокочастотный диапазон радиосигналов.

Введение

Традиционные теоретические методы исследования нелинейных процессов в радиоустройствах делятся на численные и аналитические [1, 2]. Классификация наиболее распространенных в настоящее время методов представлена на рис. 1 [1].

Численные методы ограничено применимы для конструктивного исследования общих закономерностей влияния нелинейности АХ радиоустройств на помехоустойчивость АПУ РТК. Это объясняется

высокой чувствительностью конечных результатов к вариации исходных данных [2], что приводит к необходимости применения весьма трудоемких методов регуляризации задачи [1].

Основная часть

Для СВЧ и КВЧ АПУ РТК характерна частотно-селективная зависимость АХ. Поэтому квазистатические методы непригодны для исследования в настоящей работе, так как не рассматривают нелинейные динамические системы [1].

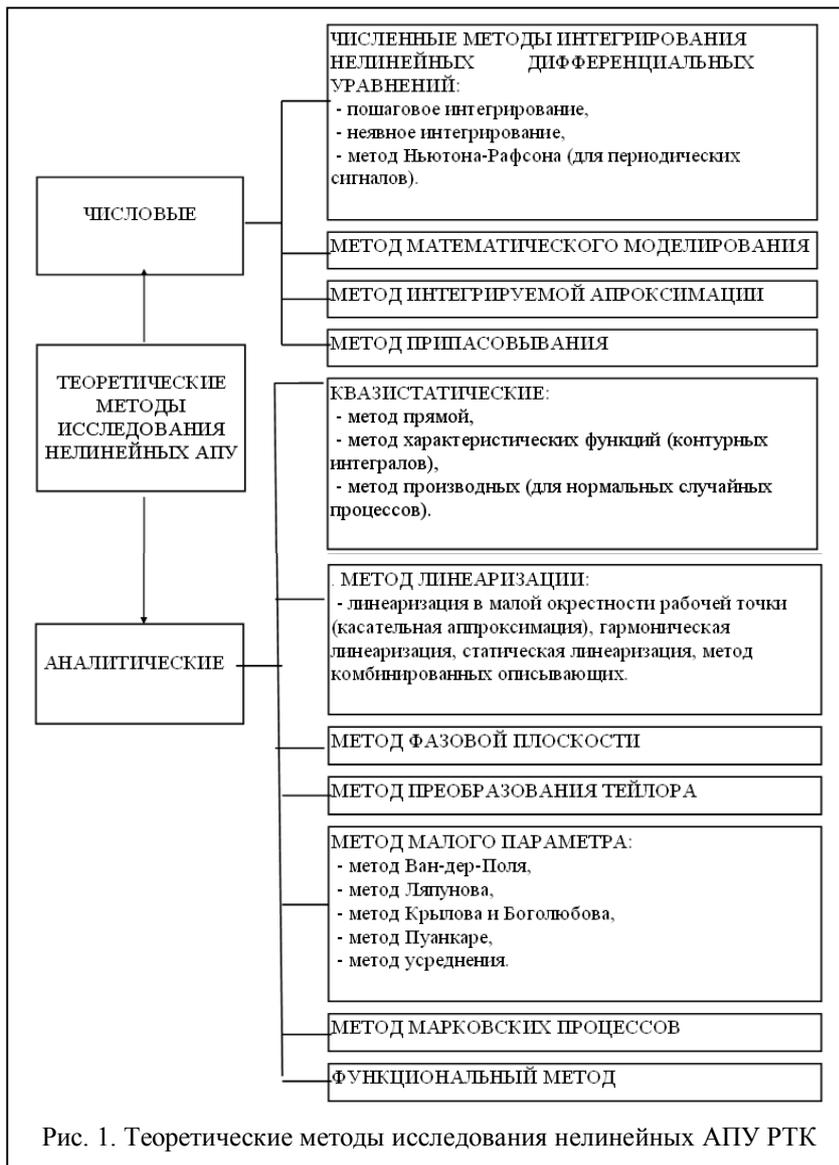


Рис. 1. Теоретические методы исследования нелинейных АПУ РТК

Метод фазовой плоскости применяется для анализа сравнительно простых радиоустройств. Причем он позволяет получать, в основном, лишь качественные результаты [1], что не позволяет применять его для исследования сложных АПУ, на вход которых поступают стохастические сигналы и помехи [1].

Линеаризация вблизи рабочей точки справедлива лишь в весьма узкой малосигнальной области, что не позволяет учитывать нелинейные динамические процессы в СВЧ и КВЧ АПУ [1].

Использование метода гармонической линеаризации возможно только в случаях, когда в анализируемом радиоустройстве содержится не более одного нелинейного элемента со стационарными во времени амплитудными характеристиками при периодических входных и выходных сигналах. При этом основные частоты входных и выходных сигналов должны совпадать [2]. Поэтому указанный метод не применим для исследования сложных динамических АПУ РТК, содержащих значительное количество перестраиваемых во времени нелинейных

инерционных элементов [2].

Статистическая линеаризация применяется при введении строгих допущений и требует весьма трудоемких выкладок. При этом объем вычислений нарастает с ростом сложности радиоустройства, что ограничивает использование данного метода для исследования СВЧ и КВЧ РТК.

Метод комбинированных описывающих функций, сохраняя недостатки гармонической и статистической линеаризации, из-за сложности вычислений практически не применяется [1].

Метод малого параметра имеет низкую точность, т.к. не учитывает нелинейные свойства радиоустройств потому, что в нем используется обычно только первое приближение к решению порождающей системы. Для радиоустройств, порядок которых выше второго, методы малого параметра становятся громоздкими и не наглядными, что не позволяет их применять для исследования СВЧ и КВЧ АПУ, состоящих из многокаскадных соединений нелинейных радиоустройств высокого порядка [1].

Возможности метода преобразований Тейлора применя-

ются для анализа нелинейных радиоустройств только при детерминированных входных воздействиях [3], что не позволяет его использовать для исследования нелинейных преобразований стохастических радиосигналов и помех в АПУ [3].

Использование метода Марковских процессов, основанного на применении уравнений Колмогорова – Фоккера – Планка, ограничено из-за большого объема сложных выкладок. Поэтому метод Марковских процессов в недостаточной степени применим для исследования нелинейных процессов в сложных АПУ [1].

От указанных недостатков в значительной степени свободен функциональный метод, который является одним из перспективных направлений в теории нелинейных РТК и основан на представлении выходного сигнала нелинейного радиоустройства в виде функционального ряда Вольтерра от входного воздействия [4]:

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

или в многомерной комплексной плоскости [4]

$$Y(S_1, S_2, \dots) = \sum_{n=1}^{\infty} H_n(S_1, \dots, S_n) \times \prod_{i=1}^n X(S_i) |_{S_i=j2\pi f_i} =$$

$$\times Y(f_1, f_2, \dots) = \sum_{n=1}^{\infty} H_n(f_1, \dots, f_n) \prod_{i=1}^n X(f_i) \quad \forall i \in [1, 2, \dots],$$

где $x(\cdot), y(\cdot), X(\cdot), Y(\cdot)$ – соответственно входной и выходной сигналы и их преобразования Лапласа (Фурье); $h'_n g(\cdot), H_n(\cdot)$ – ядро Вольтерра n -го порядка во временной и в многомерной комплексной плоскости, соответственно (ядро Вольтерра радиоустройства в многомерной комплексной плоскости обычно называют его нелинейной передаточной функцией НПФ n -го порядка [4]); $S_i(f_i)$ – аргумент многомерного преобразования Лапласа (Фурье); $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; \forall – квантор общности.

Предпочтительность использования функционального метода для исследования СВЧ и КВЧ РТК обусловлена такими принципиально важными его достоинствами, как одновременным учетом нелинейных и динамических свойств РТК, а также возможностью анализа как амплитудных, так и фазовых нелинейных искажений, включая АФК [4, 5]; универсальностью данного метода относительно различных элементов АПУ и способов их включения, диапазонов частот и т.д. [5]; инвариантностью относительно вида входных воздействий (т.е. возможностью решения задачи как для детерминированных, так и для случайных входных сигналов) [4]; явными соотношениями между входными и выходными сигналами АПУ [6]; простой связью применяемых на практике критериев оценки нелинейных свойств АПУ с характеристиками их НПФ [4, 6]; возможностью идентификации [1]; интерпретируемостью линейных систем как подкласса нелинейных, что позволяет использовать при исследовании нелинейных процессов в РТК хорошо разработанные временные и спектральные методы [1]; возможностью применять данный метод, как в аналитическом, так и в вычислительном планах [7].

Таким образом, функциональный метод является одним из наиболее удобных теоретических методов для исследования нелинейных процессов в перспективных АПУ РТК [7].

Однако у известного математического аппарата ограничены возможности для разработки строго обоснованных требований к характеристикам перспективных РТК. Это объясняется трудностью с

помощью традиционных научных положений оценить влияние нелинейных динамических процессов на помехоустойчивость и пропускную способность СВЧ и КВЧ АПУ [7].

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о недостаточной эффективности известного научно-методического аппарата для конструктивного анализа нелинейных динамических процессов в СВЧ и КВЧ АПУ РТК. Отсюда следует необходимость дальнейшего развития теоретических основ функционального метода в направлении определения ядер Вольтерра угломестных многокаскадных АПУ для исследования перспективных РТК НАКУ КА.

Список литературы

1. *Статистические методы в проектировании нелинейных систем автоматического управления* / Под ред. Б.Г. Доступова. – М.: Машиностроение, 1970. – 407 с.
2. *Van Trees H.L. Comparison of Optimum Angle Modulation Systems and Rate-Distortion Bounds* / H.L. Van Trees // *Trans.IEEE*. – 1965. – Vol. 12, № 12. – P.2123-2124.
3. *Пухов Г.Е. Преобразования Тейлора и их применение в электро-технике и электронике* / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1978. – 180 с.
4. *Пупков К.А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем* / К.А. Пупков, В.И. Капалин, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1978. – 448 с.
5. *Halme A. Polynomial operators in nonlinear Systems Theory* / A.Halme, J. Orava, H. Blomberg // *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* / Б.М. Богданович // *Материалы симпозиума “Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах”*: Радиотехнический институт. – Минск: Изд. РТИ, 1977. – 100 с.
7. *Иванов М.А. Обоснование использования адаптивных методов теории высокоскоростной передачи специальной информации по радиоканалам миллиметрового диапазона длин волн* / М.А. Иванов, С.В. Козелков. – М., 1989. – 12 с. – 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. ... д-ра техн. наук: 05.17.21 / С.В. Козелков. – X., 2000. – 457 с.*

Поступила в редколлегию 30.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев.

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

К.С. Козелкова

Зроблений вивід про недостатню ефективність відомого науково-методичного апарату для конструктивного аналізу нелінійних динамічних процесів в надвисокочастотному і крайвисокочастотному діапазоні радіосигналів антенно-приймального пристрою РТК. Обґрунтована необхідність подальшого розвитку теоретичних основ функціонального

методу у напрямі визначення ядер Вольтерра угломістних багатокаскадних АПУ для дослідження перспективних радіотехнічних комплексах наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами.

Ключові слова: антенно-приймальний пристрій, крайвисокоочастотний діапазон радіосигналів, наземний автоматизований комплекс управління, радіотехнічний комплекс, надвисокоочастотний діапазон радіосигналів.

**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**

E.S. Kozelkova

A conclusion is done about insufficient efficiency of the known scientifically-methodical vehicle for the structural analysis of nonlinear dynamic processes in super-high-frequency and wild-high-frequency ranges of radio signals of aerial-receiving device (ARD) of radio engineering complex. The necessity of further development of theoretical bases of functional method is grounded in the direction of determination of kernels of Vol'terra elevation multistage APU for research perspective radio engineerings complexes of the surface automated complex of management space vehicle.

Keywords: aerial-receiving device, wild-high-frequency range of radio signals, surface automated complex of management, radio engineering complex, super-high-frequency range of radio signals.