

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д.П. Пашков, А.Н. Богдановский, А.П. Рачинский
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

В данной статье проведен анализ и представлена классификация математических методов исследования нелинейных режимов работы в радиотехнических системах (РТС).

На этапах проектирования и эксплуатации РТС важным требованием является решение задачи уменьшения нелинейных инерционных процессов, возникающих в радиоприемных устройствах в результате флуктуации принимаемых радиосигналов [1].

Для исследования нелинейных систем в отличие от линейных нельзя указать единый математический аппарат “пересчета вероятностных характеристик со входа на выход системы” [2, 3]. Выбор того или иного метода анализа конкретной РТС часто основан на определенных физических сведениях как о характере входных воздействий, так и о поведении системы. При этом для описания поведения таких радиосистем используют нелинейные дифференциальные уравнения (НДУ) [2]. Однако, точное интегрирование такого уравнения удается произвести сравнительно редко, поскольку к настоящему времени еще не разработаны общие аналитические методы решения НДУ [2, 3]. Поэтому в настоящее время появилось значительное количество математических методов исследования нелинейных инерционных процессов, которые позволяют частично решить поставленную задачу.

Рассмотрим основные методы анализа нелинейных РТС. Традиционные теоретические методы исследования нелинейных процессов в радиоустройствах делятся на численные и аналитические [3]. Классификация наиболее распространенных в настоящее время методов представлена на рис.1. Численные методы применяются для конструктивного исследования общих закономерностей влияния нелинейности амплитудных характеристик (АХ) радиоустройств (РУ) на качество функционирования РТС. Это объясняется высокой чувствительностью конечных результатов к вариации исходных данных, что приводит к необходимости применения весьма трудоемких методов регуляризации задачи [3].

Для сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайневых высокочастотных (КВЧ) РТС характерна частотно - селективная зависимость АХ. Поэтому квази-

статические методы непригодны для исследования, так как не рассматривают нелинейные динамические системы.

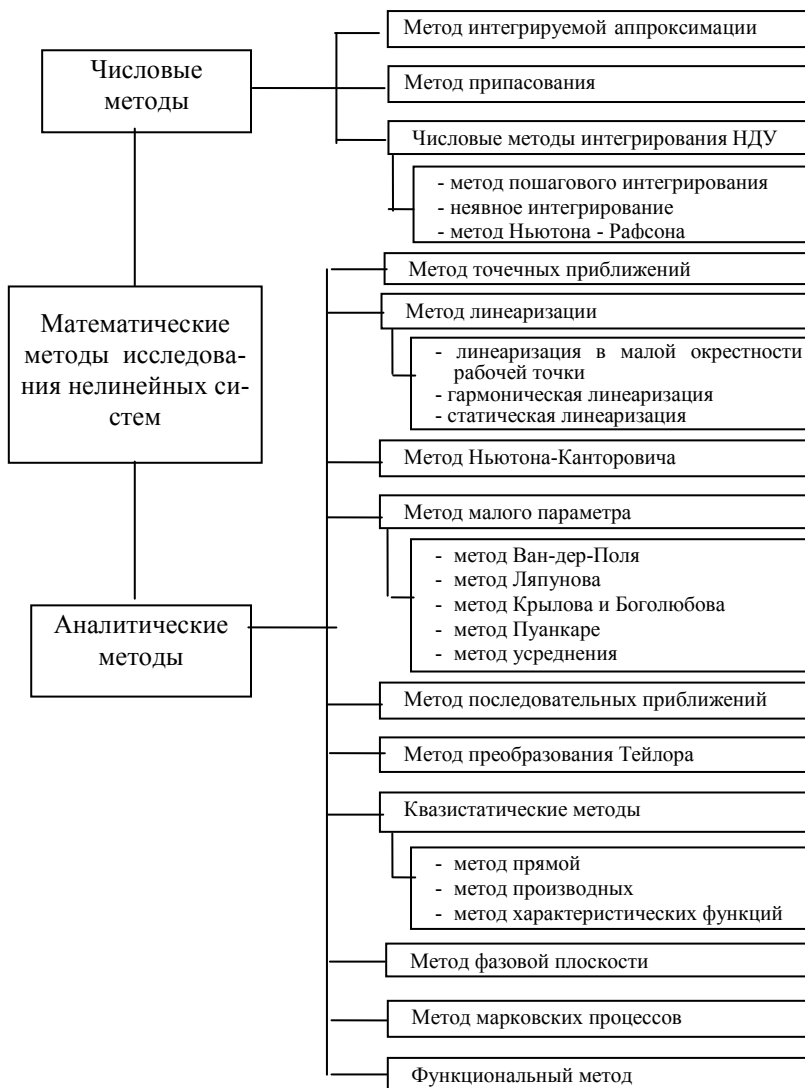


Рис.1. Классификация математических методов исследования нелинейных РТС

Метод фазовой плоскости применяется для анализа сравнительно простых радиоустройств. Причем он позволяет получать лишь каче-

ственные результаты [3], что не позволяет применять его для исследования сложных РУ, на вход которых поступают стохастические сигналы и помехи [3].

Линеаризация вблизи рабочей точки справедлива лишь в весьма узкой малосигнальной области [3], что не позволяет учитывать нелинейные динамические процессы в СВЧ и КВЧ РУ.

Исследование 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. Поэтому указанный метод не применим для исследования сложных динамических процессов РУ РТС, содержащих значительное количество перестраиваемых во времени нелинейных инерционных элементов.

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 радиотехнической системы [2].

Метод комбинированных описывающих функций, сохраняя недостатки гармонической и статистической линеаризации, из-за сложных вычислений практически не применяется [2, 3].

Метод малого параметра имеет низкую точность, так как не учитывает нелинейные свойства радиоустройств. Для радиоустройств, порядок которых выше второго, методы малого параметра становятся громоздкими и теряют наглядность, что не позволяет их применять для исследования СВЧ и КВЧ РУ, состоящих из многокаскадных соединений нелинейных радиоустройств высокого порядка [2, 3].

Возможности метода преобразования Тейлора применяются для анализа нелинейных радиоустройств только при детерминированных входных воздействиях, что не позволяет его использовать для исследования нелинейных преобразований стохастических радиосигналов и помех в РУ.

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 РУ.

От указанных недостатков в значительной степени свободен функциональный метод [4], который является одним из перспективных направлений в теории нелинейных РТС [4, 5]. Он основан на представлении выходного сигнала нелинейного радиоустройства в виде функционального ряда Вольтерра от входного воздействия [4, 6].

Предпочтительность использования функционального метода для исследования СВЧ и КВЧ РТС обусловлена такими принципиально важными его достоинствами, как:

- * одновременным учетом нелинейных и динамических свойств РУ [4], а также возможностью анализа как амплитудных, так и фазовых нелинейных искажений [6];

- * универсальностью применения данного метода для различных элементов РУ и способов их включения, диапазонов частот и т.д. [4];

- * инвариантностью относительно вида входных воздействий (т.е. возможностью решения задачи как для детерминированных, так и для случайных входных сигналов) [5];

- * явными соотношениями между входными и выходными сигналами РУ [4, 5, 6];

- * простотой применяемых на практике критериев оценки нелинейных свойств РУ [4];

- * возможностью идентификации [4];

- * интерпретируемостью линейных систем как подкласса нелинейных, что позволяет использовать при исследовании нелинейных процессов в РТС хорошо разработанные временные и спектральные методы [4, 5, 6].

Таким образом, функциональный метод является одним из наиболее удобных теоретических методов для исследования нелинейных процессов в перспективных РУ РТС [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
2. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
4. Пупков К.А., Капалин В.И., Ющенко А.С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. – М.: Машиностроение, 1976. – 448 с.
5. Пупков К.А. Статистический расчет нелинейных систем автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1965. – 403 с.
6. Пупков К.А., Шмыкова Н.А. Анализ и расчет нелинейных систем с помощью функциональных степенных рядов. – М.: Машиностроение, 1982. – 150 с.

Поступила в редколлегию 5.12.2000