Е.А. Жиганова
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23
e-mail: zhiganova.ei@gmail.com

Особенности анализа нелинейных аналоговых динамических систем

Нелинейные динамические системы, такие как, преобразователи частоты и автогенераторы, усилители мощности сигнала, умножители и делители частоты, и многие другие радиотехнические устройства, в своем составе содержат нелинейные полупроводниковые элементы и инерционные электрические цепи. С точки зрения математического моделирования анализ нелинейных динамических систем сводится к поиску решений системы из n нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = \Psi_1\,(x(t), y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{dn}{dt} = \Psi_n\,(x(t), y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n). \end{cases} ; \qquad (1)$$

где $x(t)$ - входной сигнал,y_1, y_2, y_3 - мгновенные значения сигналов в различных участках схемы.

В зависимости от конструктивных особенностей устройства, полноты исходных данных при анализе, заданных характеристик, описывающих работу внутренних структурных цепей устройства возможно использовать аналитические и числовые методы решения системы уравнений (1).

В работе были оценены преимущества и неудобства применения аналитических методов анализа, а именно, асимптотический метод используют при порядке системы уравнений не превышающей второго и малой скорости изменения амплитуд входных сигналов. При этом решением будут периодические функции, зависящие от амплитуды и фазы сигнала.

Метод линеаризации, основанный на теореме о дифференциальных неравенствах, заключается в поиске «вилки» - двух линейных функций, ограничивающих изменение выходного сигнала устройства. Существенное преимущество этого метода состоит в быстрой оценке по максимуму и минимуму приближенного решения при замене нелинейной системы линеаризированной. Однако не всегда удается отыскать конечный момент времени, при котором найденная «вилка» будет справедлива.

Метод функционального ряда Вольтерра позволяет установить связь выходного сигнала с входным путем нахождения суммы откликов системы на бесконечное число входных импульсных воздействий. Но применение этого метода возможно только в случае физической реализуемости, однозначности и устойчивости нелинейной системы.

В режиме гармонических колебаний или при колебательном характере переходного процесса используют метод гармонической линеаризации, при этом решение нелинейного дифференциального уравнения будет являться гармоническая функция с медленно меняющейся амплитудой. Процесс считается квазилинейным. Ограничением данного метода является условие обязательной фильтрации всех гармоник выходного сигнала, кроме первой.

Численные методы решения системы нелинейных дифференциальных уравнений свободны от ограничений методов аналитического анализа. Общим правилом для различных методов численного решения является разбиение непрерывной функции выходного сигнала на интервалы (шаги) и в определении решения в конце каждого шага путем некоторой итерационной процедуры. Если заданы начальные условия, то используют задачу Коши. При невысоком порядке системы уравнений применяют метод Тейлора. Сложностью данного метода может стать необходимость определения производных функции. Более удобным методом является метод Рунге-Кутта, имеющим следующие достоинства: необходимость вычисления только самой функции выходного сигнала без определения ее производных, одношаговость, т. е. возможность определения значения y_{n+1} только по значениям y_n и t_n, вычисленных на предыдущем шаге.

Использование математического пакета программ "Mathcad" облегчает решение системы (1). Он предоставляет набор встроенных функций по численному решению дифференциальных уравнений. Две из таких функций: rkfixed и Rkadapt производят вычисления согласно методу Рунге-Кутта 4-го порядка.