

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС. ГЕНЕРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Батура М. П., Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Жилач Н. С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

220013, П. Бровки, 6, Минск, Республика Беларусь

E-mail: kukin@bsuir.by, nickzhylach@gmail.com

Динамический (детерминированный) хаос, часто называемый просто хаосом, – неперiodические колебания в нелинейных детерминированных системах, демонстрирующие высокую чувствительность к начальным условиям. В нашем исследовании рассматривается разработка генератора хаотического сигнала для последующего применения его в устройствах передачи информации.

ВВЕДЕНИЕ

Открытие динамического хаоса и дальнейшее его исследование в последней трети XX века привлекли исследователей из разных профессиональных областей. Популярность данному явлению придали широкая распространенность в естественных и искусственных системах, простота математических моделей для исследования этих систем, универсальность бифуркационных механизмов и пути возникновения хаоса из регулярной динамики.

Хаотические сигналы, генерируемые в радиотехнических системах, обладают свойствами шумоподобных сигналов, благодаря чему они представляют большой интерес с точки зрения использования в качестве несущих в системах связи и радиолокации [1, 2]. В настоящее время проблема переходит из области научных исследований в область конкретных инженерных разработок. Одной из важных задач в направлении прикладного использования динамического хаоса является создание эффективных генераторов хаотических колебаний широкого частотного диапазона.

I. ЭВОЛЮЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ХАОСА

Первые генераторы стохастических колебаний были разработаны в ИРЭ АН СССР. Они были созданы с использованием, в качестве активного элемента, вакуумных электронных приборов. Самый первый генератор был построен на основе ламп бегущей волны. После более детальных исследований возникновения хаоса были построены генераторы на основе ламп обратной волны и других вакуумных приборах [3].

В начале восьмидесятых годов возник интерес к созданию генераторов хаоса на основе транзисторов радио- и СВЧ-диапазонов. В 1981 году был создан первый генератор радиодиапазона на биполярных транзисторах и применен в передатчике хаотических сигналов «Шатер» для защиты информации в устройствах вычислительной техники.

В конце девяностых годов была выдвинута идея использовать динамический хаос в системах связи, что повлекло за собой необходимость

создания генераторов нового поколения. Данные генераторы должны были иметь следующие характеристики: небольшую мощность генерации, компактность, низкую себестоимость и пригодность к массовому производству.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

После того, как в 1961 году Э. Лоренцем был открыт динамический хаос, генерация и моделирование хаотических сигналов заняли большую нишу в научных исследованиях, как в СССР, так и за рубежом.

С момента открытия динамического хаоса и до первого математического описания модели генератора, которое было представлено в 1774 году Кисловым В. Я. и другими сотрудниками, исследования характера явления, приводящего к генерации шумоподобных колебаний в электронных приборах, носили качественно описательный характер.

С появлением производительных компьютеров с необходимым графическим интерфейсом моделирование систем, генерирующих хаотические сигналы, вышло на новый уровень. Но, в то же время, ввиду нелинейности параметров радиоэлектронных компонентов моделировать достаточно точные процессы в моделях невозможно, поэтому разработка генераторов, удовлетворяющих определенным требованиям невозможна без испытаний реальных моделей.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ В РАЗРАБОТКЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Задача создания источников (генераторов) электромагнитного хаоса включает в себя разработку структуры генератора, математической модели, установление факта возможности хаотического поведения системы, изучение бифуркационных явлений, приводящих к такому поведению. При создании генераторов хаоса наряду с перечисленными задачами должна быть решена задача нахождения условий, при которых генерируемые хаотические колебания обладают приемлемыми с точки зрения решаемой проблемы спектральными и статистическими свойствами.

Из многочисленных источников хаоса, реализуемых в виде электронных устройств, далеко не все могут рассматриваться даже в роли прототипов генераторов хаоса. Во-первых, большинство из них генерируют хаотические колебания со спектрами мощности, обладающими большой изрезанностью. В то же время, типичным требованием для прикладных задач является равномерность спектральной плотности в полосе генерации.

Во-вторых, многие источники хаоса могут быть реализованы только в области относительно низких частот электромагнитного спектра (до 10-100 МГц) в силу специфики применяемых в них элементов. И хотя прогресс в технологии постепенно сдвигает частотную границу в сторону больших частот, эти ограничения имеют место и должны быть приняты во внимание.

В-третьих, по практическим соображениям «элементная база» хаотических генераторов должна, в основном, состоять из классических электронных компонентов. В частности, в качестве активных элементов желательнее использовать биполярные и полевые транзисторы.

Ряд таких генераторов СВЧ-диапазона описан в литературе. Эти устройства, как правило, созданы в результате кропотливой экспериментальной работы. Более или менее полные математические модели для них отсутствуют, но даже их упрощенные модели имеют довольно высокую размерность. Отсутствие адекватных моделей серьезно затрудняет создание устройств, пригодных для массового производства, в частности, в виде монолитных интегральных схем (МИМС).

В хаотической динамике традиционно стараются использовать математические модели с минимальным числом дифференциальных уравнений. Такой подход, безусловно, оправдан при изучении фундаментальных бифуркационных явлений, однако он оказывается недостаточным при разработке генераторов хаоса СВЧ-диапазона.

К настоящему времени разработаны и широко используются ряд моделей транзисторов для высоких частот. Эти модели могут быть получены у компаний-производителей. Они также включены в библиотеки средств разработки электронных схем. Таким образом, становится возможным построение модели хаотического источника в виде комбинации модели, описывающей пассивные элементы, и блока типа «черного ящика», описывающего активный элемент. Разработка методов анализа и расчета генераторов ВЧ и СВЧ хаотических колебаний на основе подобных моделей в соответствующих программных средах является актуальной задачей.

Хаотические колебания, рассматриваемые как сигналы для передачи информации, обла-

дают рядом специфических черт. В частности, они весьма чувствительны к возмущениям любое возмущение сигнала экспоненциально увеличивается со временем. Следствием этого является то, что хаотические системы сами по себе содержат информацию. Данное обстоятельство может быть конструктивно использовано при их обработке.

IV. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ФАПЧ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ХАОСА

Так как особый интерес в хаотическом сигнале проявляется в системах передачи информации, то и необходимые параметры генератора хаоса должны соответствовать требованиям, удовлетворяющим системам связи.

Цифровые системы связи на хаотических сигналах, в которых формирование хаотической несущей и модуляция информационным сигналом происходят непосредственно в полосе частот связи, а извлечение информации производится без промежуточного преобразования частоты называются прямохаотическими системами связи.

В основу прямохаотических схем связи заложены три базовых принципа:

- источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе радио или СВЧ-диапазона;
- ввод информационного сигнала в хаотический осуществляется путём формирования соответствующего потока хаотических радиоимпульсов;
- извлечение информации из СВЧ-сигнала производится без промежуточного преобразования частоты.

Для прямохаотических систем связи может быть использован фазовый хаос, получаемый с помощью систем ФАПЧ. Коллектив авторов провел исследования генератора на системе фазовой синхронизации [4]. В ходе исследований были получены равномерные, не изрезанные спектральные характеристики высокочастотного фазового хаоса. Полученные результаты дают основание для исследования данной модификации генератора в системах связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А. С., Панас А. И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Физматлит, 2002. – 252 с.
2. Залогин Н. Н., Кислов В. В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах / Москва.: Радиотехника, 2006. – 208 с.: ил.
3. Дмитриев А. С. и др. Генерация хаоса / Под общ. ред. Дмитриева А. С. // Москва: Техносфера, 2012. – 424 с.
4. Шилин Л. Ю., Кукин Д. П. Генератор широкополосного хаотического сигнала на базе системы фазовой синхронизации / Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016) : – 24-25 с.: ил.