

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ХАОТИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ

В.Ф. Тележкин, А.Н. Казимиров

В настоящее время имеется большое количество работ по применению эффектов хаотической динамики в коммуникационных системах. Значительное число работ посвящено исследованию моделей таких систем. При выборе генераторов хаотических сигналов используются известные модельные представления для непрерывного и дискретного времени. В работах по разработке и применению стандарта беспроводных персональных коммуникационных сетей (WPAN) – IEEE802.15.4a созданы и исследованы аналоговые генераторы хаотических колебаний [1, 2].

Рассмотрим транзисторный генератор хаоса. При исследовании макета аналогового генератора по схеме емкостной трехточки с колебательной системой лестничного типа был реализован режим хаотических колебаний (рис. 1). В программе Electronics Workbench исследовалась схемотехническая модель генератора хаотических колебаний при тех же электрических режимах работы транзистора. Формы колебаний в двух временных масштабах представлены на рис. 2 и 3.

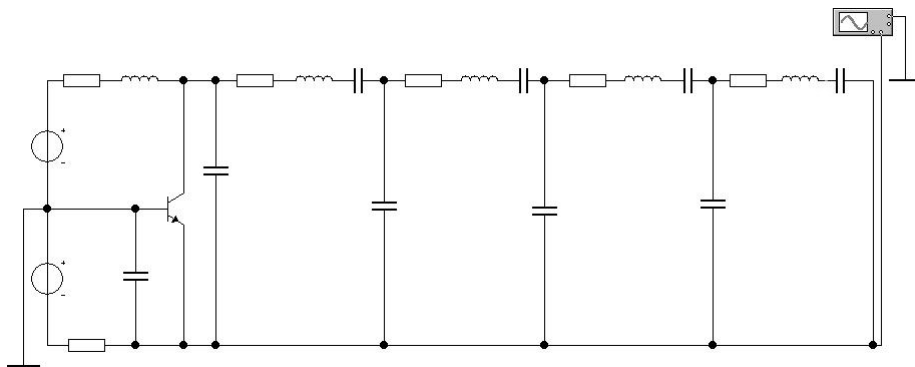


Рис. 1. Схема генератора

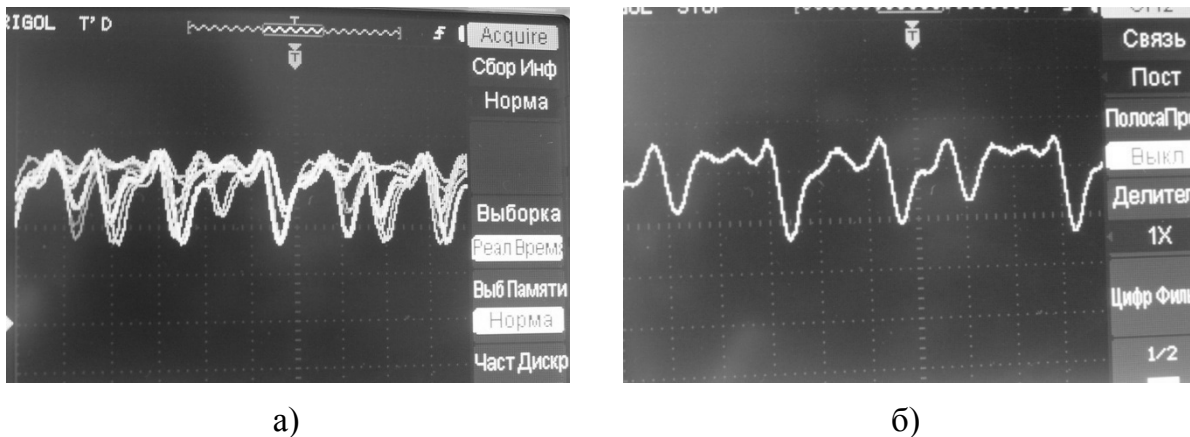
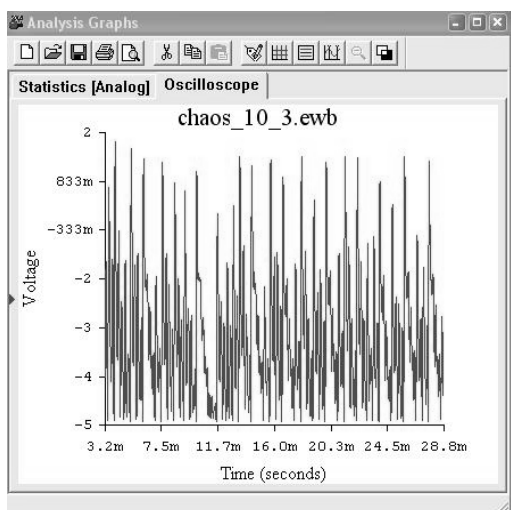
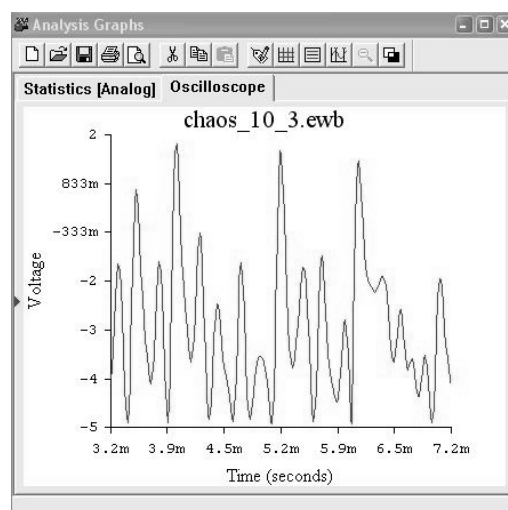


Рис. 2. Осциллограмма хаотических колебаний (а) и ее фрагмент (б)



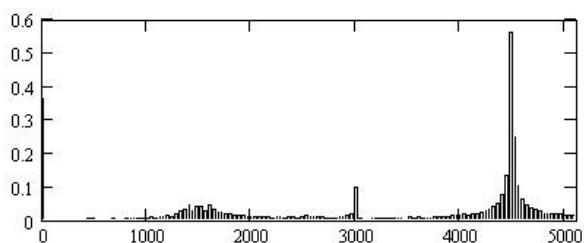
а)



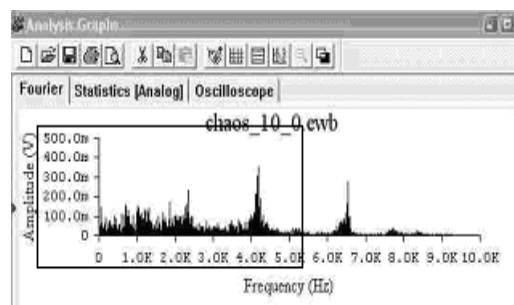
б)

Рис. 3. Результаты моделирования генератора хаотических колебаний (а) и фрагмент колебаний (б)

Далее были рассчитаны спектры сигналов аналогового генератора и его модели по реализациям колебательного процесса на одинаковых временных отрезках. На рис. 4, а показан спектр колебания на выходе макета генератора, а на рис. 4, б – спектр модели генератора в программе “Electronics Workbench”.



а)



б)

Рис. 4. Спектр колебаний аналогового генератора хаотических колебаний (а) и спектр колебаний модели генератора хаотических колебаний (б, выделенный фрагмент)

Виды спектров колебаний на рис. 4, как видно, в общем соответствуют друг другу.

В модельных представлениях генераторов хаоса важной характеристикой колебательного процесса является величина размерности Хаусдорфа «D». Если D вычисляют по временному ряду исследуемого процесса, то она позволяет судить о размерности самой исследуемой динамической системы.

Для определения хаусдорфовой (фрактальной) размерности были вычислены корреляционные интегралы (показатели) по колебаниям генера-

тора и его модели (рис. 5). Алгоритмы обработки временных рядов и вычисления корреляционного интеграла (показателя) и размерности Хаусдорфа см. например в [3].

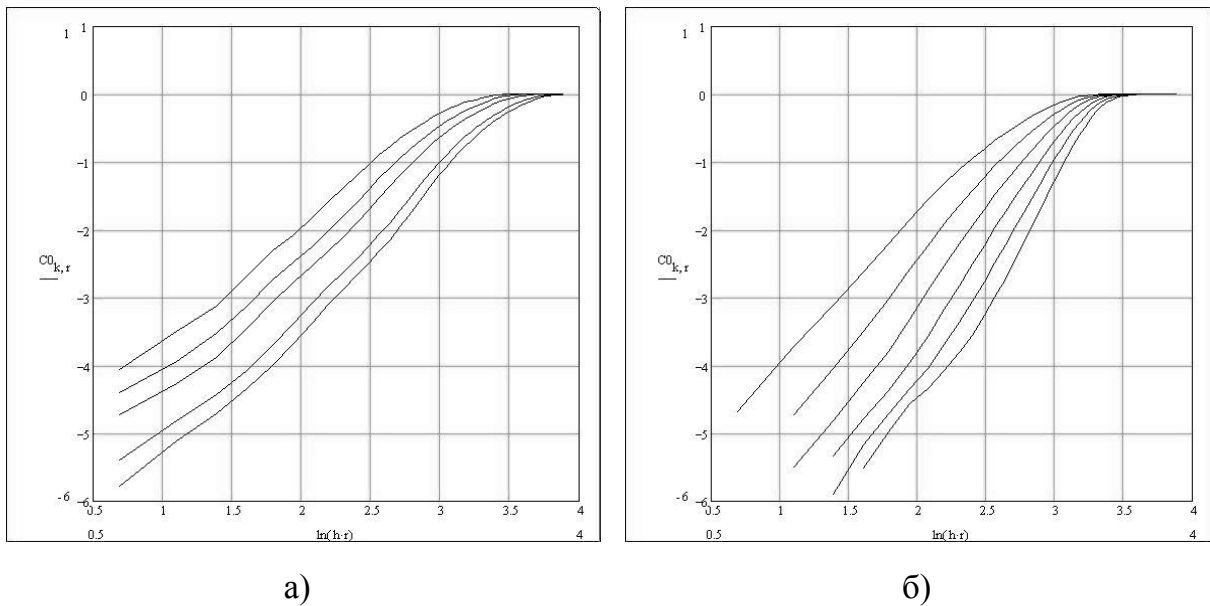


Рис. 5. Корреляционные показатели колебаний аналогового генератора (а) и модели генератора (б)

На основе корреляционных показателей рассчитаны величины хаусдорфовой размерности D при различной размерности пространства вложения фазовой траектории исследуемого процесса (рис. 6). Величина размерности пространства вложения изменяется в диапазоне $2 \dots 7$. Из графиков на рис. 6 следует, что размерность D сигнала на выходе аналогового генератора равна $2,24$. При схмотехническом моделировании $D \approx 3,27$. Таким образом, сигнал на выходе транзисторного аналогового генератора может быть промоделирован системой из трех нелинейных дифференциальных уравнений.

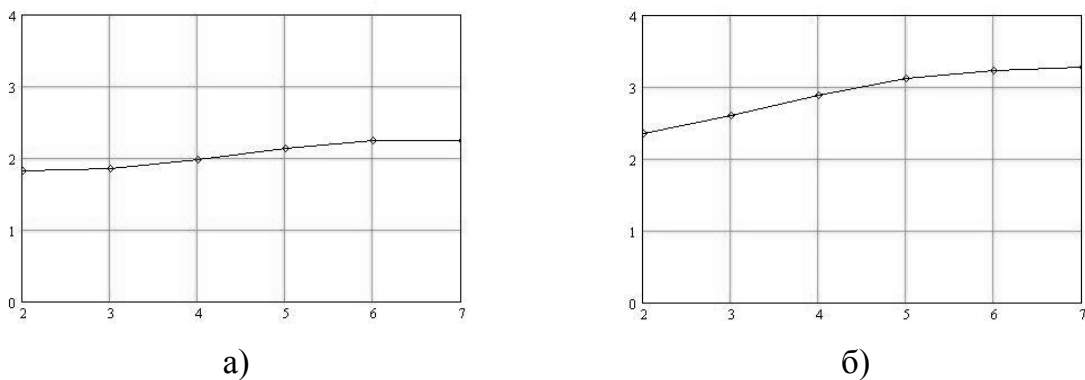


Рис. 6. Графики фрактальной (хаусдорфовой) размерности колебания аналогового генератора (а) и размерности колебания модели генератора (б) в зависимости от размерности пространства вложения

Модель генератора в программе Electronics Workbench образована четырьмя уравнениями. Трудности широкого использования аналоговых генераторов хаоса для реализации модельных представлений систем связи на основе эффектов хаотической динамики должны стимулировать поиск и исследования цифровых генераторов хаотических последовательностей [4].

На основании проведенных исследований необходимо отметить, что при сходстве формы и спектров колебаний их фрактальные характеристики существенно различны. В настоящее время аналоговые генераторы хаотических колебаний используются для формирования потока радиоимпульсов в сверхширокополосных линиях связи.

Таким образом, аналоговые генераторы динамического хаоса имеют один существенный недостаток, препятствующий их широкому применению в связи, радиолокации, кодировании и шифровании сообщений. Возбуждение и развитие колебаний в аналоговых генераторах происходит при истинно случайных начальных условиях, что обусловлено флуктуациями системы. Точное повторение реализации развития процесса при нескольких независимых включениях таких генераторов невозможно даже при запуске их от специального устройства, обеспечивающего фиксированные с высокой точностью начальные условия. А это не позволяет реализовать оптимальный прием таких сигналов, требующий детального сопоставления принятой реализации с ее излученной или отправленной по линии связи точной копией. В математической модели таких устройств, влияние флуктуации на развитие процесса отсутствует. При многократном запуске вычислений по хаотическому алгоритму и при одних и тех же начальных условиях всегда получаются одни и те же реализации хаотических (псевдослучайных) последовательностей. В настоящее время, когда тактовая частота компьютеров исчисляется гигагерцами, можно говорить о цифровом синтезе широкополосных хаотических сигналов с помощью алгоритмов, соответствующих моделям генераторов динамического хаоса различной физической природы [6].

Длина периода хаотической последовательности зависит от характера ее использования. Например, в открытых линиях связи и ближней радиолокации часто достаточно ограничиться периодом 29–211. В дальней радиолокации необходимы периоды порядка 240–242. Такого же порядка период должен обеспечиваться в криптографии для шифрования информации, а также в многоканальных системах связи с кодовым разделением сигналов с кодами, выбранными из одной и той же генеральной последовательности и отличающимися друг от друга временными сдвигами. Дальнейшие исследования могут идти в двух направлениях: построение математических моделей физических систем обладающих хаотическим поведением и создание дискретных моделей с параметрами обоснованными с точки зрения методов нелинейной динамики (анализа временных рядов), и

далее их реализация средствами цифровой микроэлектроники, например на сигнальных процессорах с фиксированной точкой.

В заключение отметим, что имеются исследования генераторов с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) и фильтром второго порядка в петле ФАПЧ, формирующих колебания с хаотическим изменением фазы. Исследования моделей систем связи основанных на использовании эффектов хаотической динамики во многом не востребованы на практике. В работе авторов [4] исследован цифровой генератор хаотических колебаний. Также возможны цифровые генераторы с хаотическим изменением фазы колебаний. Дальнейшие исследования целесообразно направить на поиск и экспериментальное исследование базовых типов цифровых генераторов, тогда будут востребованы работы по использованию хаотических колебаний в системах связи.

Библиографический список

1. Сверхширокополосные коммуникационные системы на основе динамического хаоса / А.С. Дмитриев, А.И. Панас, С.О. Старков и др. // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 1. – С. 4–16.
2. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю.В. Андреев, А.С. Дмитриев и др. // Радиотехника. – 2008. – № 8. – С. 83–90.
3. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
4. Тележкин, В.Ф. Проектирование радиотехнических систем передачи информации на основе эффектов хаотической динамики / В.Ф. Тележкин, А.Н. Казимиров // Цифровая обработка сигналов и ее применение. 11-я Межд. конф. 25–27 марта 2009 г., Москва, Россия. Труды РНТОРЭС имени А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск: XI-2.
5. Максимов, Н.А. Однотранзисторный генератор полосовых хаотических сигналов радиодиапазона / Н.А. Максимов, А.И. Панас // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – № 11. – С. 61–68.
6. Залогин, Н.Н. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах / Н.Н. Залогин, В.В. Кислов. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.