

ГЕНЕРАЦИЯ ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА С РАВНОМЕРНЫМ СПЕКТРОМ МОЩНОСТИ

Зайцев В.В., Юдин А.Н.

Самарский государственный университет, Самара, РФ

E-mail: zaitsev@samsu.ru

Предложен алгоритм генерации хаотического сигнала с равномерными спектральной плотностью мощности и плотностью вероятности. Алгоритм основан на квантовании уровней хаотических автоколебаний в системе с дискретным временем. Приведены примеры оценок спектральных и вероятностных характеристик генерируемых сигналов.

Ключевые слова: динамический хаос, шум квантования, спектр мощности, хаотическая маскировка.

Известно [1], что при квантовании уровня широкополосного сигнала генерируется равномерно распределенный случайный процесс – шум квантования, обладающий равномерной («белой») спектральной плотностью мощности. В настоящем сообщении этот эффект предлагается использовать в алгоритме генерации дискретного сигнала (временного ряда) с обозначенными вероятностными и спектральными характеристиками.

В качестве первичного источника широкополосного сигнала используется ДВ-осциллятор томсоновского типа [2], имеющий режимы генерации хаотических автоколебаний. Осциллятор задается уравнением движения (дискретным отображением) вида

$$x[n] = 2\alpha \cos(2\pi\Omega_0)x[n-1] - \alpha^2 x[n-2] + \gamma(1 - x^2[n-1])(x[n-1] - x[n-2]), \quad (1)$$

где $\alpha = \exp(-\pi\Omega_0/Q_0)$ – константа диссипации. Параметры отображения Ω_0 и Q_0 в аналоговом прототипе – осцилляторе Ван дер Поля – являются собственной частотой и добротностью резонатора (Ω_0 измеряется в единицах частоты дискретизации), а γ – параметр глубины положительной обратной связи. В широких интервалах значений параметров Ω_0 и γ система (1) способна генерировать широкополосные хаотические автоколебания. Например, на рис. 1 приведен спектр мощности автоколебаний для значений $\Omega_0 = 0,2$, $Q_0 = 20$ и $\gamma = 0,219$. Сигнал $x[n]$ подвергается процедуре квантования значений с интервалом q в соответствии с функцией

$$Q(x) = q \cdot \text{floor}\left(\frac{x}{q} + 0.5\right)$$

и вычисляется разностный сигнал $y[n] = q^{-1}\{Q(x[n]) - x[n]\}$.

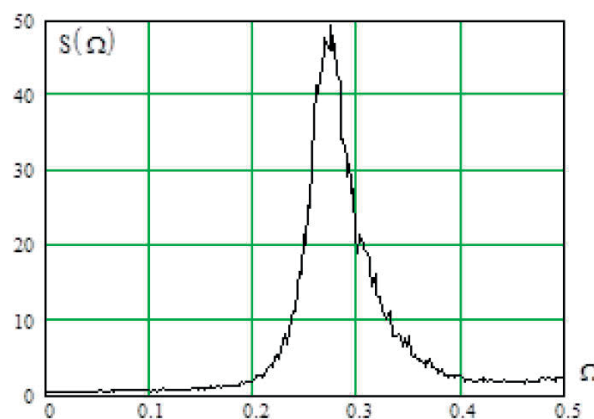


Рис. 1 Спектр хаотических автоколебаний

Именно он имеет требуемые характеристики – равномерную в интервале $-0,5 \leq y \leq 0,5$ плотность вероятности и «белый» спектр мощности. Спектр показан на рис. 2, результаты получены для $q = 0,001$.

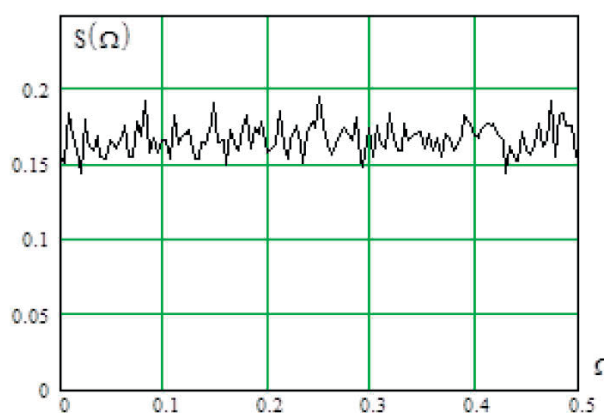


Рис. 2 Спектр шума дискретизации

Как видно из рис. 1, полученный сигнал имеет «белый» спектр мощности. Временной ряд $y[n]$ представляет собой воспроизводимый источник шума, который может использоваться в исследованиях методом имитационного моделирования.

Из равномерного вероятностного распределения с помощью нелинейного преобразования можно получить требуемое распределение. Например, преобразование ряда (3) вида

$$z[n] = \begin{cases} -1 + \sqrt{1 + 2y[n]}, & y < 0; \\ 1 - \sqrt{1 - 2y[n]}, & y \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

дает сигнал с треугольной плотностью вероятности. Точечный график ее гистограммной оценки показан на рис. 3, где теоретическая форма изображена пунктиром.

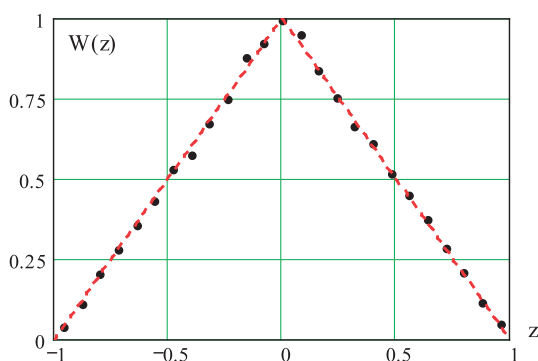


Рис. 3. Гистограммная оценка плотности вероятности

Отметим, что при нелинейных безынерционных преобразованиях равномерность спектров мощности сигналов сохраняется.

Зайцев Валерий Васильевич, к.ф.-м.н., профессор Кафедры радиофизики Самарского государственного университета (СамГУ). Тел.: 8-960-820-87-38. E-mail: zaitsev@samsu.ru

Юдин Александр Николаевич, аспирант физического факультета СамГУ. Тел.: 8-927-759-28-65. E-mail: judin.a@rambler.ru

CHAOTIC SIGNAL GENERATION WITH UNIFORM POWER SPECTRUM

Zaitsev V.V., Yudin A.N.

Samara State Aerospace University, 34 Moskovskoye shosse, Samara 443086, Russian Federation

E-mail: zaitsev@samsu.ru

We present algorithm for chaotic signal generation with uniform power spectrum and probability density. It is based on quantization of chaotic self-oscillation levels in discrete time system. Signal of chaotic self-oscillation generator in the discrete oscillation system of Tompson type is used as initial signal with wide spectrum. We developed algorithm for discrete time white chaos generation. Some examples of estimations for spectral and probabilistic characteristics of generated signals are represented. Proposed white chaos generation algorithm is usable for radioelectronic and telecommunication system simulations, as well for data protection by chaotic masking method.

Keywords: *dynamic chaos, quantization noise, power spectrum, chaotic masking*

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.1.02

Zaitsev Valeri Vasiljevich, Samara State Aerospace University, 34 Moskovskoye shosse, Samara 443086, Russian Federation; H.T. the Head of Department of Radiophysics, Semiconductor Micro- and Nanoelectronics; PhD in Physico-Mathematical Science. Tel. +79608208738. E-mail: zaitsev@samsu.ru.

Yudin Aleksandr Nikolaevich, Samara State Aerospace University, 34 Moskovskoye shosse, Samara 443086, Russian Federation; PhD student of the Department of Radiophysics, Semiconductor Micro- and Nanoelectronics. Tel.: +79277592865. E-mail: judin.a@rambler.ru.

Поэтому временной ряд (2) по-прежнему представляет собой «белый» хаос. Кроме того, для генерации «белого» хаоса с вероятностным распределением, близким к нормальному, предлагается использовать сумму некоррелированных рядов $z[n] = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{m=1}^M y_m[n]$.

Еще одна сфера использования обсуждаемых хаотических временных рядов – шифрование данных, например так, как это делается в работе [3]. Применение полностью программных методов генерации хаотического сигнала и шифрования позволяет избежать преднамеренно созданных аппаратных уязвимостей и некоторых видов несанкционированного доступа.

Литература

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. М.: Техносфера, 2006. – 856 с.
2. Зайцев В.В., Давыденко С.В., Зайцев О.В., Динамика автоколебаний дискретного осциллятора Ван дер Поля // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т. 3. №2, 2000. – С. 64-67.
3. Зайцев В.В., Зайцев О.В. Способ защиты информации с использованием алгоритма генерации хаотических автоколебаний // Вестник СамГУ. №9, 2006. – С. 66-71.

Получено 10.09.2015

References

1. Oppenheim V.A., Schaffer R.W. *Discrete time signal processing*. Pearson Education, 1999, 870 p. (Russ. ed.: Oppenheim A.V., Schaffer R.W. *Tsifrovaia obrabotka signalov*. Moscow, Tekhnosfera, 2006. 856 p.)
2. Zaitsev V.V., Davydenko S.V., Zaitsev O.V. Dinamika avtokolebaniy diskretnogo ostsillyatora Van der Polya [Dynamics of self-oscillations of the discrete oscillator of Van der Pol]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy*, 2000, no. 2, pp. 64-67.
3. Zaitsev V.V., Zaitsev O.V. Sposob zaschity informatsii s ispolzovaniem algoritma generatsii haoticheskikh avtokolebaniy [Method of information security with use of algorithm of generation of chaotic self-oscillations]. *Vestnik SamGU*, 2006, no. 9, pp. 66-71.

Received 10.09.2015

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОМОДОВЫХ РЕЖИМОВ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК НА МНОГОМОДОВЫХ СВЕТОВОДАХ

*Бурдин А.В.¹, Василец А.А.², Бурдин В.А.¹, Морозов О.Г.², Кузнецов А.А.², Нуреев И.И.²,
Фасхутдинов Л.И.², Кафарова А.М.¹, Минаева А.Ю.¹, Севрук Н.Л.¹*

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Казань, РФ

E-mail: bourdine@yandex.ru

В работе представлены результаты экспериментальных исследований маломодовых режимов функционирования многомодовых ОВ с нанесенными брэгговскими структурами при передаче оптических сигналов, возбуждаемых когерентными источниками оптического излучения.

Ключевые слова: Волоконно-оптическая брэгговская решетка, многомодовые оптические волокна, дифференциальная модовая задержка, маломодовые эффекты, спектральный/импульсный отклик волоконной брэгговской решетки.

Введение

На сегодняшний день волоконные брэгговские решетки (ВБР) широко применяются в различных устройствах и приложениях волоконно-оптической техники связи и фактически являются базовым волоконно-оптическим элементом при построении сенсорных сетей волоконно-оптических датчиков [1 – 8]. Подавляющее большинство таких коммерческих систем ориентировано на хорошо изученные одномодовый или, напротив, многомодовый режимы передачи оптических сигналов.

Известен ряд публикаций, посвященных вопросам исследования параметров ВБР, записанных на кварцевых многомодовых (ОВ), для различных приложений волоконной оптики и фотоники. Так, в работах [9-10] ВБР на градиентных многомодовых ОВ используются в схемах оптических фильтров волоконно-оптических систем 10G локальных сетей передачи данных, а также системах RoF на уровне микро- и пикосот. Публикации [11; 14] по-

священы исследованию параметров ВБР на многомодовых ОВ со ступенчатым профилем показателя преломления. Отдельное внимание уделяется приложению многомодовых ВБР с наклонными штрихами решетки в различных схемах волоконно-оптических датчиков, в том числе датчиков вибраций, температуры, деформаций и др. [15-18]. Наконец, в работах [19-26] представлены результаты исследования параметров традиционных ВБР на типовых кварцевых телекоммуникационных многомодовых ОВ 50/125 и 62,5/125 с градиентным профилем показателя преломления, а также экспериментальной апробации волоконно-оптических датчиков разного назначения на их основе. Однако подавляющее большинство перечисленных работ ориентировано исключительно на анализ спектрального отклика ВБР при прохождении оптического сигнала, возбуждаемого когерентным источником оптического излучения, что соответствует непосредственно маломодовому режиму.