

УДК 517.9:537.86:621.373

ПРОСТЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ХАОСА И ИХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

С. П. Кузнецов

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН
410019, Саратов, ул. Зеленая, 38

E-mail: spkuz@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2018

Тема и цель исследования. Цель работы состоит в проведении обзора описанных в литературе и оригинальных схем генераторов хаоса. Для наглядности сопоставления различных устройств описание дается в едином стиле, опираясь на схемотехническое моделирование с использованием пакета NI Multisim. **Исследуемые модели.** Рассматривается несколько несложных по конструкции электронных генераторов хаоса, в том числе: генератор Колпитца; генератор Хартли; RC-генератор хаоса; варианты схемы Чуа; конструкции, предложенные литовской группой; аналоговый осциллятор Лоренца; генераторы гиперболического хаоса с передачей возбуждения между попеременно возбуждающимися элементами, а также кольцевой генератор с запаздыванием. **Результаты.** Представлены схемы электронных устройств – генераторов хаоса, обсуждены принципы их функционирования и проведено схемотехническое моделирование. Для всех рассмотренных систем хаотическая динамика иллюстрируется осциллограммами сигналов, фазовыми портретами аттракторов, спектрами колебаний. Специально отмечены генераторы робастного хаоса – электронный аналог модели Лоренца и схемы с гиперболическими аттракторами Смейла–Вильямса, которые представляются предпочтительными для возможных приложений в силу малой чувствительности характеристик хаоса к вариации параметров, несовершенствам изготовления, помехам и т.д. **Обсуждение.** Приведенные схемы отвечают низкочастотным устройствам, но некоторые из них могут быть полезны в плане разработки генераторов хаоса также на высоких и сверхвысоких частотах. Представленный материал может представлять интерес для постановки лабораторных и компьютерных практикумов, ориентированных на подготовку специалистов в области радиофизики и нелинейной динамики, а также для исследователей, заинтересованных в конструировании генераторов хаоса и их практическом использовании. **Ключевые слова:** динамическая система, хаос, аттрактор, генератор хаоса, схемотехническое моделирование.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61

Образец цитирования: Кузнецов С.П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, № 3. С. 35–61. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61

SIMPLE ELECTRONIC CHAOS GENERATORS AND THEIR CIRCUIT SIMULATION

S. P. Kuznetsov

Kotelnikov Institute of Radio-Engineering
and Electronics of RAS, Saratov Branch
38, Zelenaya, 410019 Saratov, Russia
E-mail: spkuz@yandex.ru
Received 29.03.2018

Topic and aim. The aim of the work is to review circuits of chaos generators, those described in the literature and some original ones, in a unified style basing on circuit simulations with the NI Multisim package, which makes the comparison of the various devices apparent. **Investigated models.** A number of electronic chaos generators are considered including the Kolpitz oscillator, the Hartley oscillator, the RC chaos generator, variants of Chua circuit, the designs proposed by the Lithuanian group, Lorenz analog oscillator, generators of hyperbolic chaos with excitation transfer between alternately excited oscillators, as well as a ring generator with delayed feedback. **Results.** The circuit diagrams of chaos generators are presented, the principles of their operation are discussed, and circuit simulations are carried out using the NI Multisim package. For all considered systems the chaotic dynamics are illustrated consistently by waveforms of the signals, phase portraits of the attractors, spectra of the oscillations. Specially outlined are generators of robust chaos including the electronic analog of the Lorenz model and the circuits with Smale–Williams hyperbolic attractors, which seem preferable for possible applications due to low sensitivity of the chaos characteristics to parameter variations, manufacturing imperfections, interferences, etc. **Discussion.** The circuits collected in the paper correspond to low-frequency devices, but some of them may be useful in development of chaos generators also at high and ultrahigh frequencies. The material presented may be of interest for setting up laboratory and computer practical courses aimed at training specialists in the field of electronics and nonlinear dynamics, as well as for researchers interested in constructing chaos generators and their practical applications.

Key words: dynamic system, chaos, attractor, chaos generator, circuit simulation.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61

References: Kuznetsov S.P. Simple electronic chaos generators and their circuit simulation. Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 35–61. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61