

УДК 517.9:621.373.7

## **СЛОЖНАЯ ДИНАМИКА И ХАОС В ЭЛЕКТРОННОМ АВТОГЕНЕРАТОРЕ С НАСЫЩЕНИЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЕМЫМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РАСПАДОМ**

С. П. Кузнецов<sup>1,2</sup>, Л. В. Тюрюкина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
РАН Россия, 410019 Саратов, ул. Зеленая, д. 38

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, д. 83

E-mail: spkuz@yandex.ru, lvtur@rambler.ru

*Поступила в редакцию 22.09.2017*

Рассматривается электронный генератор на основе двух колебательных контуров, один из которых включает отрицательную проводимость (активный контур), где реализуется сложная динамика и хаос, соответствующие модели волновой турбулентности Вышкинд–Рабиновича. Эффект насыщения автоколебаний и их хаотизация обусловлены параметрическим механизмом благодаря присутствию квадратичного нелинейного реактивного элемента на основе операционного усилителя и аналогового умножителя.

Исследование основано на сочетании схемотехнического моделирования с использованием программного продукта Multisim и численного решения уравнений, непосредственно описывающих осцилляции напряжений и токов в колебательных контурах, амплитудных уравнений и уравнений в форме, предложенной С.Я. Вышкинд и М.И. Рабиновичем.

Для указанных моделей построены временные зависимости динамических переменных от времени, портреты аттракторов, зависимости показателей Ляпунова от параметров. Для модели Вышкинд–Рабиновича построена также карта динамических режимов на плоскости параметров. Показано что все модели демонстрируют переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода при уменьшении параметра надкритичности в активном колебательном контуре. Возникающий хаотический аттрактор по своей структуре аналогичен аттрактору Ресслера.

Предложенная схема является новой и позволяет наблюдать в радиотехническом устройстве хаотическую динамику резонансного триплета при неустойчивости высокочастотной моды, рассмотренную в свое время Вышкинд и Рабиновичем и интерпретируемую как модель определенного типа волновой турбулентности в диссипативных средах. Представленные результаты свидетельствуют о возможности использования предлагаемой электронной схемы для аналогового моделирования колебательно-волновых явлений в системах, к которым применима модель Вышкинд–Рабиновича.

*Ключевые слова:* параметрическое взаимодействие мод, хаотический аттрактор, автоколебания, аналоговое моделирование.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-1-33-47

*Образец цитирования:* Кузнецов С.П., Тюрюкина Л.В. Сложная динамика и хаос в электронном автогенераторе с насыщением, обеспечиваемым параметрическим распадом // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, № 1. С. 33–47. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-1-33-47

## COMPLEX DYNAMICS AND CHAOS IN ELECTRONIC SELF-OSCILLATOR WITH SATURATION MECHANISM PROVIDED BY PARAMETRIC DECAY

S. P. Kuznetsov<sup>1,2</sup>, L. V. Turukina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kotelnikov Institute of Radio-Engineering and Electronics of RAS, Saratov Branch 38, Zelenaya, 410019 Saratov, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University 83, Astrakhanskaya, 410012 Saratov, Russia

E-mail: spkuz@yandex.ru, lvtur@rambler.ru

Received 22.09.2017

We consider an electronic oscillator based on two LC-circuits, one of which includes negative conductivity (the active LC-circuit), where complex dynamics and chaos occur corresponding to the model of wave turbulence of Vyshkind–Rabinovich. The saturation effect for the self-oscillations and their chaotisation take place due to parametric mechanisms due to the presence of a quadratic nonlinear reactive element based on an operational amplifier and an analog multiplier.

The study is based on combination of circuit simulation with the use of the software product Multisim and of numerical computations with equations that directly describe the oscillations of voltages and currents in the oscillatory circuit, amplitude equations, and the equations represented in the form suggested by S.Y. Vyshkind and M.I. Rabinovich.

For all these models, time dependences of dynamic variables are presented as well as portraits of attractors, and Lyapunov exponents depending on parameters. For the Vyshkind–Rabinovich model we additionally present a chart of dynamic regimes in the parameter plane. It is shown that all models demonstrate transitions to chaos through period-doubling bifurcation scenario observed under decrease in the supercriticality parameter in the active LC-circuit. The resulting chaotic attractor is similar in structure to the Rössler attractor.

The proposed scheme allows observing in the electronic device chaotic dynamics of the resonant triplet under instability of the high-frequency mode, considered in due time by Vyshkind and Rabinovich and interpreted as a model of a certain type of wave turbulence in dissipative media. The presented results testify a possibility of using the considered electronic circuit for analog simulation of oscillatory and wave phenomena in systems to which the Vyshkind–Rabinovich model is applicable.

*Key words:* parametric mode interaction, chaotic attractor, auto-oscillations, analog simulation.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-1-33-47

*References:* Complex dynamics and chaos in electronic self-oscillator with saturation mechanism provided by parametric decay. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2018, vol. 26, iss. 1, pp. 33–47. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-1-33-47