

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В МНОГОМОДОВОМ ГЕНЕРАТОРЕ С ОБЩЕЙ СХЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Н.В. Станкевич^{1,2}, О.В. Астахов³, Е.П. Селезнев^{2,3}

¹Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

³Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

E-mail: stankevichnv@mail.ru

Одним из перспективных направлений практического использования радиофизических генераторов хаотических сигналов являются системы скрытой передачи данных [1-3]. Данное направление развивается уже достаточно длительное время, однако, существует ряд проблем, не позволяющих использовать такого рода генераторы на практике. К таким проблемам относят: зависимость генерируемого сигнала от начальных условий и параметров, чувствительность к шумам, проблема конфиденциальности передаваемой информации и др. Данные проблемы сводятся к вопросам различных свойств хаотических аттракторов. Квазипериодические колебания представляют собой широко распространенный в науке и технике класс колебаний [1-8]. В последнее время данному виду колебаний уделяется большое внимание, поскольку, с одной стороны, они являются не таким сложными, как хаотические, но при этом же непериодическими, что делает их интересными для анализа. Важными представляются вопросы возникновения хаотической динамики в результате разрушения эргодического тора. Можно отметить некоторые перспективы в использовании данного класса колебаний, например, при скрытой передаче информации [6].

В рамках данной работы рассматриваются особенности формирования хаотической динамики в пятиконтурном генераторе с общей схемой управления, особое внимание уделяется сценариям развития хаотической динамики на базе разрушения многочастотных квазипериодических колебаний. Система дифференциальных уравнений, описывающая многомодовый генератор с общей схемой управления записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}\ddot{x} - (\lambda k_1 - x^2)\dot{x} + \Delta_1^2 x + (k_2 \dot{y} + k_3 \dot{z} + k_4 \dot{v} + k_5 \dot{w}) &= 0, \\ \ddot{y} - (\lambda k_2 - y^2)\dot{y} + \Delta_2^2 y + (k_1 \dot{x} + k_3 \dot{z} + k_4 \dot{v} + k_5 \dot{w}) &= 0, \\ \ddot{z} - (\lambda k_3 - z^2)\dot{z} + \Delta_3^2 z + (k_1 \dot{x} + k_2 \dot{y} + k_4 \dot{v} + k_5 \dot{w}) &= 0, \\ \ddot{v} - (\lambda k_4 - v^2)\dot{v} + \Delta_4^2 v + (k_1 \dot{x} + k_2 \dot{y} + k_3 \dot{z} + k_5 \dot{w}) &= 0, \\ \ddot{w} - (\lambda k_5 - w^2)\dot{w} + \Delta_5^2 w + (k_1 \dot{x} + k_2 \dot{y} + k_3 \dot{z} + k_4 \dot{v}) &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь x, y, z, v, w - динамические переменные генератора, $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5$ - собственные частоты автогенераторов, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 - коэффициенты возбуждения колебательных мод в каждом автогенераторе, которые изменяются общей схемой управления.

В рамках данной работы проведено численное исследование динамики модели (1) с помощью метода карт показателей Ляпунова. На рис. 1 представлены карты показателей Ляпунова на плоскостях параметров (k_1, k_2) и (k_1, k_5) . Частоты осцилляторов были фиксированы и достаточно сильно разнесены друг от друга:

$$\Delta_1^2 = 1, \Delta_2^2 = 3, \Delta_3^2 = 11, \Delta_4^2 = 41, \Delta_5^2 = 153. \quad (2)$$

Остальные значения параметров были фиксированы идентичными и достаточно малыми $k_3=k_4=k_5=1$ (для рис.1а), $k_2=k_3=k_4=1$ (для рис.1б). Как видно из рисунка в данном случае при нулевых значениях коэффициентов усиления возникает 3-тор или 4-тор, с увеличением коэффициентов торы разрушаются с возникновением хаотической динамики, причем возможно возникновения хаоса как с одним положительным показателем Ляпунова, так и гиперхаоса с двумя и тремя положительными показателями.

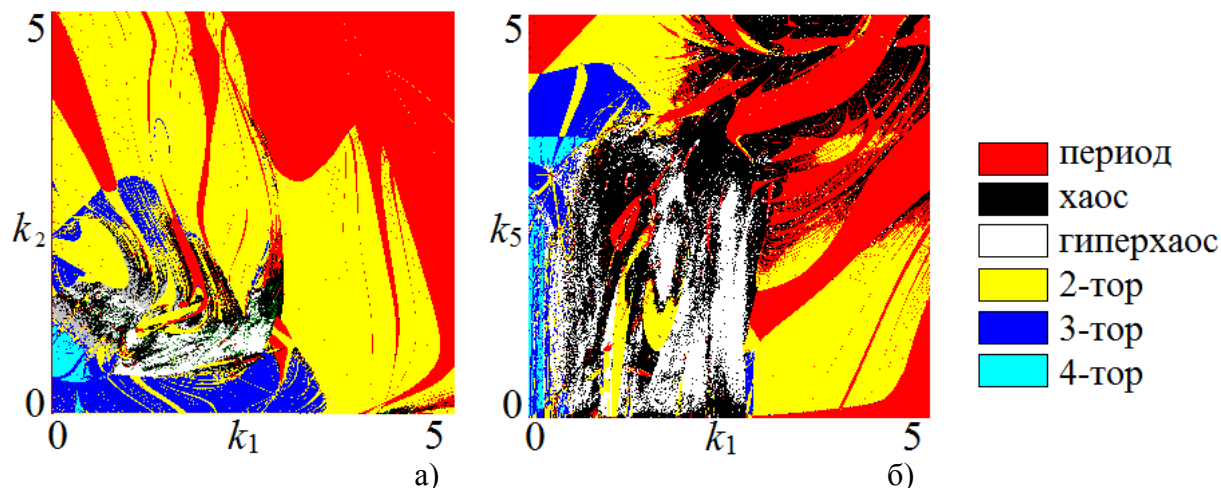


Рис.1. Карты показателей Ляпунова модели многомодового автогенератора (1) при $\Delta_1^2 = 1, \Delta_2^2 = 3, \Delta_3^2 = 11, \Delta_4^2 = 41, \Delta_5^2 = 153, \lambda=1, k_3=k_4=k_5=1$ (рис.1а), $k_2=k_3=k_4=1$ (рис. 1б).

В работе будет представлено более подробное исследование динамики модели (1), проиллюстрированы различные хаотические режимы и их формирование, будет проведен анализ укороченных уравнений модели (1).

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №17-12-01008).

Библиографический список

1. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 508 с.
2. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Стрелкова Г.И. Синхронизация регулярных, хаотических и стохастических колебаний. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2008. 144 с.
3. Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М: Наука, 1980. 360 с.
4. Kuznetsov A.P., Kuznetsov S. P., Stankevich N.V. // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2010. Vol. 15. №. 6. P. 1676.
5. Kuznetsov A.P., Kuznetsov S.P., Mosekilde E., Stankevich N.V.// The European Physical Journal Special Topics. 2013. № 10. P. 2391.
6. Kuznetsov A.P. Kuznetsov S.P., Mosekilde E., Stankevich N.V. // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. 2015. Vol. 48. № 12. P. 125101.
7. Kuznetsov A., Kuznetsov S., Seleznev E., Stankevich N. // In: Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, Proceedings of NDES 2012 (pp. 1-3). VDE.
8. N.V. Stankevich1, A.P. Kuznetsov, E.S. Popova,E.P. Seleznev Experimental diagnostics of multy-frequency quasi-periodic oscillations. // Commun Nonlinear Sci Numer Simulat. 2017. Vol. 43/ P.200-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.07.007>