

ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 26. Выпуск 1.

УДК 517.9

DOI 10.22405/2226-8383-2025-26-1-25-34

**Экстремально мультистабильные динамические системы с
континуумом скрытых хаотических аттракторов**

И. М. Буркин, О. И. Кузнецова

Буркин Игорь Михайлович — доктор физико-математических наук, Тульский государственный университет (г. Тула).

e-mail: i-burkin@yandex.ru

Кузнецова Оксана Игоревна — кандидат физико-математических наук, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: oxxy4893@mail.ru

Аннотация

В последние годы многие исследователи сосредоточились на изучении феномена экстремальной мультистабильности динамических систем. Экстремально мультистабильная система содержит бесконечное число сосуществующих аттракторов, определяющихся различными начальными условиями. Последнее обстоятельство вносит чрезвычайную неопределенность в ее поведение и открывает возможность использования такой системы, например, в криптографии и организации защищенной связи в системах коммуникаций. Поэтому особый интерес представляет понимание фундаментального принципа формирования экстремальной мультистабильности. Только поняв этот принцип, мы сможем генерировать системы с нужным поведением. Экстремальная мультистабильность многих известных в настоящее время систем может быть объяснена наличием феномена усиления смещения (offset boosting), предполагающего присутствие в системе параметра смещения. Как оказалось, отмена параметра смещения может привести к наличию в системе континуума сосуществующих аттракторов, которые непрерывно располагаются в фазовом пространстве, и простираются до бесконечности в определенном направлении. Это открытие может стать, например, объяснением возникновения и распространения торнадо и турбулентности. В настоящей работе с использованием приема расширения размерности сконструированы две системы четвертого порядка без состояний равновесия, содержащие континуум сосуществующих скрытых хаотических аттракторов. Первая система построена на основе известной трехмерной системы Спротта, а вторая — на основе предложенной ранее авторами работы трехмерной системы, обладающей единственным скрытым хаотическим аттрактором размерности «почти 3». При этом вторая система содержит 2D решетку, представляющую собой объединение счетного числа полос, каждая из которых содержит континуум аттракторов.

Ключевые слова: динамическая система, экстремальная мультистабильность, хаос, континуум сосуществующих аттракторов, показатели Ляпунова, размерность Каплана — Йорке.

Библиография: 16 названий.

Для цитирования:

Буркин, И.М., Кузнецова, О. И. Экстремально мультистабильные динамические системы с континуумом скрытых хаотических аттракторов // Чебышевский сборник, 2025, т. 26, вып. 1, с. 25–34.

CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 26. No. 1.

UDC 517.9

DOI 10.22405/2226-8383-2025-26-1-25-34

Extremely multistable dynamical systems with a continuum of hidden chaotic attractors

I. M. Burkin, O. I. Kuznetsova

Burkin Igor Mikhailovich — doctor of physical and mathematical sciences, Tula State University (Tula).*e-mail: i-burkin@yandex.ru***Kuznetsova Oksana Igorevna** — candidate of physical and mathematical sciences, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).*e-mail: oaxy4893@mail.ru***Abstract**

In recent years, many researchers have focused on studying the phenomenon of extreme multistability of dynamic systems. An extremely multistable system contains an infinite number of coexisting attractors determined by different initial conditions. The latter circumstance introduces extreme uncertainty into its behavior and opens up the possibility of using such a system, for example, in cryptography and the organization of secure communication in information transmission systems. Therefore, understanding the fundamental principle of the formation of extreme multistability is of particular interest. Only by understanding this principle we can generate systems with the desired behavior. Extreme multistability of many currently known systems can be explained by the presence of the phenomenon of offset boosting, which suggests the presence of an offset parameter in the system. As it turned out, the cancellation of the offset parameter can lead to the presence of a continuum of coexisting attractors in the system, which are continuously located in the phase space and extend to infinity in a certain direction. This discovery can become, for example, an explanation for the occurrence and propagation of tornadoes and turbulence. In this paper, using the dimension expansion technique, two fourth-order systems without equilibrium states containing a continuum of coexisting hidden chaotic attractors are constructed. The first system is based on the well-known three-dimensional Sprott system, and the second is based on the three-dimensional system proposed earlier by the authors, which has a single hidden chaotic attractor of dimension “almost 3”. The second system contains a 2D lattice, which is a union of a countable number of strips, each of which contains a continuum of attractors.

Keywords: dynamic system, extreme multistability, chaos, continuum of coexisting attractors, Lyapunov exponents, Kaplan – Yorke dimension.

Bibliography: 16 titles.

For citation:

Burkin, I.M., Kuznetsova, O.I. 2025, “Extremely multistable dynamical systems with a continuum of hidden chaotic attractors”, *Chebyshevskii sbornik*, vol. 26, no. 1, pp. 25–34.

1. Введение

В последние два десятилетия системы, демонстрирующие хаотическое поведение, привлекли пристальное внимание исследователей. Такие системы генерируют хаотический сигнал или последовательность таких сигналов и открывают широкие возможности для приложений на

основе хаоса. Детерминированная псевдослучайность и непредсказуемость хаоса нашли широкое применение в генерировании псевдослучайных чисел [1], криптографии [2], робототехнике [3] и защищенной связи [4-6]. Среди тем, связанных с хаосом, особый интерес представляет мультистабильность или сосуществование нескольких динамических состояний в системе. Мультистабильные хаотические системы помимо желаемого хаотического решения могут производить множество других решений при различных начальных условиях. Такая комплексная система может применяться в различных ситуациях без изменения базовой структуры, и обеспечивает большое удобство для инженеров. В частности, бесконечное число хаотических режимов динамической системы порождает чрезвычайную неопределенность и непредсказуемость. С другой стороны, мультистабильность может представлять некоторые угрозы по той же причине. Упомянутые обстоятельства вызвали большую волну как исследований феномена мультистабильности, так и разработку методов искусственного конструирования мультистабильных систем [7-11]. Для конструирования экстремально мультистабильных хаотических систем, то есть систем, содержащих бесконечное число сосуществующих хаотических аттракторов, было разработано несколько различных подходов. Например, рассмотреть существующую хаотическую систему и изменить ее, добавив дополнительные члены в дифференциальные уравнения, описывающие систему [7], или модифицировать существующий член [8-11], или добавить новые состояния в систему и изменить её порядок [12-14]. Целью всех упомянутых приемов генерирования экстремально мультистабильных систем было построение системы, в которой реализуется эффект усиления смещения (offset boosting), предполагающий присутствие в системе параметра смещения. Усиление смещения означает, что существующий в системе аттрактор перемещается в фазовом пространстве в любом направлении.

Оказалось, что отмена параметра смещения может привести к наличию в системе континуума сосуществующих аттракторов, которые непрерывно располагаются в фазовом пространстве, и простираются до бесконечности в определенном направлении. В работе [16] была продемонстрирована возможность построения системы, обладающей бесконечным числом сосуществующих аттракторов, путем специального расширения размерности существующей системы, имеющей нетривиальный аттрактор. В построенной таким образом системе смещение аттрактора в фазовом пространстве осуществляется только за счет выбора начального условия, что обеспечивает существование континуума сосуществующих аттракторов. В настоящей работе с использованием приема расширения размерности сконструированы две системы четвертого порядка без состояний равновесия, содержащие континуум сосуществующих скрытых хаотических аттракторов.

2. Расширение размерности системы Спротта

В работе [15] построена система третьего порядка

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -z, \\ \dot{y} &= z^2 - a, \\ \dot{z} &= x - yz.\end{aligned}\tag{1}$$

Система (1) не имеет состояний равновесия, и при $a = 1$ она обладает двумя хаотическими аттракторами, которые визуализируются при численном интегрировании с начальными условиями $(2, 0, 3)$ и $(0.34, 0.4, -0.6)$. Эти аттракторы представлены, соответственно, на рисунках 1.а) и 1.б) (проекция на плоскости (x, y) и (x, z)).

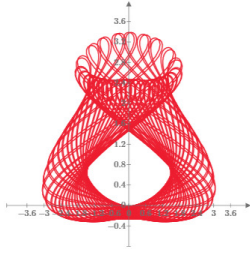


Рис. 1.а)

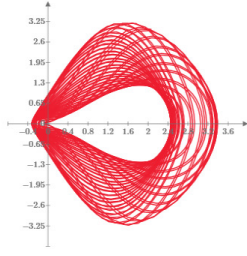
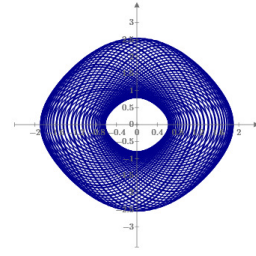
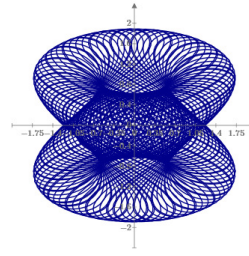


Рис. 1.б)



Пользуясь идеей специального расширения размерности пространства, на основе этой системы сконструируем систему 4-го порядка так, чтобы она обладала континуумом сосуществующих аттракторов. Рассмотрим систему

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -z, \\ \dot{y} &= z^2 - a, \\ \dot{z} &= b(x - u) - yz, \\ \dot{u} &= cz.\end{aligned}\tag{2}$$

Система (2) примечательна тем, что вместе с решением с начальным условием (x_0, y_0, z_0, u_0) она имеет и решение с начальным условием $(x_0 + d, y_0, z_0, u_0 + d)$ для любого $d \in \mathbb{R}^1$, так как замена $x \rightarrow x + d, u \rightarrow u + d$ не меняет динамику системы. Если рассматриваемая система имеет нетривиальный аттрактор, то она имеет континуум аттракторов, поскольку аттрактор системы определяется только начальным условием. Континуум аттракторов системы (2), порожденных каждым из аттракторов, представленных на рисунках 1, будем называть далее 1-D полосой.

Значение параметров (a, b, c) системы (2) необходимо подобрать таким образом, чтобы она «наследовала» свойства системы (1), то есть обладала парой скрытых хаотических аттракторов. Исчерпывающий компьютерный поиск позволяет подобрать необходимые значения: $a = 1, b = 0.6, c = 0.3$. На рисунках 2.а)-2.в) представлены проекции фрагмента 1-D полосы аттракторов системы (2) с начальными условиями $(2, 0, 3, 0)$ и $(2 \pm 1.5, 0, 3, 0 \pm 1.5)$, соответственно, на плоскости (x, y) , (y, u) и (x, z) .

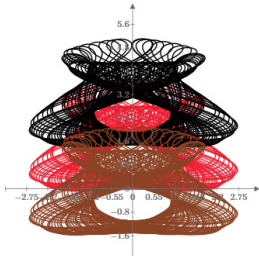


Рис. 2.а)

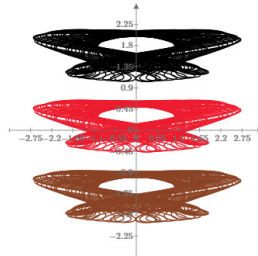


Рис. 2.б)

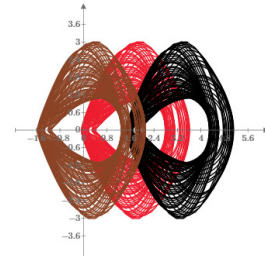


Рис. 2.в)

На рисунках 3.а)-3.в) представлены проекции на те же плоскости фрагмента 1-D полосы аттракторов системы (2) с начальными условиями $(0.34, 0.4, -0.6, 0)$ и $(0.34 \pm 1.5, 0.4, -0.6, 0 \pm 1.5)$.

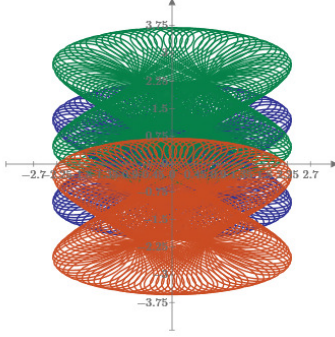


Рис. 3.а)

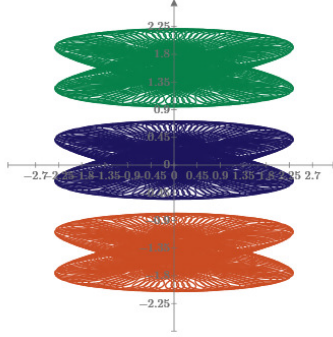


Рис. 3.б)

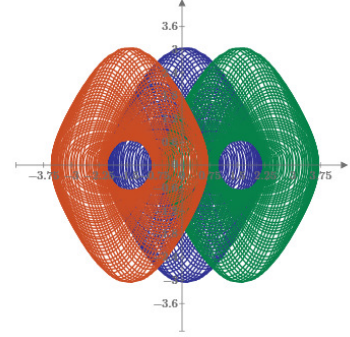


Рис. 3.в)

3. Новая система с континуумом скрытых аттракторов

В работе [11] построена система третьего порядка

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y, \\ \dot{y} &= -x - y \arctg(50z), \\ \dot{z} &= y^4 - \frac{a}{1 + x^8}.\end{aligned}\tag{3}$$

Эта система не имеет состояний равновесия и содержит скрытый мультифрактальный аттрактор, размерность Каплана-Йорке которого «почти 3». Бассейном притяжения этого аттрактора является почти все фазовое пространство, за исключением аналитического решения системы $x(t) \equiv y(t) \equiv 0, z = z(0) - at$.

На основе этой системы сконструируем систему 4-го порядка так, чтобы она обладала континуумом сосуществующих аттракторов. Рассмотрим систему

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y, \\ \dot{y} &= -b(x - u) - y \arctg(50z), \\ \dot{z} &= y^4 - \frac{a}{1 + (x - u)^8}, \\ \dot{u} &= cy.\end{aligned}\tag{4}$$

Если в системе (4) произвести замену $x \rightarrow (-x), y \rightarrow (-y), u \rightarrow (-u)$, то она не изменится. Поэтому вместе с любым аттрактором системы существует центрально-симметричный ему аттрактор в проекциях на плоскости $(x, y), (x, u), (y, u)$, а также пара симметричных аттракторов в проекциях на плоскости (x, z) и (y, z) . Кроме того очевидно, что проекция любого аттрактора на плоскость (x, u) есть отрезок прямой, и система (4) содержит континуум аналитических решений $x(t) \equiv u(t) \equiv d, y(t) \equiv 0, z = z(0) - at, d \in (-\infty, \infty)$.

Выберем следующие значения параметров системы: $a = 2, b = 2.3, c = 0.1$. Исчерпывающий компьютерный поиск позволил найти пару аттракторов (циклов) системы (4) с начальными условиями $(\pm 0.7947, \mp 0.0326, -1.4305, \pm 0.0791)$ (рис.4; проекция на плоскость (x, z)). Теперь проинтегрируем систему (4), увеличив первую и последнюю координаты начальных условий, например, на ± 0.7 . Тогда при интегрировании системы с начальными условиями $(\pm 0.7947 \pm 0.7, \mp 0.0326, -1.4305, \pm 0.0791 \pm 0.7)$ появляются еще две пары циклов, полученных сдвигом найденных ранее циклов по осям x и u (рис.5; проекция на плоскость (x, z)).

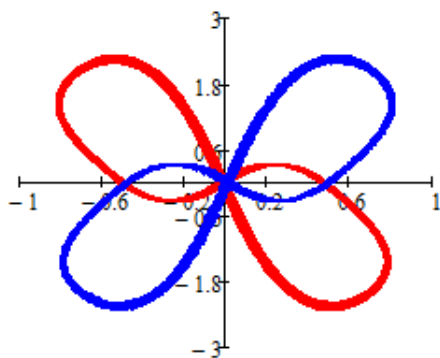


Рис. 4

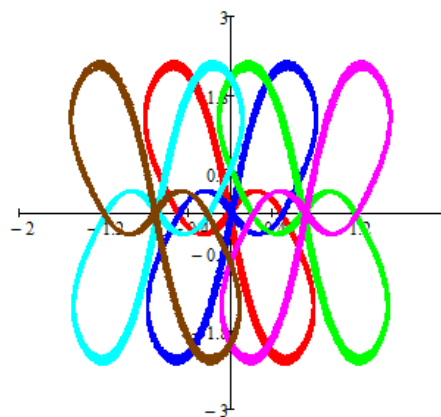


Рис. 5

Бассейны притяжения циклов, представленных на рисунке 5, являются чрезвычайно маленькими. В то же время оказывается, что почти каждая траектория системы (4) с начальным условием, не принадлежащим бассейнам притяжения циклов, притягивается к некоторому хаотическому аттрактору. Таких аттракторов несчетное множество. Все эти аттракторы могут быть получены сдвигом любого из них на одну и ту же величину в направлении осей x и u . На рисунке 6 приведен аттрактор системы (4) с начальным условием $(2, 1, 1, 2)$. На рисунке 7 фрагмент проекции на плоскость (x, y) семейства хаотических аттракторов, визуализированных при интегрировании с начальными условиями $(6, 1, 1, 6)$, $(-2, 1, 1, -2)$, $(-6, 1, 1, -6)$. Отметим, что система (4) не имеет состояний равновесия, поэтому все ее аттракторы являются скрытыми [11].

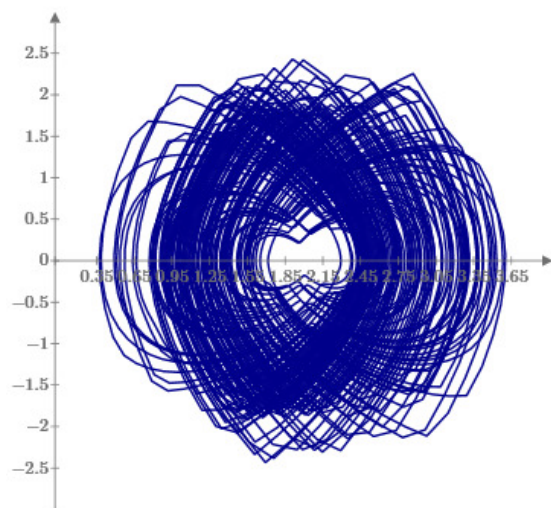


Рис. 6

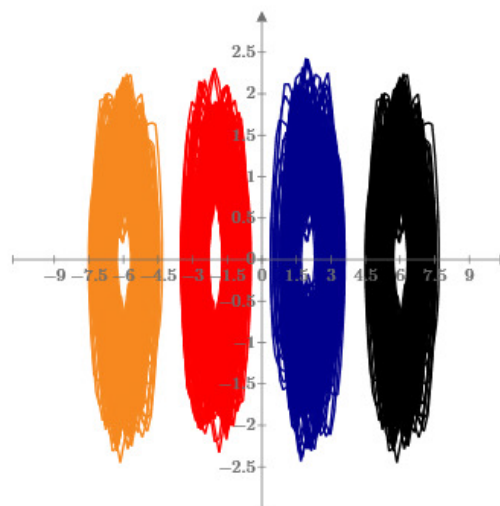


Рис. 7

4. Генерирование 2-D решетки из полос скрытых аттракторов

Система (4) является смещаемой по переменной y (variable-boostable system [15]). Последнее обстоятельство позволяет заменить в системе (4) переменную y на периодическую функцию этой переменной так, чтобы новая система обладала 2-D решеткой полос сосуществующих аттракторов. Эта решетка будет представлять собой объединение счетного числа 1-D полос, каждая из которых содержит континуум сосуществующих аттракторов, аналогичных аттракторам, представленным на рисунках 5 и 7. Рассмотрим систему

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \operatorname{tg} \frac{y}{2}, \\ \dot{y} &= -b(x - u) - \operatorname{tg} \frac{y}{2} \arctg(50z), \\ \dot{z} &= \left(\operatorname{tg} \frac{y}{2}\right)^4 - \frac{2}{1 + (x - u)^8}, \\ \dot{u} &= c \operatorname{tg} \frac{y}{2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Легко убедиться, что циклы системы (5) также являются циклами системы (4). В то же время, как показано в [10], эта система также содержит циклы, например, с начальными условиями $(\pm 0.7947 \pm 0.7, \mp 0.0326 + 2\pi k, -1.4305, \pm 0.0791 \pm 0.7)$, $k \in \mathbb{Z}$, то есть она содержит счетное число полос, каждая из которых в свою очередь содержит континуум скрытых циклов. Система (5), кроме того, содержит счетное число полос скрытых хаотических аттракторов. Продемонстрируем на примере феномен самовоспроизведения системой (5) 2-D решетки, состоящей из полос, каждая из которых содержит континуум хаотических аттракторов.

Численное интегрирование системы (5) с начальным условием $(1, 1, 0, 1)$ выводит нас на хаотический аттрактор, представленный на рисунке 8 (проекция на плоскость (y, u)).

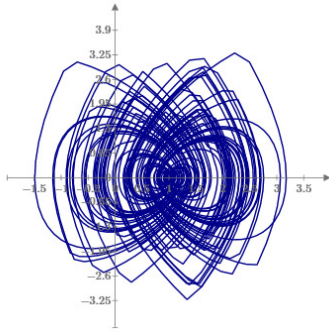


Рис. 8

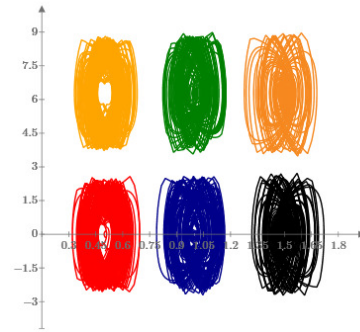


Рис. 9

Этот аттрактор имеет показатели Ляпунова $\Lambda_1 = 0.215$, $\Lambda_2 = -0.009$, $\Lambda_3 = -0.011$, $\Lambda_4 = -0.235$, и размерность Каплана–Йорке $D_{KY} = 3.831$. На рисунке 9 представлен фрагмент 2-D решетки хаотических аттракторов системы (5), полученный «размножением» аттрактора, представленного на рисунке 8. Эти аттракторы визуализированы путем интегрирования с системы начальными условиями $(1, 1, 0, 1)$, $(1, 2\pi + 1, 0, 1)$, $(1.5, 1, 0, 1.5)$, $(0.5, 1, 0, 0.5)$, $(1.5, 2\pi + 1, 0, 1.5)$, $(0.5, 2\pi + 1, 0, 0.5)$ (проекция на плоскость (y, u)).

5. Заключение

Путем расширения размерности трехмерных систем, обладающих хаотическими аттракторами, строятся системы четвертого порядка, содержащие континуум сосуществующих скрытых периодических и хаотических аттракторов. Такого эффекта удастся добиться за счет того, что положение аттрактора в фазовом пространстве сконструированных систем определяется только выбором начального условия в области его притяжения. Континуум сосуществующих хаотических режимов динамической системы порождает чрезвычайную неопределенность и непредсказуемость. Последнее обстоятельство открывает, например, широкие возможности для использования такой системы для скрытия передаваемой информации при организации защищенной связи в системах коммуникаций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peng H., Ji'e M., Du X., Duan S., Wang L. Design of pseudorandom number generator based on a controllable multi-double-scroll chaotic system // *Chaos Solitons Fractals*. 2023. Vol. 174. Art. no. 113803.
2. Singh A. K., Chatterjee A., Singh K. An image security model based on chaos and DNA cryptography for IIoT images // *IEEE Trans. Industr. Inf.* 2022. Vol. 19, №2. P. 1957–1964.
3. Petavratzis E., Volos C., Stouboulos I. Experimental study of terrain coverage of an autonomous chaotic mobile robot // *Integration*. 2023. Vol. 90. P. 104–114.
4. Li H., Hua Z., Bao H., Zhu L., Chen M., Bao B. Two-Dimensional Memristive Hyperchaotic Maps and Application in Secure Communication // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2021. Vol. 68, №10. P. 9931–9940.
5. Zhong Q., Ren J., Liu B., Li Y., Guo Z., Mao Y., Wu X., Ullah R., Wu Y., Zhao L., Sun T. High-security UFMC optical transmission system of seven-core fiber based on updating the 3D discrete chaotic model // *Opt. Lett.* 2022. Vol. 47. P. 2254–2257.
6. Tamba V. K., Biamou A. L. M., Tagne F. K., Takougang A. C. N., Fotsin H. B. Hidden extreme multistability in a smooth flux-controlled memristor based four-dimensional chaotic system and its application in image encryption // *Phys. Scr.* 2024. Vol. 99, №2. Art. no. 025210.
7. Sprott J. C., Jafari S., Abdul J. M. K., Kapitaniak T. Megastability: Coexistence of a countable infinity of nested attractors in a periodically-forced oscillator with spatially-periodic damping // *Eur. Phys. J. Special Topics*. 2017. Vol. 226. P. 1979–1985.
8. Burkin I. M., Kuznetsova O. I. On some methods for generating extremely multistable systems // *Journal of Physics: Conf. Series*. 2019. Vol. 1368. Art. no. 042050.
9. Burkin I. M., Kuznetsova O. I. Generation of Extremely Multistable Systems Based on Lurie Systems // *Vestnik St. Petersburg University, Mathematics*. 2019. Vol. 52, №4. P. 342–348.
10. Буркин И. М., Кузнецова О. И. Конструирование мегастабильных систем с многомерной решеткой хаотических аттракторов // *Чебышевский сборник*. 2021. Т. 22, Вып. 1, С. 105–117.
11. Буркин И. М., Кузнецова О. И. Новая мегастабильная система с 2-D полосой скрытых аттракторов и аналитическими решениями // *Чебышевский сборник*. 2021. Т. 22, Вып. 4, С. 360–368.

12. Zhang S., Li C., Zheng J., Wang X., Zeng Z., Chen G. Generating Any Number of Diversified Hidden Attractors via Memristor Coupling // *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2021. Vol. 68, №12. P. 4945-4956.
13. Zhang S., Zheng J., Wang X., Zeng Z. A novel no-equilibrium HR neuron model with hidden homogeneous extreme multistability // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2021. Vol. 145. Art. no. 110761.
14. Ramakrishnan B., Ahmadi A., Nazarimehr F., Natiq H., Jafari S., Hussain I. Oyster oscillator: a novel megastable nonlinear chaotic system // *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2022. Vol. 231. P. 2143–2151.
15. Chunbiao L., Sprott, J. C. Variable-boostable chaotic flows // *Optik*. 2016. Vol.127. №22. P. 10389-10398.
16. Chunbiao L., Tengfei L., Zuohua L. Offset parameter cancellation produces countless coexisting attractors // *Chaos*. 2022. Vol. 32. Art. no. 121104.

REFERENCES

1. Peng, H., Ji'e, M., Du, X., Duan, S. & Wang, L. 2023, "Design of pseudorandom number generator based on a controllable multi-double-scroll chaotic system", *Chaos Solitons Fractals*, vol. 174, art. no. 113803.
2. Singh, A. K., Chatterjee, A. & Singh K. 2022, "An image security model based on chaos and DNA cryptography for IIoT images", *IEEE Trans. Industr. Inf.*, vol. 19, no. 2, pp. 1957–1964.
3. Petavratzis, E., Volos, C. & Stouboulos, I. 2023, "Experimental study of terrain coverage of an autonomous chaotic mobile robot", *Integration*, vol. 90, pp. 104–114.
4. Li, H., Hua, Z., Bao, H., Zhu, L., Chen M. & Bao B. 2021, "Two-Dimensional Memristive Hyperchaotic Maps and Application in Secure Communication", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 10, pp. 9931–9940.
5. Zhong, Q., Ren, J., Liu, B., Li, Y., Guo, Z., Mao, Y., Wu, X., Ullah, R., Wu, Y., Zhao, L. & Sun T. 2022, "High-security UPMC optical transmission system of seven-core fiber based on updating the 3D discrete chaotic model", *Opt. Lett.*, vol. 47, pp. 2254–2257.
6. Tamba, V. K., Biamou, A. L. M., Tagne, F. K., Takougang, A. C. N. & Fotsin H. B. 2024, "Hidden extreme multistability in a smooth flux-controlled memristor based four-dimensional chaotic system and its application in image encryption", *Phys. Scr.*, vol. 99, no. 2, art. no. 025210.
7. Sprott, J. C., Jafari, S., Abdul, J. M. K. & Kapitaniak, T. 2017, "Megastability: Coexistence of a countable infinity of nested attractors in a periodically-forced oscillator with spatially-periodic damping", *Eur. Phys. J. Special Topics*, vol. 226. pp. 1979–1985.
8. Burkin, I. M. & Kuznetsova, O. I. 2019, "On some methods for generating extremely multistable systems", *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1368, art. no. 042050.
9. Burkin, I. M. & Kuznetsova, O. I. 2019, "Generation of Extremely Multistable Systems Based on Lurie Systems", *Vestnik St. Petersburg University, Mathematics*, vol. 52, no. 4, pp. 342–348.
10. Burkin, I. M. & Kuznetsova, O. I. 2021, "Designing megastable systems with multidimensional lattice of chaotic attractors", *Chebyshevskii Sb.*, vol. 22, no. 1, pp. 105–117.

11. Burkin, I. M. & Kuznetsova, O. I. 2021, “New megastable system with 2-D strip of hidden attractors and analytical solutions “, *Chebyshevskii Sb.*, vol. 22, no. 4, pp. 360–368.
12. Zhang, S., Li, C., Zheng, J., Wang, X., Zeng, Z. & Chen, G. 2021, “Generating Any Number of Diversified Hidden Attractors via Memristor Coupling“, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 68, no. 12, pp. 4945-4956.
13. Zhang, S., Zheng, J., Wang, X. & Zeng, Z. 2021, “A novel no-equilibrium HR neuron model with hidden homogeneous extreme multistability“, *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 145, art. no. 110761.
14. Ramakrishnan, B., Ahmadi, A., Nazarimehr, F., Natiq, H., Jafari, S. & Hussain, I. 2022, “Oyster oscillator: a novel megastable nonlinear chaotic system“, *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, vol. 231, pp. 2143–2151.
15. Chunbiao, L. & Sprott, J. C. 2016, “Variable-boostable chaotic flows“, *Optik*, vol. 127, no. 22, pp. 10389-10398.
16. Chunbiao, L., Tengfei, L. & Zuohua, L. 2022, “Offset parameter cancellation produces countless coexisting attractors“, *Chaos*, vol. 32, art. no. 121104.

Получено: 11.10.2024

Принято в печать: 10.03.2025