

Влияние фильтрации сигнала на характеристики перемежающегося поведения в системе однонаправлено связанных генераторов на туннельном диоде

М. О. Журавлев^{1,2,*}, А. О. Сельский^{1,2}, А. А. Короновский^{1,2}, О. И. Москаленко^{1,2}, А. Е. Храмов^{1,2}

¹Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, факультет нелинейных процессов, кафедра физики открытых систем
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, к. 8

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарин Ю. А., факультет экологии и сервиса, кафедра геоэкологии и инженерной геологии
Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, 5-й учебный корпус

Проведено изучение перемежающегося поведения, которое может возникать в хаотических системах при фильтрации сигналов, вблизи границы возникновения фазовой хаотической синхронизации. В рамках проведенных исследований установлено, что для системы однонаправлено связанных генераторов на туннельном диоде возможно одновременное существование перемежаемости «игольного ушка» и перемежаемости «кольца» вблизи границы фазовой хаотической синхронизации при использовании фильтра с определенными параметрами.

PACS: 05.45.Tr, 05.45.Xt УДК: 530.182

Ключевые слова: перемежаемость, фильтрация сигнала, фазовая хаотическая синхронизация.

В рамках многочисленных исследований нелинейных динамических систем было установлено, что перемежающийся тип поведения в таких системах является достаточно характерным. В частности, перемежаемость можно наблюдать при переходе от периодических колебаний к хаотическим, а также вблизи границ возникновения различных режимов хаотической синхронизации связанных осцилляторов.

В настоящее время создана классификация перемежаемости, в частности, выделяют перемежаемости типов I-III [1], on-off перемежаемость [2], перемежаемость игольного ушка [3], перемежаемость кольца [4]. Однако, при всей схожести различных типов перемежаемости (наличие во временном ряду двух различных режимов, чередующихся друг с другом с течением времени), при всем при этом каждый тип обладает своими особенностями и характеристиками (зависимостью средней длительности ламинарных фаз от управляющего параметра и распределением длительностей ламинарных фаз при фиксированном значении управляющих параметров). Кроме этого, необходимо отметить, что механизмы, приводящие к возникновению перемежающегося поведения, для каждого типа также различны.

В рамках последних исследований было показано, что в нелинейных динамических системах возможно существование более сложного типа поведения, которое заключается в одновременном существовании двух различных типов перемежаемости. Такой тип поведения получил название «перемежаемостиперемежаемостей». Для нелинейных динамических систем такой тип поведения проявляется в том, что в исследуемой системе одновременно существуют два различных ме-

ханизма возникновения турбулентных участков поведения, в результате чего в системе существуют одновременно два различных типа перемежаемости.

В последнее время исследованию «перемежаемостей» уделяется большое внимание, в частности, в работе [5] была проиллюстрирована возможность одновременного существования перемежаемости «кольца» и перемежаемости «игольного ушка» на примере однонаправлено связанных систем Ресслера, а для неавтономного осциллятора Ван дер Поля при наличии шума была установлена возможность сосуществования перемежаемости «кольца» и перемежаемости типа I с шумом [6]. Стоит отметить, что сосуществование двух различных типов перемежающегося поведения может быть обнаружено при рассмотрении динамики системы на определенных временных масштабах, вводимых в рассмотрение с помощью непрерывного вейвлетного преобразования. Иными словами, при рассмотрении поведения модельных систем, как правило, должен быть выбран определенный масштаб наблюдения, чтобы обнаружить явление «перемежаемостей перемежаемостей» [7]. В то же самое время, для реальных систем вполне возможна ситуация, когда «перемежаемость перемежаемостей» будет реализовываться «автоматически», без какого-либо выбора масштаба наблюдения со стороны исследователя. Известно, что непрерывное вейвлетное преобразование с материнским вейвлетом Морле, используемое для изучения поведения систем на различных временных масштабах и детектирования явления синхронизации временных масштабов [8], может рассматриваться как фильтр, действующий на анализируемый сигнал [9]. Так как при изучении реальных систем вполне возможна ситуация, когда анализируемый сигнал, демонстрирующий некоторый тип перемежающегося поведения, подвергается предварительной фильтрации либо фильтром, входящим в состав изучаемой системы, ли-

*E-mail: zhuravlevmo@gmail.com

бо фильтром, входящим в состав «канала связи», обеспечивающего передачу сигнала, то в этом случае существует возможность наблюдать явление «перемежаемости перемежаемостей» даже без рассмотрения динамики системы на различных временных масштабах.

В настоящей работе представлено изучение перемежающегося поведения, которое может возникать в хаотических системах при фильтрации сигналов, вблизи границы возникновения фазовой хаотической синхронизации. В рамках проведенных исследований установлено, что для системы однонаправлено связанных генераторов на туннельном диоде [10] возможно одновременное существование перемежаемости «игольного ушка» и перемежаемости «кольца» вблизи границы фазовой хаотической синхронизации при использовании фильтра с определенными параметрами. Полученные

результаты сопоставлены с ранее предложенной теорией данного типа перемежаемости, получено хорошее соответствие теории и численных результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного задания высшим учебным заведениям на 2014 год и плановый период 2015 и 2016 годов в части проведения научно-исследовательских работ (проект № 1045), Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (проект МК-807.2014.2) и фонда некоммерческих программ «Династия».

- [1] Berge P., Pomeau Y., Vidal Ch. L'ordredans le chaos. (Hermann, Paris, 1988).
 [2] Platt N. et al. Phys. Rev. Lett. **70**, N 3. P. 279. (1993).
 [3] Pikovsky A. S. et al. Phys. Rev. Lett. **79**, N 1. P. 47. (1997).
 [4] Hramov A. E. et al. Phys. Rev. Lett. **97**. P. 114101. (2006).
 [5] Журавлев М. О. и др. Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика. **19**, № 1. С. 109. (2011).
 [6] Журавлев М. О. и др. Изв. РАН. Сер. физическая. **76**,

- № 12. С. 1503. (2012).
 [7] Zhuravlev M. O. et al. Phys. Rev. E. **83**. P. 027201. (2011).
 [8] Hramov A. E. et al. CHAOS. **14**, N 3. P. 603. (2004).
 [9] Quiroga Q. R. et al. Phys. Rev. E. **65**. P. 041903. (2002).
 [10] Пиковский А. С. и др. Докл. ДАН СССР. **239**, № 2. С. 301. (1978).

The influence of the signal filtration on the characteristics of intermittent behavior in the system of unidirectionally coupled tunnel diode generators

M. O. Zhuravlev^{1,2,a}, A. O. Selskii^{1,2}, A. A. Koronovskii^{1,2}, O. I. Moskalenko^{1,2}, A. E. Hramov^{1,2}

¹Department of physics of open systems, Faculty of nonlinear processes, Saratov State University
Saratov 410012, Russia

²Department of geocology and engineering geology, Faculty of ecology and service, Saratov State Technical University
Saratov 410054, Russia

E-mail: ^azhuravlevmo@gmail.com

The intermittent behavior that can occur in the chaotic systems with the signal filtration near the boundary of the phase chaotic synchronization regime onset is studied. In the framework of the researches carried out we have found that in the system of unidirectionally coupled generators on the tunnel diode the eyelet and ring intermittencies are possible to exist simultaneously near the boundary of the phase chaotic synchronization with the use of the filter with certain parameters.

PACS: 05.45.Tr, 05.45.Xt

Keywords: intermittency, signal filtration, phase chaotic synchronization.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Журавлев Максим Олегович — канд. физ.-мат. наук, ассистент; тел. (8452) 99-85-54, e-mail: zhuravlevmo@gmail.com.
2. Сельский Антон Олегович — канд. физ.-мат. наук, инженер; тел. (8452) 99-85-54, e-mail: feanorberserk@gmail.com.

3. Короновский Алексей Александрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел. (8452) 51-42-94, e-mail: alexey.koronovskii@gmail.com.
4. Москаленко Ольга Игоревна — канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент; тел. (8452) 51-21-11, e-mail: o.i.moskalenko@gmail.com.
5. Храмов Александр Евгеньевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел. (8452) 99-85-59, e-mail: hramovae@gmail.com.