

Взаимосвязь порога синхронизации с коэффициентом эффективной диффузии мгновенной фазы хаотических автоколебаний

А. С. Захарова, Т. Е. Вадивасова, В. С. Анищенко

Саратовский государственный университет
410026, Россия, Саратов, ул. Астраханская, 83

E-mails: anya@chaos.ssu.runnet.ru, tanya@chaos.ssu.runnet.ru, wadim@chaos.ssu.runnet.ru

Исследуется взаимосвязь коэффициента эффективной диффузии мгновенной фазы хаотических автоколебаний с порогом синхронизации. Показано, что коэффициент эффективной диффузии фазы, в отличие от старшего ляпуновского показателя, позволяет различить области спирального и винтового хаоса. Установлено, что порог синхронизации хаоса по порядку величины соответствует значению коэффициента диффузии, отнесенному к средней частоте автоколебаний.

Ключевые слова: хаотические автоколебания, порог синхронизации, коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы

A. S. Zakharova, T. E. Vadivasova, V. S. Anishchenko

The interconnection of synchronization threshold with effective diffusion coefficient of instantaneous phase of chaotic self-sustained oscillations

We investigate effective diffusion coefficient of instantaneous phase of chaotic self-sustained oscillations and its connection with synchronization threshold. It is showed that effective phase diffusion coefficient in contrast to maximal Lyapunov exponent allows to distinguish the regions of spiral and funnel attractor. We ascertain that synchronization threshold of chaos is in order-of-magnitude agreement with the value of diffusion coefficient divided by the mean frequency of self-sustained oscillations.

Keywords: chaotic self-sustained oscillations, synchronization threshold, effective diffusion coefficient of instantaneous phase

Mathematical Subject Classifications: 39Axx, 93D05

Введение

Синхронизация — одно из важнейших нелинейных явлений, характерных для автоколебательных систем, в том числе для генераторов хаоса [1, 2]. Однако такое классическое проявление синхронизации, как захват фазы и частоты, наблюдается не для любых хаотических генераторов, а только для генераторов в режиме так называемого фазово-когерентного (спирального) хаоса. Такой генератор во многом подобен генератору периодических колебаний при наличии шума. В спектре мощности фазово-когерентного хаоса имеется узкая линия с максимумом на средней частоте автоколебаний, ширина которой определяется коэффициентом эффективной диффузии мгновенной фазы B_{eff} [1–4]. Для синхронизации хаотических автоколебаний, так же как и для синхронизации генератора с шумом, характерно существование порога синхронизации. При вынужденной синхронизации — это минимальное значение амплитуды внешнего воздействия, при котором становится возможным наблюдать эффект захвата фазы хаотических автоколебаний. При взаимной синхронизации порогом служит минимальное значение параметра связи.

Вопрос о том, чем определяется порог синхронизации хаоса, неоднократно обсуждался в литературе [5–7]. В работе [6] существование порога синхронизации объясняется сложной структурой хаотического аттрактора, включающей множество седловых периодических орбит, встроенных в аттрактор. Периоды этих орбит не являются строго кратными, и соответствующие им основные частоты несколько различаются. Для каждой такой орбиты имеется своя область синхронизации (например, при изменении амплитуды и частоты внешнего воздействия), имеющая форму так называемого «языка Арнольда». Из-за различия частот седловых орбит разные языки опираются на разные точки на оси абсцисс. Пересечение таких языков образует область, где частоты всех периодических орбит, встроенных в аттрактор, оказываются захваченными. Область синхронизации, таким образом, не опирается на ось абсцисс, а отстоит от нее на некоторую величину, определяющую порог синхронизации. Траектория на хаотическом аттракторе время от времени пребывает в окрестности той или иной седловой орбиты, что приводит к флуктуациям мгновенной частоты и мгновенной фазы хаотических автоколебаний. Эти флуктуации должны быть тем существеннее, чем больше различаются частоты седловых орбит. Коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы B_{eff} характеризует интенсивность флуктуаций фазы. Таким образом, можно предположить, что порог синхронизации будет увеличиваться с ростом коэффициента B_{eff} .

Целью данной работы является исследование коэффициента эффективной диффузии мгновенной фазы как меры сложности хаотических автоколебаний и установление взаимосвязи между ним и порогом синхронизации хаоса.

1. Исследуемые модели и рассчитываемые характеристики

В качестве базовых моделей хаотических автогенераторов были выбраны осциллятор Ресслера [8] и генератор с инерционной нелинейностью Анищенко–Астахова [9]. Осциллятор Ресслера задается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -y - z, \\ \dot{y} &= x + \alpha y, \\ \dot{z} &= \beta + z(x - m).\end{aligned}\tag{1.1}$$

Значения параметров α и β в ходе проведения численных экспериментов выбирались следующими: $\alpha = \beta = 0.2$. Параметр m выступает в качестве управляющего. Уравнения генератора

с инерционной нелинейностью имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= mx + y - xz - \delta x^3 \\ \dot{y} &= -x \\ \dot{z} &= -gz + g\frac{x}{2}(x + |x|), \end{aligned} \tag{1.2}$$

где $g = 0.21$, $\delta = 0.0001$, m — управляющий параметр.

Вычислялись следующие характеристики: мгновенная фаза хаотических колебаний, средняя частота, коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы, старший ляпуновский показатель, спектральная плотность мощности. Мгновенная фаза хаотических колебаний $\Phi(t)$ определялась по формуле:

$$\Phi(t) = \arctg \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \pm \pi k, \quad k = 0, 1 \dots \tag{1.3}$$

Средняя частота есть

$$\Omega = \langle \dot{\Phi}(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\Phi(t_0 + T) - \Phi(t_0)}{T}. \tag{1.4}$$

При расчете спектральной плотности мощности использовалось быстрое преобразование Фурье с последующим усреднением результатов по ансамблю независимых массивов данных (обычно не менее 100 усреднений).

Коэффициент эффективной диффузии B_{eff} является оценкой скорости линейного роста дисперсии мгновенной фазы во времени. Для его расчета численно строилась зависимость дисперсии фазы σ_{Φ}^2 от времени t и по методу наименьших квадратов находилась ее линейная аппроксимация: $\sigma_{appr}^2 = at + b$. Тогда коэффициент эффективной диффузии фазы определяется как $B_{eff} = a/2$.

2. Коэффициент диффузии и старший ляпуновский показатель для режимов спирального и винтового хаоса

Одним из распространенных типов негиперболического хаотического аттрактора является спиральный аттрактор [1, 3, 4, 10]. Траектории на спиральном аттракторе характеризуются высокой степенью фазовой когерентности, т. е. в определенном образом выбранной проекции фазовые траектории совершают почти регулярное вращение вокруг точки неустойчивого равновесия. Режим спирального аттрактора, его спектрально-корреляционные характеристики и характеристики динамики мгновенной фазы, в том числе и при воздействии аддитивного белого шума, на сегодняшний день исследованы в ряде работ [4, 11–17]. Коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы можно рассматривать как меру фазовой некогерентности траекторий на аттракторе. В режиме спирального аттрактора значения B_{eff} очень малы. Режим винтового аттрактора характеризуется более сильной некогерентностью, что обусловлено нерегулярностью вращения фазовой траектории вокруг состояния равновесия в начале координат. Соответственно значения B_{eff} резко возрастают.

Важным свойством коэффициента B_{eff} является то, что он определяет ширину основной спектральной линии хаотических автоколебаний. Спектральная плотность мощности автоколебаний в режиме спирального аттрактора имеет максимум на частоте, равной средней частоте Ω . В окрестности максимума форма спектральной линии близка к лоренциану с шириной, равной $2B_{eff}$:

$$S(\omega) = \frac{2CB_{eff}}{B_{eff}^2 + (\omega - \Omega)^2}, \tag{2.1}$$



где C — константа, определяемая дисперсией колебаний, связанной с флуктуациями фазы. Ширина основной спектральной линии хаотических автоколебаний является не менее важной характеристикой «степени хаотичности», чем сумма положительных ляпуновских показателей (энтропия Колмогорова). Так, возможность частотно-фазовой синхронизации хаотических автогенераторов ограничивается именно шириной спектра. С ростом ширины основной спектральной линии эффект синхронизации перестает наблюдаться [14]. Следует отметить, что взаимосвязь ляпуновских показателей со спектрально-корреляционными свойствами хаоса пока не установлена и, по-видимому, является достаточно сложной и неоднозначной [4, 17, 18].

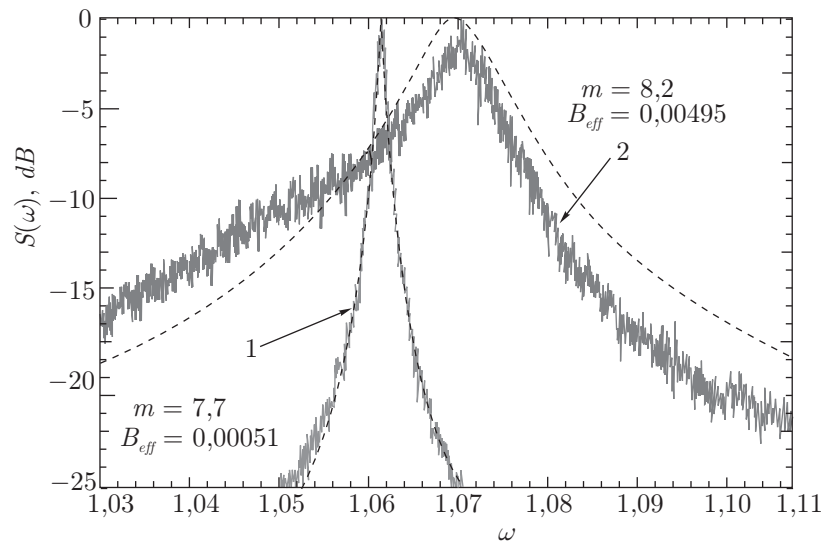


Рис. 1. Фрагменты нормированных спектров мощности колебаний в системе (1.1) в режиме спирального аттрактора ($m = 7.7$) (кривая 1) и винтового хаоса ($m = 8.2$) (кривая 2) и соответствующие аппроксимации основной спектральной линии по формуле (2.1) (пунктир)

На рис. 1 представлены фрагменты спектров мощности колебаний в системе Ресслера для разных режимов автоколебаний: спирального и винтового. Для спирального аттрактора аппроксимация (2.1) дает очень хороший результат. В режиме винтового аттрактора она не является столь же точной, однако значение B_{eff} все же сопоставимо с полушириной спектральной линии, которая в режиме винтового аттрактора оказывается заметно больше, чем в режиме спирального аттрактора.

Рассмотрим поведение коэффициента диффузии автономной хаотической системы в зависимости от управляющего параметра для двух моделей: осциллятора Ресслера и генератора с инерционной нелинейностью. На рис. 2а–2б совместно представлены результаты расчета приведенного коэффициента эффективной диффузии мгновенной фазы B_{eff}/Ω и старшего ляпуновского показателя. Для удобства сравнения значения ляпуновского показателя уменьшены в 10 раз.

Для обеих моделей можно выделить область спирального и винтового аттрактора. Они различаются порядком величины коэффициента диффузии, значение которого в режиме винтового аттрактора оказывается существенно больше. В то же время старший ляпуновский показатель слабо зависит от типа аттрактора.

Отсутствие четкой взаимосвязи между коэффициентом диффузии и старшим показателем Ляпунова наглядно иллюстрирует рис. 3, из которого следует отсутствие пропорциональности в зависимости B_{eff} от λ_1 .

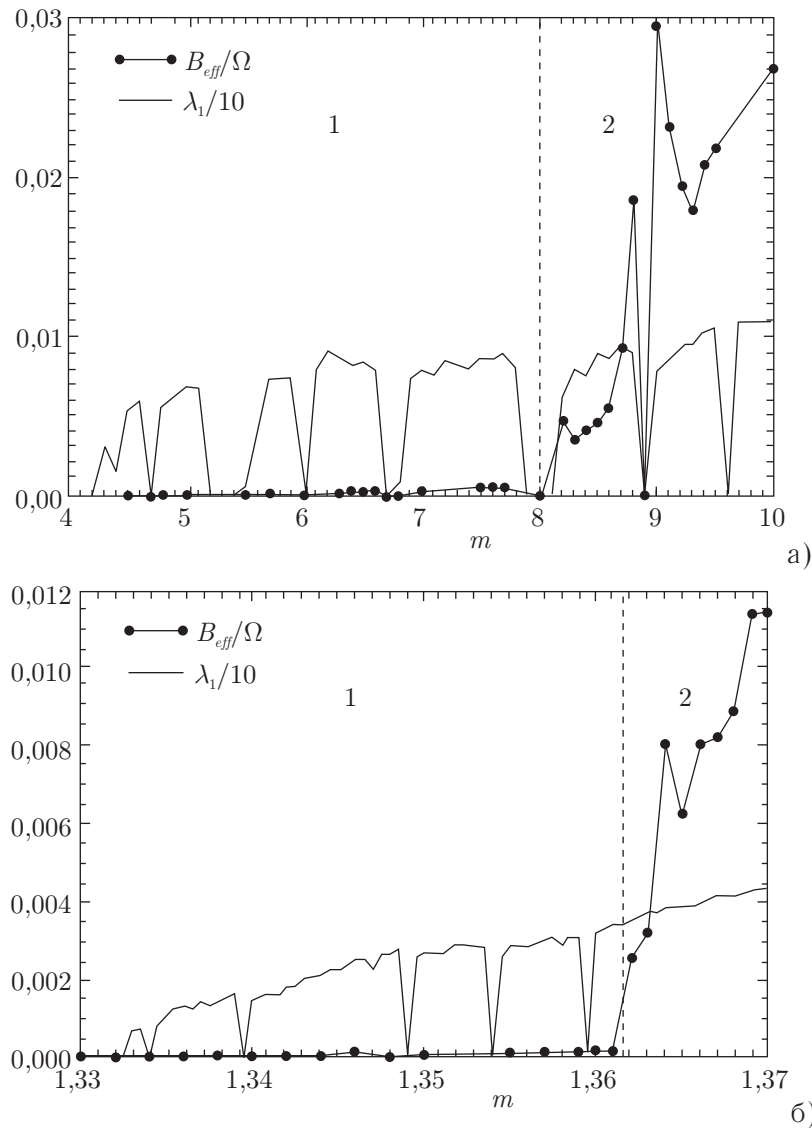


Рис. 2. Зависимость приведенного коэффициента эффективной диффузии мгновенной фазы автоколебаний B_{eff}/Ω и старшего ляпуновского показателя $\lambda_1/10$ от управляющего параметра m в системе (1.1) (а) и в системе (1.2) (б). 1 — область спирального аттрактора, 2 — область винтового аттрактора

3. Порог взаимной синхронизации

Рассмотрим систему двух связанных осцилляторов Ресслера:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= -y_1 - z_1 + \gamma(x_2 - x_1), \\
 \dot{y}_1 &= x_1 + \alpha_1 y_1, \\
 \dot{z}_1 &= \beta_1 + z_1(x_1 - m_1), \\
 \dot{x}_2 &= -(1 - \Delta)y_2 - z_2 + \gamma(x_1 - x_2), \\
 \dot{y}_2 &= (1 - \Delta)x_2 + \alpha_2 y_2, \\
 \dot{z}_2 &= \beta_2 + z_2(x_2 - m_2).
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$



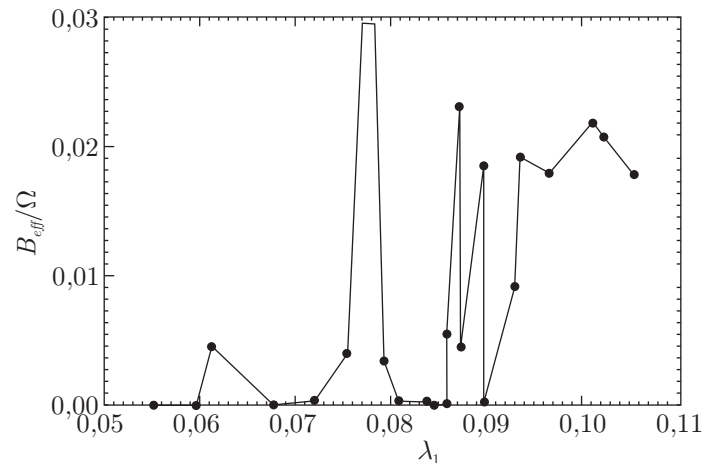


Рис. 3. Зависимость приведенного коэффициента эффективной диффузии мгновенной фазы автоколебаний в системе (1.1) от старшего ляпуновского показателя

Здесь γ — параметр связи, а параметр Δ управляет величиной расстройки спектральных максимумов хаотических автогенераторов. Рассмотрим случай, когда парциальные системы имеют одинаковые параметры за исключением частотной расстройки, т. е.: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$; $\beta_1 = \beta_2 = \beta$; $m_1 = m_2 = m$. Выберем значения параметров, соответствующие режиму развитого спирального хаоса в каждом из генераторов при отсутствии связи: $\alpha = \beta = 0.2$; $m = 6.5$. Рис. 4 иллюстрирует явление взаимной синхронизации в системе (3.1). На рис. 4а изображена область синхронизации хаоса, соответствующая захвату мгновенных фаз и средних частот хаотических автогенераторов [1, 2, 6, 19]. Можно видеть существование порогового значения коэффициента связи γ_0 . Минимум параметра связи, при котором возможна синхронизация, соответствует отсутствию частотной расстройки парциальных генераторов: $\Delta = 0$. В этом случае генераторы полностью идентичны. Соответственно их средние частоты Ω_1 и Ω_2 и коэффициенты диффузии мгновенной фазы B_{eff1} и B_{eff2} совпадают при любом значении величины коэффициента связи. Однако синхронизация подразумевает захват фаз, который наблюдается только при $\gamma \geq \gamma_0$. В этом случае коэффициент эффективной диффузии разности фаз двух генераторов B_{eff12} обращается в ноль (рис. 4б).

При изменении параметра m меняются характеристики хаоса в отдельно взятом автономном осцилляторе Ресслера, в том числе изменяется коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы (см. рис. 2а). Соответственно в системе связанных идентичных осцилляторов Ресслера (3.1) при различных значениях m порог синхронизации будет различным. В проведенных численных экспериментах величина порога определялась по временной зависимости разности фаз колебаний парциальных систем. Если величина разности фаз оставалась ограниченной (не превышала значения 2π) на достаточно длительном интервале времени (в нашем случае 10^5), то колебания считались синхронизированными. На рис. 5а представлена полученная зависимость порогового значения параметра связи от приведенного коэффициента диффузии мгновенной фазы автоколебаний в системе двух идентичных осцилляторов Ресслера. Строгой монотонности и непрерывности в этой зависимости не наблюдается, что хорошо видно на фрагменте, представленном на рис. 5б. Так, практически одному и тому же значению B_{eff} , реализуемому при двух различных значениях управляющего параметра, могут соответствовать существенно различные значения порога. С чем это связано? Очевидно, системы при различных значениях параметров могут по-разному реагировать на изменение степени связи, даже если в отсутствие связи

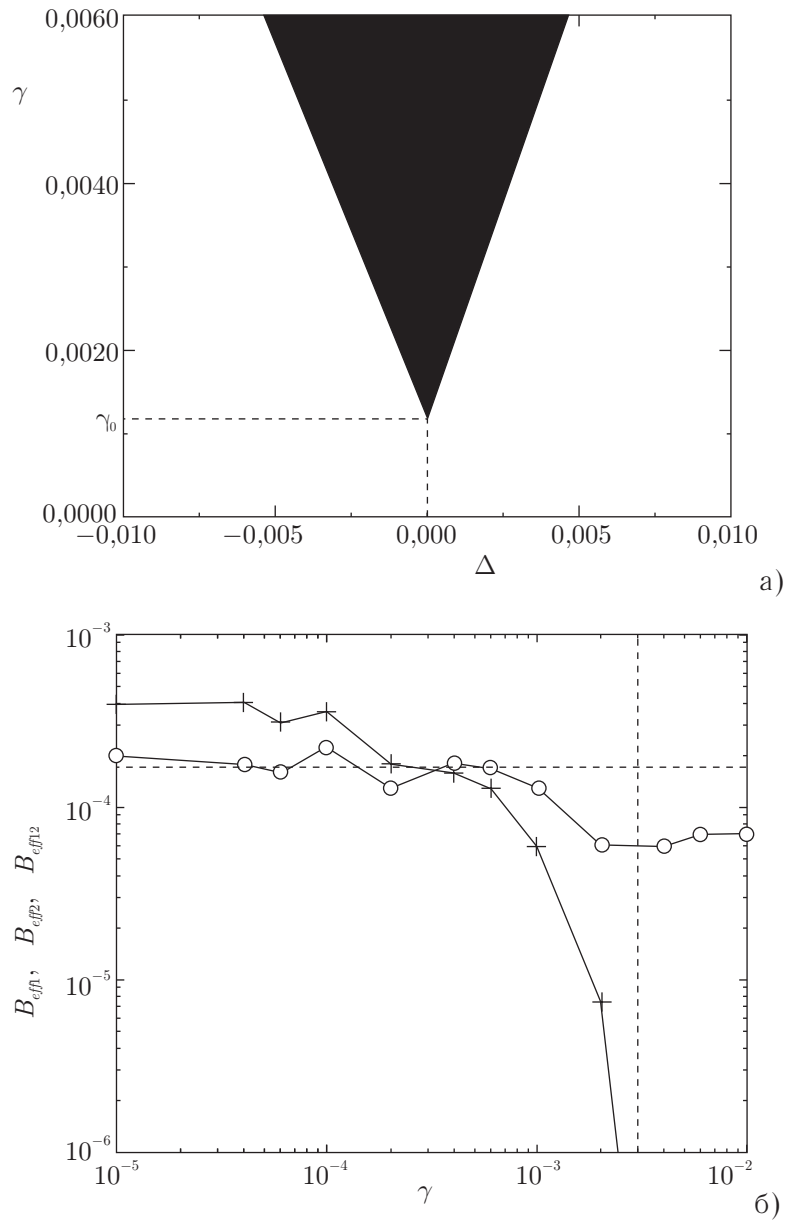


Рис. 4. Взаимная синхронизация в системе (3.1): а — область синхронизации на плоскости параметров «расстройка-связь» при $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.2$; $\beta_1 = \beta_2 = 0.2$; $m_1 = m_2 = 6.5$; б — зависимости парциальных коэффициентов эффективной диффузии фазы $B_{eff1} = B_{eff2}$ (кружки) и коэффициента эффективной диффузии разности фаз B_{eff12} (крестики) от параметра связи γ при $\Delta = 0$

характеризовались одним и тем же значением B_{eff} . Однозначного соответствия порога синхронизации и «невозмущенного» значения коэффициента эффективной диффузии не наблюдается. Тем не менее можно говорить об общей тенденции: пороговое значение γ_0 растет с увеличением диффузии фазы, и по порядку величины совпадает с B_{eff}/Ω . При этом можно выделить два участка зависимости, соответствующие области спирального и винтового хаоса. При переходе из одной области в другую происходит резкий скачок как диффузии, так и порогового значения связи.

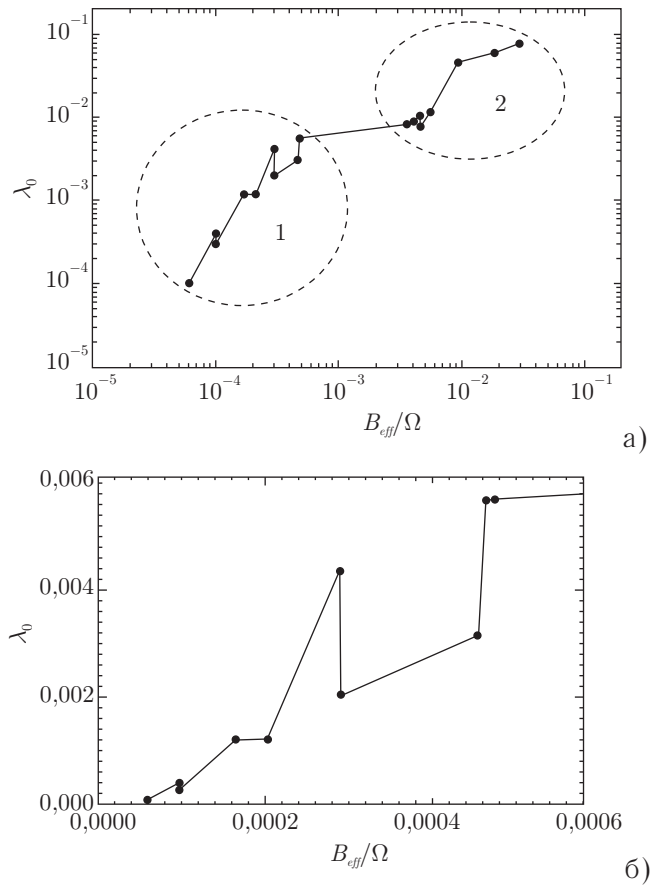


Рис. 5. а) Зависимость порогового значения параметра связи от приведенного коэффициента диффузии мгновенной фазы автоколебаний в системе двух идентичных осцилляторов Ресслера: 1 — область спирального аттрактора, 2 — область винтового аттрактора; б) — увеличенный фрагмент зависимости (а)

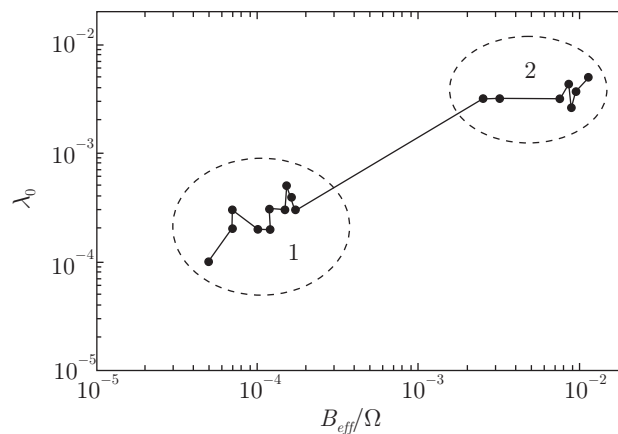


Рис. 6. Зависимость порогового значения параметра связи от приведенного коэффициента диффузии мгновенной фазы автоколебаний в системе двух идентичных генераторов с инерционной нелинейностью (3.2): 1 — область спирального аттрактора, 2 — область винтового аттрактора

Для двух связанных идентичных генераторов с инерционной нелинейностью, задаваемых системой уравнений

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= mx_1 + y_1 - x_1z_1 - \delta x_1^3 + \gamma(x_2 - x_1), \\ \dot{y}_1 &= -x_1, \\ \dot{z}_1 &= -gz_1 + g\frac{x_1}{2}(x_1 + |x_1|), \\ \dot{x}_2 &= mx_2 + y_2 - x_2z_2 - \delta x_2^3 + \gamma(x_1 - x_2), \\ \dot{y}_2 &= -x_2, \\ \dot{z}_2 &= -gz_2 + g\frac{x_2}{2}(x_2 + |x_2|), \end{aligned} \tag{3.2}$$

была получена аналогичная зависимость порога синхронизации γ_0 от приведенного коэффициента диффузии мгновенной фазы. Результаты расчета представлены на рис. 6.

4. Порог вынужденной синхронизации

Порогом вынужденной синхронизации является минимальное значение амплитуды внешнего воздействия, при котором в системе наблюдаются синхронные колебания. Для исследования порога вынужденной синхронизации был выбран осциллятор Ресслера. Внешняя гармоническая сила добавлялась в первое уравнение системы (1.1):

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -y - z + C \sin(\omega t), \\ \dot{y} &= x + \alpha y, \\ \dot{z} &= \beta + z(x - m). \end{aligned} \tag{4.1}$$

Для каждого значения управляющего параметра m рассчитывалась средняя величина амплитуды автономных колебаний $\langle A(t) \rangle$, где мгновенное значение амплитуды определяется как $A(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}$. Пороговое значение амплитуды внешней силы C_0 приводилось к величине $\langle A \rangle$. Это делалось по той причине, что значение C_0 зависит не только от интенсивности флуктуаций фазы, но и от величины самих автоколебаний. Поделив C_0 на $\langle A \rangle$, мы хотя бы отчасти избавляемся от такой зависимости и можем сравнивать величину приведенного порога вынужденной синхронизации с величиной порога взаимной синхронизации γ_0 . На рис. 7а представлена зависимость $C_0/\langle A \rangle$ от B_{eff}/Ω совместно с зависимостью γ_0 от B_{eff}/Ω , полученной для случая взаимной синхронизации. Как и в случае взаимной синхронизации, величина порога вынужденной синхронизации растет с увеличением диффузии фазы. В области винтового хаоса вынужденная синхронизация в отличие от взаимной перестает наблюдаться. В области спирального аттрактора обе представленные зависимости находятся в хорошем количественном соответствии, что видно из фрагмента, приведенного на рис. 7б.

5. Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы хаотических автоколебаний B_{eff} действительно может рассматриваться как важная характеристика хаотических автоколебаний. Значение B_{eff} позволяет различить области спирального и винтового хаотических аттракторов. Для двух рассмотренных примеров хаотических автогенераторов в режиме спирального хаоса величина B_{eff}/Ω имеет порядок 10^{-4} или меньше, а при переходе к винтовому аттрактору ее порядок возрастает до 10^{-3} и более. При этом значения старшего ляпуновского показателя в двух областях хаоса существенно не различаются. Порог синхронизации хаоса по порядку величины соответствует значению B_{eff}/Ω . При переходе к винтовому аттрактору порог, так же как и B_{eff} , резко возрастает.

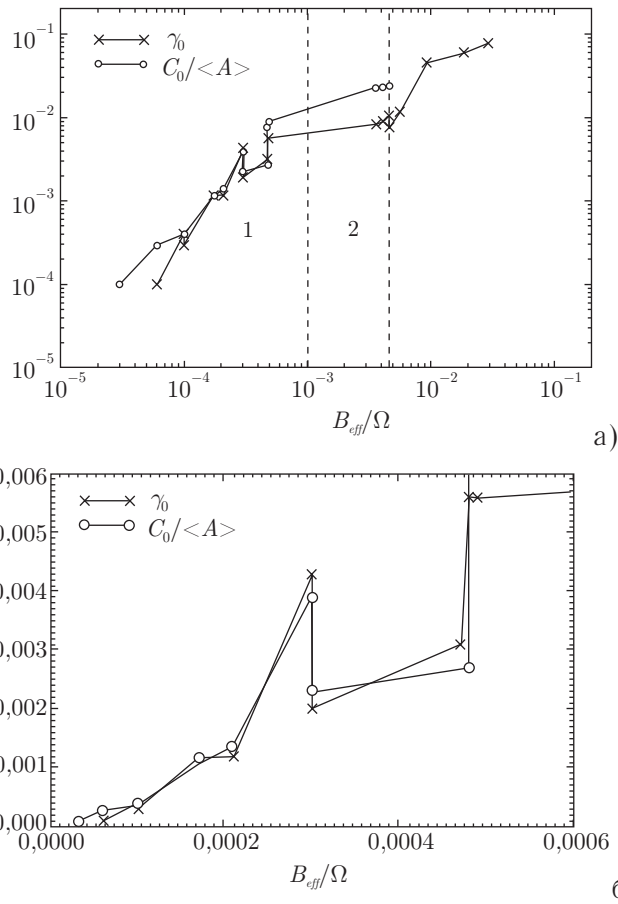


Рис. 7. а) Зависимость приведенного порогового значения амплитуды гармонического воздействия при вынужденной синхронизации осциллятора Ресслера с внешним воздействием (кружки) и порогового значения параметра связи при взаимной синхронизации идентичных осцилляторов Ресслера (крестики) от приведенного коэффициента диффузии мгновенной фазы автоколебаний: 1 — область спирального аттрактора, 2 — область винтового аттрактора; б) — увеличенный фрагмент рисунка (а)

Однако в пределах каждой из областей хаоса строго однозначной взаимосвязи порога и значения B_{eff} не наблюдается. Для спирального аттрактора имеет место как взаимная, так и вынужденная синхронизация хаоса, причем значения порога взаимной синхронизации γ_0 и приведенного порога вынужденной синхронизации $C_0/\langle A \rangle$ совпадают в пределах ошибки расчетов. В области винтового хаоса (для больших B_{eff}) вынужденная синхронизация отсутствует.

Работа частично поддержана из средств грантов по программе Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы».

Список литературы

- [1] Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. *Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление*, М.: Техносфера, 2003
- [2] Анищенко В. С., Астахов В. В., Вадивасова Т. Е., Нейман А. Б., Стрелкова Г. И., Шиманский-Гайер Л. *Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах*, Москва—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.

- [3] Farmer J. D. Spectral broadening of period-doubling bifurcation sequences *Phys. Rev. Lett.*, 1981, vol. 47, № 5., pp. 179–182.
- [4] Anishchenko V. S., Okrokvertskhov G. A., Vadivasova T. E. Mixing and spectral-correlation properties of chaotic and stochastic systems: numerical and physical experiments, *New Journal of Physics*, 2005, vol. 7, pp. 76–106.
- [5] Кузнецов Ю. А., Ланда П. С., Ольховой А. Ф., Перминов С. М. Амплитудный порог синхронизации как мера хаоса в стохастических автоколебательных системах, *ДАН СССР*, 1985, т. 281, вып. 2., с. 1164–1169.
- [6] Pikovsky A., Osipov G., Rosenblum M., Zaks M., Kurths J. Attractor-repeller collision and eyelet intermittency at the transition to phase synchronization, *Phys. Rev. Lett.*, 1997, vol. 79, pp. 47–50.
- [7] Логинова М. В., Анищенко В. С. Исследование универсальных свойств порога внешней синхронизации хаотических систем, *Изв. вузов. ПНД*, 2003, т. 11, № 2. с. 87–95.
- [8] Rössler O. E., An equation for continuous chaos, *Phys. Lett. A.*, 1976, vol. 57, pp. 397–398.
- [9] Анищенко В. С. *Сложные колебания в простых системах*, М.: Наука, 1990.
- [10] Arneodo A., Collet P., Tresser C., Possible new stage attractors with spiral structure, *Commun. Math. Phys.*, 1981, vol. 79, pp. 573–579.
- [11] Вадивасова Т. Е., Анищенко В. С., Окрокверцхов Г. А., Стрелкова Г. И., Захарова А. С. Статистические свойства мгновенной фазы зашумленных периодических и хаотических автоколебаний, *Радиотехника и электроника*, 2006, т. 51, № 5, с. 580–592
- [12] Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е., Окрокверцхов Г. А., Стрелкова Г. И. Статистические свойства динамического хаоса, *Успехи физ. наук*, 2005, т. 175, № 2, с. 163–179.
- [13] Anishchenko V. S., Vadivasova T. E., Kurtz J., Okrokvertskhov G. A., Strelkova G. I. Autocorrelation function and spectral linewidth of spiral chaos in a physical experiment, *Phys. Rev. E.*, 2004, vol. 69, pp. 036215(1–4).
- [14] Вадивасова Т. Е., Анищенко В. С. Взаимосвязь частотных и фазовых характеристик хаоса. Два критерия синхронизации, *Радиотехника и электроника*, 2004, т. 49, № 1, с. 77–83.
- [15] Anishchenko V. S., Vadivasova T. E., Kurtz J., Okrokvertskhov G. A., Strelkova G. I. Correlation analysis of dynamical chaos, *Physica A.*, 2003, vol. 325, pp. 199–212.
- [16] Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е., Окрокверцхов Г. А., Стрелкова Г. И. Корреляционный анализ режимов детерминированного и зашумленного хаоса, *Радиотехника и электроника*, 2003, т. 48, № 7, с. 824–835.
- [17] Anishchenko V. S., Vadivasova T. E., Kopeikin A. S., Kurths J., Strelkova G. I. Peculiarities of the relaxation to an invariant probability measure of nonhyperbolic chaotic attractors in the presence of noise, *Phys. Rev. E.*, 2002, vol. 65, №2, pp. 036206.
- [18] Anishchenko V. S., Vadivasova T. E., Kopeikin A. S., Kurths J., Strelkova G. I. Effect of noise on the relaxation to an invariant probability measure of nonhyperbolic chaotic attractors, *Phys. Rev. Lett.*, 2001, vol. 87, №5, pp. 4101(1–4).
- [19] Rosenblum M. G., Pikovsky A., Kurths J. Phase synchronization of chaotic oscillations, *Phys. Rev. Lett.*, 1996, vol. 76, №11, pp. 1804–1807.