

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Т.В. Патрушева

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Рассмотрена работа функционального преобразователя на основе генератора хаоса, проведен анализ характеристик критических точек по бифуркационным диаграммам. Обоснован выбор оптимальных параметров нелинейной системы, являющейся основным функциональным узлом.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, показатель Ляпунова, перемежаемость, бифуркационная диаграмма, шум.

Многообразие режимов нелинейных систем, демонстрирующих сложную динамику позволяет создавать различные функциональные преобразователи. Одним из наиболее интересных способов применения хаотических генераторов – обнаружение слабых периодических сигналов на фоне шумов. Возможность создания помехоустойчивого преобразователя рассматривается в работах [1, 2]. В связи с этим, выбор оптимальных параметров нелинейной системы, являющейся основным функциональным узлом, становится актуальной задачей.

Рассмотрим принцип работы такого функционального преобразователя. Его основу составляет неавтономная система, демонстрирующая хаотическое поведение – MLC-цепь [3] и описываемая в безразмерных единицах уравнением (1):

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = y - h(x) \\ \frac{dy}{d\tau} = -\beta y - \beta x + f \sin \omega \tau + [d \sin \omega \tau + \sigma \cdot n(\tau)] \end{cases}, \quad (1)$$

где x, y – безразмерные координаты;

τ – безразмерное время;

β – бифуркационный параметр системы;

$h(x)$ – кусочно-линейная функция нелинейного элемента;

ω – частота опорного генератора и сигнала, обнаруживаемого на фоне шумов;

$n(\tau)$ – гауссовский случайный процесс, с нулевым средним значением, равномерным спектром, действующим значением равно 1;

σ – действующее значение случайного процесса;

d – амплитуда обнаруживаемого сигнала.

Параметры системы подбираются таким образом, чтобы обеспечить близость к границе периодического и хаотического режимов.

Следовательно, при определённых величинах β и ω амплитуда опорного генератора фиксируется в некоторое критическое значение $f_{кр}$ – такое, чтобы быть как можно ближе к бифуркационной точке.

Объяснение механизма помехоустойчивости состоит в следующем: при параметрах системы соответствующих хаотическому режиму старший показатель Ляпунова будет положительным и, значит, небольшие отклоняющие воздействия на него будут приводить к повышению стохастичности траектории. Если же текущим режимом является периодический, то есть показатель Ляпунова отрицательный – всякие отклонения от периодической орбиты системой будут сглаживаться к устойчивой траектории [4].

Заметим, что в исследуемой MLC-цепи возможны следующие сценарии возникновения хаоса: через удвоение периода, через перемежаемость, через бифуркацию рождения тора, также имеют место множественные периодические окна.

Для создания измерительного преобразователя выбор нужной бифуркации должен основываться из следующих соображений: граничная переходная область между хаосом и периодическим режимом Δf должна быть как можно короче, обе области должны быть достаточно развиты, не должно наблюдаться явление затягивания потери устойчивости, сама граница должна быть ровной. Выбор области параметров системы сначала осуществляется тщательным рассмотрением двухпараметрических бифуркационных диаграмм, затем одномерных диаграмм и, наконец, непосредственным рассмотрением временных зависимостей.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Решение уравнения (1) с исключённым слагаемым в квадратных скобках осуществлялось в MathCad с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Для амплитудного измерительного преобразователя [5] были получены двумерные бифуркационные диаграммы в пространстве параметров $\omega - f$ при β лежащих в пределах от 0,8 до 1,1. Одна из полученных диаграмм изображена на рисунке 1.

Рассмотрение двухпараметрической бифуркационной диаграммы (рисунок 1) позволяет выбрать наиболее удобные области параметров для выбора нужной бифуркации. Наиболее подходящими являются бифуркации между хаосом и колебаниями периода один по верхней границе ($\omega = 0,5$; $f = 0,22$), а также граница хаоса с развитой областью периода три ($\omega = 1,0$; $f = 0,2$). Оценить возможность применения выбранных областей для измерительного преобразователя можно используя одномерные бифуркационные диаграммы.

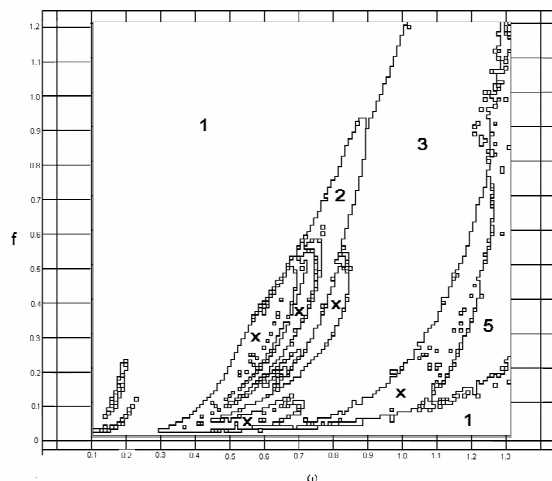


Рисунок 1 – Двухпараметрическая бифуркационная диаграмм в пространстве параметров $\omega - f$ при $\beta = 0,9$. Обозначены наиболее развитые области: цифрами – периодические колебания, x – области хаоса

При построении одномерных бифуркационных диаграмм особое внимание было уделено проверке наличия явления затягивания потери устойчивости. Управляемый параметр f при построении плавно увеличивался и отображались точки сечения Пуанкаре, затем строилась зависимость при плавном уменьшении параметра f . Сравнение границ бифуркации прямого и обратного хода позволяет сделать вывод о наличии «гистерезиса», или явления затягивания потери устойчивости.

сти. Добавим, что данный подход может быть использован для измерения уровня шумов [6]

Также, одномерная бифуркационная диаграмма позволяет определить степень стохастичности в зоне хаоса, близкой к точке бифуркации. Если имеет место сужение на диаграмме в области хаоса при приближении к критической точке – это говорит об уменьшении стохастичности процесса: иными словами хаотический колебательный процесс по своей динамике постепенно приближается к периодическому без чёткой границы.

Результаты исследования характеристик критических точек сведены в таблицу 1.

На рисунках 2-6 показаны наиболее характерные однопараметрические диаграммы, из полученных в процессе работы.

Таблица 1 – Сводный анализ характеристик критических точек

β	ω	$f_{кр}$	Δf	Характеристика границы
0,8	0,5	0,18	0,16-0,19	чёткая, широкая зона перемежаемости
	0,55	0,32	0,28-0,327	чёткая, широкая зона перемежаемости
	0,6	0,44	0,44-0,45	уменьшение стохастичности
0,9	0,4	0,08	0,083-0,085	чёткая
	0,5	0,22	0,20-0,22	чёткая
	0,6	0,4	0,39-0,41	уменьшение стохастичности, гистерезис
0,95	0,4	0,105	0,103-0,108	чёткая
	0,5	0,235	0,235-0,241	чёткая
	0,6	0,39	0,38-0,4	уменьшение стохастичности
1	0,4	0,125	0,119-0,132	чёткая
	0,45	0,18	0,17-0,185	чёткая
	0,5	0,25	0,23-0,26	чёткая, гистерезис
	0,6	0,37	0,37-0,38	уменьшение стохастичности
1,1	0,4	0,16	0,15-0,17	уменьшение стохастичности, гистерезис
	0,5	0,27	0,25-0,27	уменьшение стохастичности
	0,6	0,37	0,35-0,37	уменьшение стохастичности

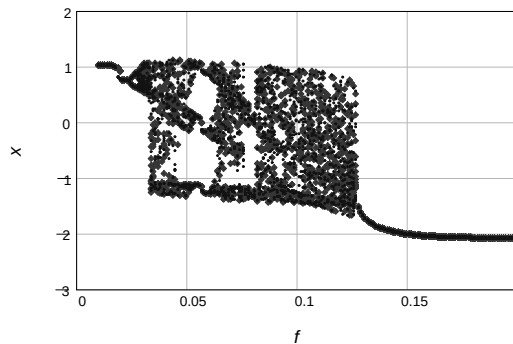


Рисунок 2 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма при $\beta = 1$; $\omega = 0,4$. Характерной особенностью является бифуркация при $f=0,125$ с высокой степенью стохастичности в зоне хаоса, отсутствием гистерезиса

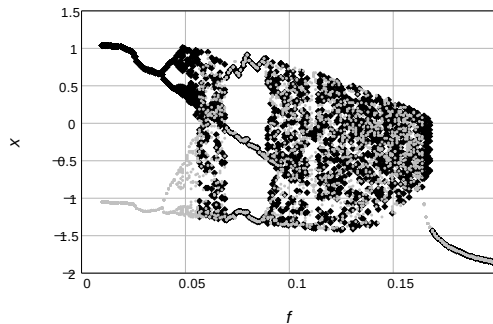


Рисунок 3 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма при $\beta = 1,1$; $\omega = 0,4$

Сведённые в таблицу величины позволяют выбрать наиболее подходящие значения параметров системы для реализации амплитудного измерительного преобразователя.

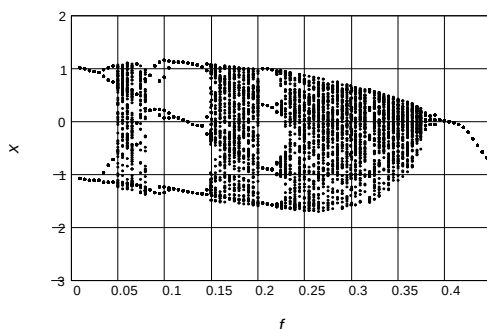


Рисунок 4 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма при $\beta = 1$; $\omega = 0,6$. Неподходящий для измерительного преобразователя случай, поскольку при $f=0,37$ бифуркация сопровождается заметным снижением стохастичности

Например, задавшись $\beta=0,9$; $\omega=0,4$; $f=0,081$ для уравнения (1) можно убедиться в способности системы обнаружить слабый сигнал $d=0,05$ на фоне преобладающего шума $\sigma=0,1$, что соответствует $\text{SNR}=-29\text{дБ}$. Способ построения детектора слабых сигналов на генераторе хаоса и экспериментальные данные реализованного образца описаны в [5]. Распознавание слабого сигнала на фоне шумов генератором хаоса было использовано в сигнализаторе контроля уровня пылевых сред [7].

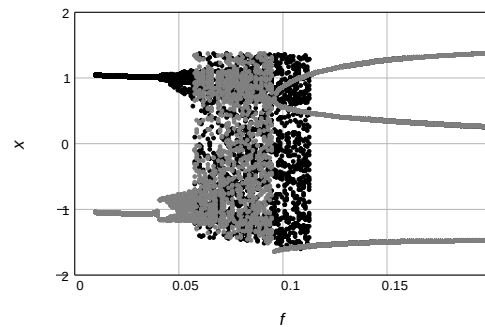


Рисунок 5 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма при $\beta = 0,9$; $\omega = 0,9$. Наглядно показан гистерезис на границе с областью периода три при $f=0,09..0,12$

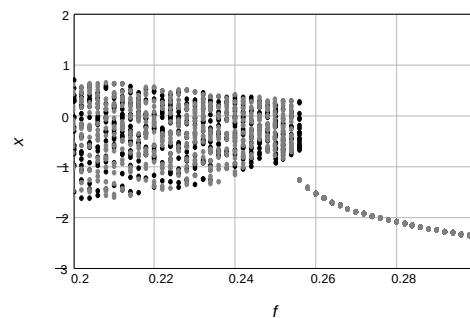


Рисунок 6 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма при $\beta = 1$; $\omega = 0,5$. Наглядно показан гистерезис на границе с областью периода один при $f=0,254..0,256$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yue L. Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise [text]/ Li Yue, Baojun Yang // Chinese Science Bulletin, Vol. 48, № 5. – [China]: Science China Press, 2003. - P.508-510.
2. Chen H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler blood-stream speed measuring [text] / H. Y. Chen, J. T. Lv, S. Q. Zhang, L. G. Zhang, J. Li.// J. Phys. Conf. Ser.13. – London: IOP Publishing, 2005. - P.320-324.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

3. Murali K. The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit [text]/ K. Murali, M. Lakshmanan, L.O. Chua // IEEE Trans. Circuits Syst, .Vol.41. – [s.l.]: IEEE Circuits and Systems Society, 1994. - P.462-463.
4. Wangqing Song Wanqing Song Shen Deng Jianguo Yang Qiang Cheng Tool wear detection based on Duffing-Holmes oscillator Mathematical Problems in Engineering, 2008 July Hindawi Publishing Corp., 2008 Cairo P.1-15
5. Патрушева Т.В. Амплитудный измерительный преобразователь на основе генератора хаоса [text]/ Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев, Технические

- науки – от теории к практике, Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С.104-109.
6. О.Я. Бутковский Использование гистерезиса в бифуркационных системах для измерения шума [текст]/ О.Я. Бутковский, Ю.А. Кравцов, Е.Д. Суровяткина// Журнал технической физики Т.67 №9, ISSN: 0044-4642 Санкт-Петербург, 1997- С.128-131.
 7. Сигнализатор контроля уровня пылевых сред Т.В. Патрушева в этом же сборнике

Патрушева Татьяна Васильевна – старший преподаватель, тел.: (3852) 29-09-13, e-mail: it@agtu.secna.ru