

УДК 681.2.084

К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ОТ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев

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

Несмотря на простоту математического описания систем с хаотической динамикой, не существует простого количественного описания степени хаотичности движения. В статье рассматриваются известные методы, дающие количественную оценку для хаотического аттрактора, и предлагается простой механизм получения информационного сигнала от измерительного преобразователя на основе генератора хаоса.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, сечение Пуанкаре, логистическое отображение, генератор хаоса.

Активное исследование нелинейных систем, обладающих хаотическим поведением, началось ещё в середине XX века. И за это время было выявлено множество уникальных свойств таких систем. Было установлено, что характерные черты, установленные для одних хаотических систем, также проявляются и у большинства других. Так, например, большинству хаотических систем присущи сценарии возникновения хаоса через каскад бифуркаций удвоения периода, разрушение тора, перемежаемость. Сами сигналы, получаемые от генераторов хаоса, также обладают схожими свойствами – неповторяющийся процесс во временной области и сложный спектр, с неравномерной структурой заполнения полосы частот. Частотный и временной анализ сигналов генераторов хаоса без труда позволяет установить их фрактальную структуру, в которой присутствует самоподобие в меньших масштабах – скейлинг. Обнаружение такого сочетания свойств в простых системах привело к исследованиям в области применения хаотических генераторов для практических нужд, в том числе и для измерений, но первоначальный восторг исследователей теперь следует признать угасшим в связи с тем, что большинство измерений хаотического аттрактора в зависимости от параметров системы – также имеют фрактальный характер.

Если измерительный преобразователь,

представленный на рисунке 1, подвергается параметрическому воздействию на свою систему измеряемой величиной v , то выходной отклик такой системы $F(v,t)$ будет сложной зависимостью, представляемой аттрактором в трёхмерном пространстве. Если входное воздействие v изменяется – то, следовательно, меняются параметры динамической системы и, формируемый ею аттрактор.



Рисунок 1 – Измерительный преобразователь на основе генератора хаоса

Выполнить измерения аттрактора – задача, которая должна быть выполнена для получения информации об измеряемой величине v . Среди доступных, для практического воплощения, методов, следует отметить следующие: измерение объема аттрактора путём оценки величины параллелепипеда описанного вокруг аттрактора [1], измерение средней скорости изображающей точки по аттрактору [3], численное нахождение по временным рядам фрактальной, корреляционной или информационной размерностей [2,4], на-

хождение старшего показателя Ляпунова [5] (рисунок 2) и т.д. Однако зависимость получаемых оценок от величины входного воздействия носит исключительно фрактальный характер: как правило, всегда немонотонная, с полным отсутствием линейных участков, самоподобная в меньших масштабах.

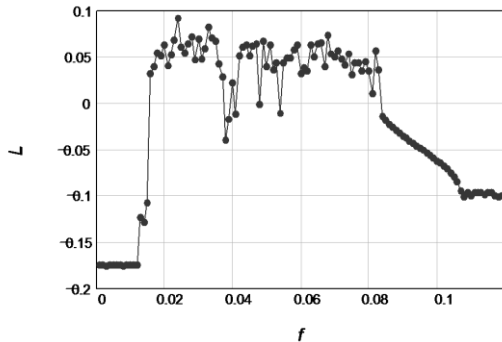


Рисунок 2 – Зависимость старшего показателя Ляпунова при $\beta = 0,9$; $\omega = 0,4$ от амплитуды внешнего воздействия f для MLC-цепи [5]

Тем не менее, такие измерения могут быть полезны в бифуркационных измерительных преобразователях, позволяя безошибочно отличать хаотическое движение от периодического.

Предлагаемый метод позволяет сделать оценку степени хаотизации системы по монотонной зависимости, описываемой достаточно простым степенным полиномом, вплоть до линейного. Для пояснения метода воспользуемся наиболее изученной системой, демонстрирующей хаотическое поведение – дискретному логистическому отображению (1):

$$x_{n+1} = r \cdot x_n \cdot (1 - x_n) \quad (1)$$

Запишем от него образующую функцию:

$$f(x, r) = r \cdot x \cdot (1 - x)$$

На диаграмме (рисунок 3), в её правой части, видны верхняя и нижняя границы, между которыми располагаются все значения хаотического отображения. При $r = 4$ в нем наблюдается развитой хаос и наибольшая ширина области между границами. По мере увеличения r ширина области монотонно возрастает, следовательно, её можно считать степенью развитости хаоса. Также, в хаотической области заметны каустики – имеющие вид складок и генерируемые экстремумами отображения.

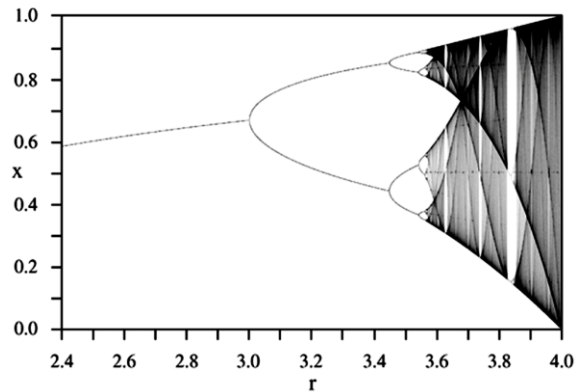


Рисунок 3 – Однопараметрическая бифуркационная диаграмма для логистического отображения

Найдём экстремум отображения (1), для этого приравняем первую производную $f(x, r)$ к нулю и получим $x=1/2$.

Для получения границ отображения запишем следующие функции:

$$g_1(r) = f\left(\frac{1}{2}, r\right) = \frac{r}{4}$$

$$g_2(r) = f(g_1(r), r) = -\frac{r^2 \cdot \left(\frac{r}{4} - 1\right)}{4}$$

Данный ряд можно и продолжить, что сделано при построении рисунка 4, однако это никак не повлияет на границы области.

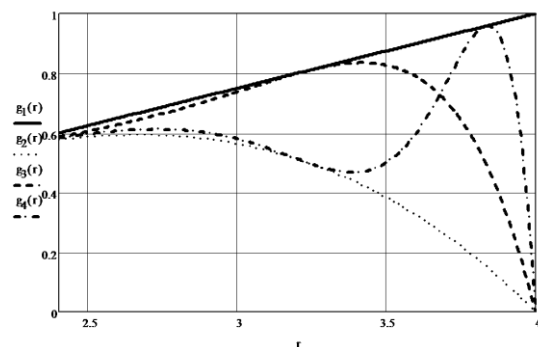


Рисунок 4 – Границы значений логистического отображения

Как видно, верхняя граница описывается линейной функцией, а нижняя кубическим полиномом, при этом ширина полосы монотонно возрастает. Из этого можно сделать вывод о пригодности подхода для оценки степени хаотизации системы. Схожие резуль-

таты можно получить для любого другого одномерного отображения.

Представленные соображения можно распространить и на системы с непрерывным временем для применения подхода на хаотических системах третьего порядка. Для этого следует воспользоваться сечением Пуанкаре, которое понижает размерность системы и делает её представление дискретным. Реализация сечения Пуанкаре может быть выполнена стробоскопическим методом и нахождением наибольшего и наименьшего значения в полученных выборках.

Принцип действия поясняется рисунком 5. Входное измеряемое воздействие v управляет одним или несколькими параметрами генератора хаоса. Формирователь импульсов в определённые моменты времени, соответствующие достижению изображающей точки в фазовом пространстве выбранной плоскости создают короткие импульсы стробирования

для устройства выборки-хранения (УВХ). Сигнал на выходе УВХ будет эквивалентен значениям из дискретного отображения и его возможные значения могут быть отображены диаграммой, аналогичной представленной на рисунке 3. Детекторы максимального и минимального значений позволяют определить ширину полосы возможных значений в дискретном отображении w .

Реализация подхода возможна с помощью относительно простой аналоговой схемотехники, в качестве выходного параметра может выступать ширина полосы возможных значений, а также верхнее, либо нижнее значение в отображении. Для применения подхода на реальных генераторах хаоса, также требуется подбор начальных параметров системы, чтобы обеспечить достаточный диапазон и чувствительность измерительного преобразования.

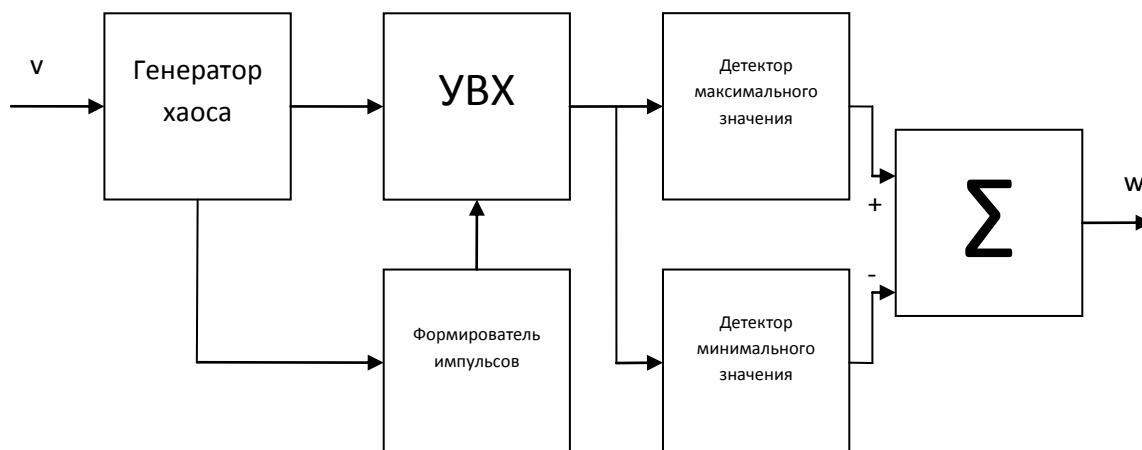


Рисунок 5 – Структурная схема для получения измерительного сигнала от генератора хаоса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов С.С., Колпакова Л.В., Кузнецов В.А. Метод измерения с использованием свойств нелинейных динамических систем. //Измерительная техника. – 1996. – №12. – С.16-18.
2. Воронов С.С., Колпакова Л.В., Кузнецов В.А. Метод хаотического генератора: подходы к диагностированию параметров нелинейных хаотических систем. //Измерительная техника.-2000. – №4. – С.19-21.
3. Патрушева Т. В. Исследование механизма чувствительности в автогенераторном измерительном преобразователе на основе цепи Чуа/ Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009, № 2. – С.159-160.
4. Л.В.Колпакова Разработка измерительных устройств на базе метода хаотического генератора//Измерительная техника. – 2000. – №5.
5. Патрушева Т. В. Численное моделирование процесса обнаружения периодических сигналов на фоне преобладающих шумов в приборах контроля, основанных на использовании генераторов хаоса /Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013, № 1. – С.59-64.

Патрушева Татьяна Васильевна - старший преподаватель, тел.(3852)-290913, e-mail: attractor@list.ru

Патрушев Егор Михайлович – к.т.н, доцент, тел. (3852)- 290913, e-mail: attractor13@gmail.com