

## ДЕТЕКТОР СОСТОЯНИЯ В ОБНАРУЖИТЕЛЕ СЛАБЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

**Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев, И.С. Наздрюхин**

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

В работе рассмотрен функциональный преобразователь измерительных сигналов на основе генератора хаоса. Назначением такого функционального преобразователя является обнаружение периодических сигналов на фоне преобладающих шумовых помех.

Основным элементом обнаружителя является генератор хаоса, работающий вблизи границы бифуркации между хаотическим и периодическим режимами. По виду движения в хаотической системе следует судить об обнаружении сигнала. В работе предложен вариант детектора, позволяющий определить это состояние. Принцип его действия основан на подсчёте числа турбулентных выбросов за интервал времени обнаружения.

**Ключевые слова:** измерительный преобразователь, бифуркации, перемежаемость, генератор хаоса.

Проблема обнаружения периодических сигналов на фоне шумовых помех в приборах контроля остаётся актуальной и имеет место в тех случаях, когда получаемый полезный сигнал слаб в сравнении с внутренними шумами прибора или получен под действием сильных помех.

Для обнаружения таких сигналов разработку приборов начинают с рассмотрения вопросов применения согласованной фильтрации или корреляционного приёма. Такие методы обнаружения считаются линейными и их возможности обнаружения являются наилучшими для случаев, когда шум по своим свойствам приближается к белому гауссовскому шуму. Тем не менее, теоретически было показано, что при определённых условиях, возможно добиться повышения потенциальной помехоустойчивости при использовании нелинейных преобразований [1,2].

Использование нелинейных, в том числе и хаотических систем в качестве обнаружителя сигналов на фоне шумов также известно и выявлены основные достоинства данного подхода.

Исследователи в этой области сообщают о способности обнаружения известного сигнала на фоне шумов при соотношении сигнал/шум по мощности вплоть до -110дБ [3].

Известный способ обнаружения сигналов с помощью генератора хаоса состоит в следующем: на вход генератора хаоса подаётся полученный сигнал, состоящий из шумовой помехи  $n(t)$  и полезного сигнала  $s(t)$  (рис.

сунк 1). Генератор хаоса (ГХ) должен представлять собой неавтономную хаотическую систему, работающую от собственного опорного генератора, синхронизированного с  $s(t)$ .

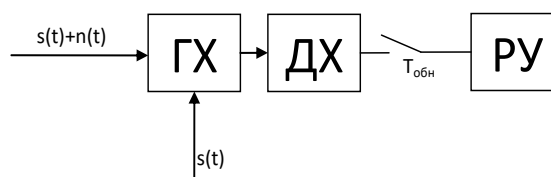


Рисунок 1 – Структурная схема обнаружителя на основе генератора хаоса

Режим работы генератора хаоса подбирается таким образом, чтобы обеспечить близость к границе бифуркации между периодическим и хаотическим режимами движения [4-6]. Из всех возможных бифуркаций устойчивости движения в хаотическом генераторе применение нашла перемежаемость I типа (касательная бифуркация). Генератор хаоса под внешним гармоническим воздействием меняет характер устойчивости движения так, что с течением времени изображающая точка в фазовом пространстве синхронизирует свое движение с полезным сигналом. Процесс установления периодических колебаний в системе занимает некоторое время, при этом следует заметить, что в хаотическом режиме движение также может содержать продолжительные ламинарные фазы. Таким образом, генератор хаоса демонстрирует хаотическую динамику при отсутствии

полезного сигнала на его входе и периодическую при поступлении на его вход полезного сигнала.

Поскольку генератор хаоса вблизи к границе седло-узловой бифуркации демонстрирует пережаемое поведение с большой длительностью ламинарных фаз, то требуется некоторое время Тобн, которое необходимо для различения состояния движения детектором хаоса (ДХ) и принятия решения решающим устройством (РУ).

Детектор хаоса должен быть построен таким образом, чтобы получить информацию о виде движения в системе.

Литературный обзор позволил найти варианты детектирования режима на основе измерения показателя Ляпунова по временному ряду [3], вычисления фрактальной размерности, энтропии Колмогорова. Данные подходы основаны на цифровой обработке полученного от генератора хаоса временного ряда, для установления количественной оценки. Для большинства практических применений обнаружителя необходимо использовать более простой в реализации детектор состояния.

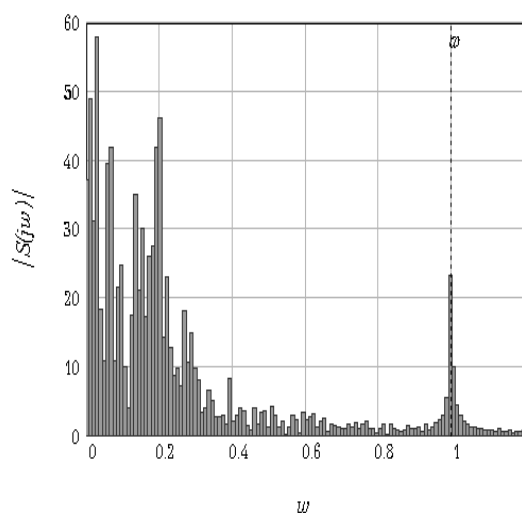


Рисунок 2 – Типичный спектр амплитуд неавтономного генератора хаоса работающего в хаотическом режиме, частота опорного генератора  $\omega = 1$

Один из вариантов детектора режимов может быть основан на факте различия спектра сигнала в хаотическом и периодическом режимах (рисунок 2).

В работе [6] детектор состояния из спектра сигнала выделяет низкочастотные составляющие вплоть до третьей субгармоники

и осуществляет для них амплитудную демодуляцию (рисунок 3).

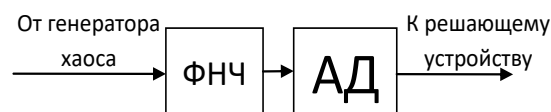


Рисунок 3 – Структурная схема спектрального варианта детектора хаоса

Выделенные с помощью ФНЧ низкочастотные составляющие поступают на вход амплитудного детектора (АД), выходной сигнал которого подаётся на вход решающего устройства. Основным достоинством данного детектора является его схемная простота, однако к недостаткам следует отнести ограниченное быстродействие и невозможность сбора информации в режиме накопления за разные интервалы времени.

Другим предлагаемым способом построения детектора хаоса является схема на основе фазового детектора. Суть способа состоит в следующем: в периодическом режиме изображающая точка в системе движется синхронно с сигналом опорного генератора, а в хаотическом наблюдаются перескоки фазы (рисунок 4). Фазовый детектор, фиксирующий фазовые перескоки может быть легко построен с помощью бинарной логики.

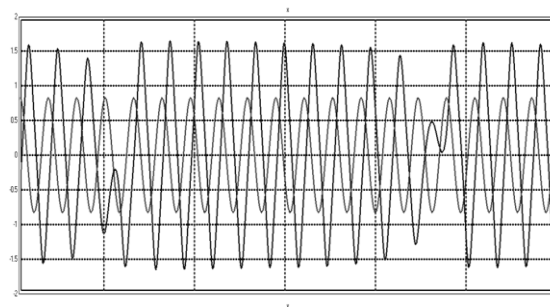


Рисунок 4 – Сигнал хаотического генератора на фоне сигнала опорного генератора

На рисунке 5 показана схема детектора хаоса, подсчитывающая число перескоков фазы в обозначениях для модели Matcad/Simulink.

Входные компараторы напряжения преобразуют сигнал в прямоугольный вид и подаются на входы данных и управления триггерами. Схема содержит два триггера для обеспечения обнаружения положительных и отрицательных перескоков фазы.

## ДЕТЕКТОР СОСТОЯНИЯ В ОБНАРУЖИТЕЛЕ СЛАБЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

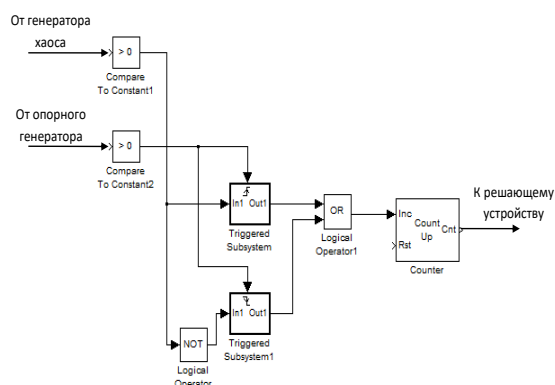


Рисунок 5 – Детектор хаоса на основе подсчёта фазовых перескоков

В случае периодического режима будет иметь место синхронность входных сигналов, и, следовательно, выходное состояние элемента ИЛИ будет неизменным. В случае же хаотического режима счётчик будет подсчитывать число импульсов, соответствующее числу турбулентных выбросов.

На рисунке 6 приведены типичные гистограммы распределения числа хаотических выбросов в периодическом и хаотическом режимах.

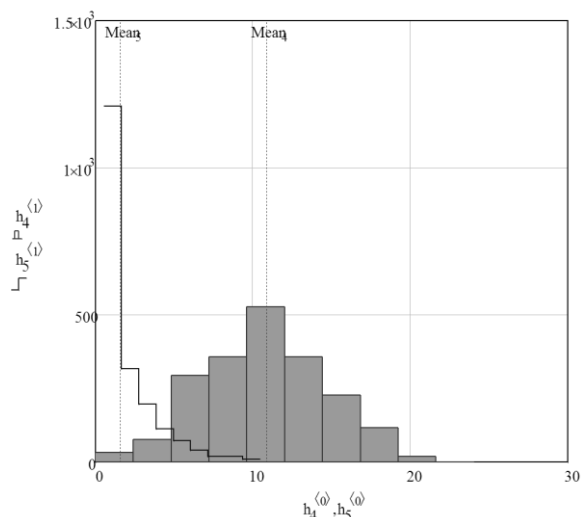


Рисунок 6 – Гистограмма распределения числа хаотических выбросов в периодическом режиме (незаштрихованная область) и хаотическом режиме (заштрихованная область) в присутствии шумовых помех

На гистограмме заметно, что даже в периодическом режиме наблюдается некоторый разброс числа выбросов, поскольку она была получена в условиях сигнала, снабжённого

*ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №2 2016*

шумовой помехой.

Основное назначение всякого обнаружителя слабых сигналов на фоне помех – это улучшение отношения сигнал/шум на входе устройства для того, чтобы решающее устройство могло определить наличие/отсутствие сигнала. В хаотическом обнаружителе это отношение сигнал/шум также улучшается за счёт накопления большого числа турбулентных выбросов в хаотическом режиме и небольшого их числа в периодическом режиме. Решающее устройство, подключённое к выходу счётчика должно давать сигнал о наличии/отсутствии сравнивая полученное на счётчике значение с фиксированной величиной, заданной для обеспечения желаемой вероятности обнаружения и вероятности ложной тревоги.

Предложенный вариант детектора хаоса обладает высоким быстродействием и позволяет применять его без переделки на любых интервалах времени, поскольку содержит в себе счётчик импульсов, накапливающий информацию о числе турбулентных выбросов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Slepian D. Some comment on the Detection of Gaussian Signals in Gaussian Noise // JRE Transactions on Information Theory, 1958. - N 2. - p.65-68.
2. Патент РФ 2366091 Дата публикации: 27.08.2009
3. Tian, Jin Statistical approach to weak signal detection and estimation using Duffing chaotic oscillators / Jin Tian, Zhang Hua // Science China Information Sciences. – 2011 – Vol. 54, no. 11. – P. 2324-2337.
4. Патрушева, Т. В. Амплитудный измерительный преобразователь на основе генератора хаоса / Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев // Технические науки – от теории к практике, Т. 38. – Новосибирск : Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С. 104-109.
5. Патрушева, Т. В. Сигнализатор контроля уровня пылевых сред / Т. В. Патрушева // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2012. – № 2. – С. 25-27.
6. Патрушева Т. В. Фотоэлектрический датчик диффузного типа на основе генератора хаоса / Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев // Фундаментальные исследования. – Пенза: ИД «Российская Академия Естествознания», 2013. № 6. – С. 1354-1358.

**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;  
**Наздрюхин Илья Сергеевич** – студент АлтГТУ, e-mail: m.nabiv@gmail.com.