

СИНТЕЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРОВ ХАОСА

Т.В. Патрушева

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

Предложены следующие варианты измерительного преобразования на основе генератора хаоса: амплитудный, параметрический, частотный. Предложенные варианты опробованы в сигнализаторах контроля уровня.

Ключевые слова: нелинейное уравнение, измерительный преобразователь, генератор хаоса, ЛЧМ-сигнал.

Общий теоретический анализ неавтономных хаотических систем позволяет сделать вывод о возможности применения измерительных преобразователей на их основе для обнаружения сигналов слабых на фоне шумов. Следовательно, синтез возможных путей их построения и реализация датчиков на их основе является актуальной задачей.

Коротко изложим теоретические основы хаотических неавтономных систем. За основу может быть взята практически любая неавтономная система, демонстрирующая хаотическое поведение. Согласно теории хаоса неавтономная система должна описываться нелинейным уравнением не ниже второго порядка и иметь в фазовом пространстве как минимум одну неустойчивую точку. Например, электрическая цепь Murali-Lakshmanan-Chua (MLC) описывается следующей системой уравнений:

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

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.

Исходные параметры системы подбираются таким образом, чтобы обеспечить близость к границе периодического и хаотического режимов. Следовательно, при определённых величинах β и ω амплитуда опорного генератора f фиксируется в некоторое критическое значение $f_{кр}$ – такое, чтобы быть как можно ближе к бифуркационной точке.

Исходя из присутствующих в уравнении (1) управляющих величин можно предложить следующие варианты измерительного преобразования: амплитудный – при модуляции амплитуды входного сигнала d , параметрический – при модуляции параметра β самой системы, частотный – при модуляции частоты входного сигнала ω . Рассмотрим отдельно каждый из вариантов.

В амплитудном варианте контролируемый сигнал вместе с шумом $[d \sin \Omega t + \sigma \cdot n(t)]$ подаётся на вход генератора хаоса, где суммируется с сигналом опорного генератора (рисунок 1).

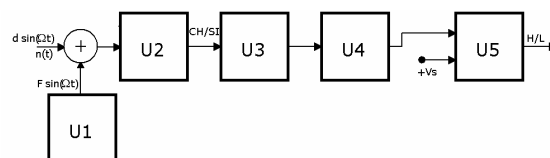


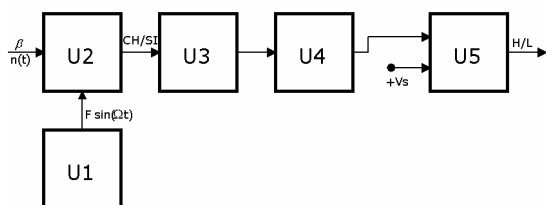
Рисунок 1 – Структурная схема амплитудного измерительного преобразователя

Распознавание слабых сигналов на фоне шумов можно осуществить по распознаванию установившегося вида движения в хаотической системе с помощью структурной схемы измерительного преобразователя. Помимо опорного синусоидального U1 и хао-

СИНТЕЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРОВ ХАОСА

тического U2 генераторов в схему входит фильтр U3, детектор U4, компаратор U5. Схема обработки хаотического сигнала базируется на спектральном подходе. Предполагается, что хаотическое движение, являющееся суммой субгармонических колебаний разных периодов, будет иметь шумоподобный спектр, в то время как периодические колебания имеют спектр в виде одиночных составляющих, соответствующих основному периоду колебаний и всех высших гармоник. Полоса пропускания фильтра должна соответствовать в пределах $1/3-1/2$ от частоты опорного генератора Ω , при этом на частоте генератора Ω должно обеспечиваться как можно более сильное подавление. Далее, отфильтрованный сигнал детектируется и подаётся на вход компаратора, где по сравнению с фиксированной величиной выдаётся логический сигнал соответствующий хаосу либо периодическим колебаниям. Распознавание слабого сигнала на фоне шумов амплитудным вариантом измерительного преобразователя было использовано в сигнализаторе контроля уровня пылевых сред [1]

В параметрическом варианте контролируемая величина управляет основным бифуркационным параметром системы β .



Условные обозначения:

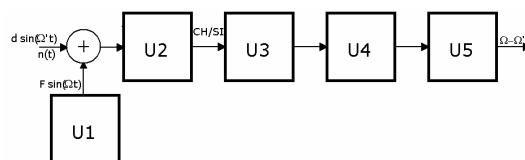
U1 – генератор опорного синусоидального сигнала; U2 – генератор хаоса; U3 – фильтр; U4 – амплитудный детектор; U5 – компаратор

Рисунок 2 – Структурная схема параметрического сигнализатора

Общая структурная схема сигнализатора приведена на рисунке 2. Она включает генератор синусоидальных колебаний U1, являющийся источником для генератора хаоса U2. Выходной сигнал генератора хаоса подвергается прохождению через узкополосный фильтр U3, в котором выделяются только частота, соответствующая режиму периодических колебаний генератора U2. Таким образом, выходной сигнал фильтра будет минимальным если MLC-цепь работает в хаотическом режиме и максимальным, если в периодическом. Далее, сигнал пропускается

через амплитудный детектор U4 и компаратор напряжения U5, выходной сигнал которого соответствует логическим уровням цифровых устройств. Распознавание слабого сигнала на фоне шумов параметрическим вариантом измерительного преобразователя было использовано в сигнализаторе контроля уровня жидкостей [2].

В частотном варианте контролируемой величиной является частота входного сигнала Ω , которая может не совпадать с частотой опорного генератора. Следовательно, не требуется синхронизация опорного генератора, но при этом допускается разность частот не более 1%. Близость частот Ω и Ω очевидно приводит к биениям, даже если сигнал $d \sin \Omega t$ значительно слабее шума $n(t)$, которые распознаются генератором хаоса как переключения режима работы хаос – периодические колебания с частотой равной разности $\Omega - \Omega$. Принцип действия данного измерительного преобразователя поясняется рисунком 3. В целом его структура остаётся прежней, за исключением частотомера U5, который определяет разность частот.



Условные обозначения:

U1 – генератор опорного синусоидального сигнала; U2 – генератор хаоса; U3 – фильтр; U4 – амплитудный детектор; U5 – частотомер

Рисунок 3 – Структурная схема частотного измерительного преобразователя

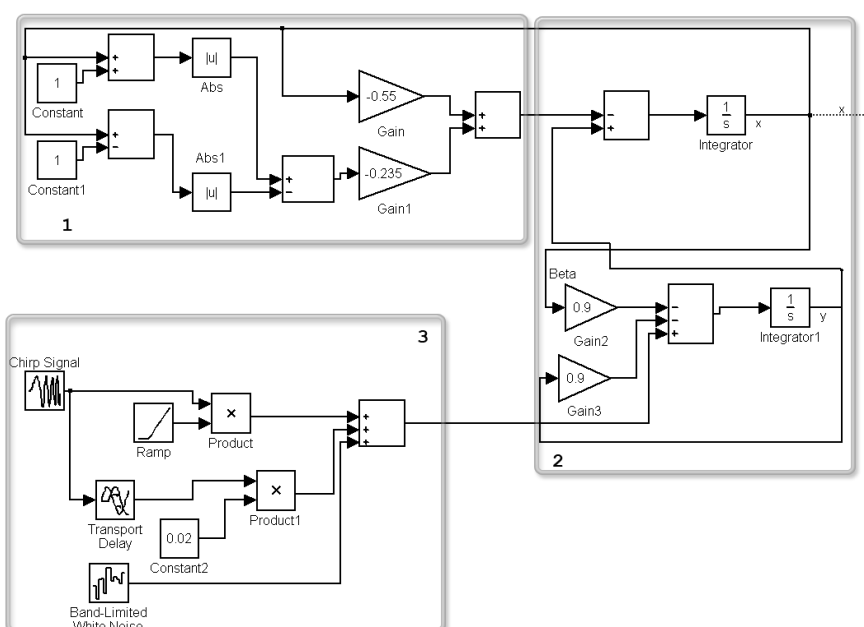
Частотный вариант измерительного преобразователя возможно использовать в датчиках радарного типа с зондирующим ЛЧМ-сигналом. В этом варианте генератор ЛЧМ используется для создания зондирующего сигнала, а также является опорным для генератора хаоса с поддержанием граничного состояния бифуркации. Отражённый от объекта обнаружения сигнал имеет отставание по частоте и по разности частот определяется расстояние до объекта. В случае, если получаемый отражённый сигнал слаб на фоне шумов, обнаружение частотного сдвига может быть выполнено генератором хаоса.

Была выполнена модель ультразвукового датчика уровня/расстояния для следующего примера: ЛЧМ-сигнал частотой от 10кГц до

11кГц, изменяющейся за 1 сек, расстояние до объекта 5м. Исходные величины были переведены в безразмерные значения и в MatLAB/Simulink создана модель радарного датчика с учётом временной задержки и зашумления в канале передачи-приёма (рисунок 4). Выходной сигнал генератора хаоса подтверждает периодические переключения вида движения в системе. Изменение движения с периодического состояния на хаотическое наблюдается с частотой, равной сдвигу

частоты зондирующего ЛЧМ-сигнала (рисунок 5).

Представленные варианты путей построения датчиков на основе генератора хаоса не ограничиваются лишь контролем/измерением уровня. Бифуркационный подход, в котором выходным параметром является состояние движения системы может быть востребован во многих случаях, когда требуется обнаружение / распознавание непрерывных сигналов, слабых на фоне шумов.



Условные обозначения:

1 – нелинейный элемент (диод Чуа); 2 – линейная часть генератора хаоса; 3 – опорный ЛЧМ-генератор, элемент задержки к нему и источник белого шума

Рисунок 4 – Модель частотного измерительного преобразователя на основе генератора хаоса с ЛЧМ-сигналом, созданная в MatLAB/Simulink

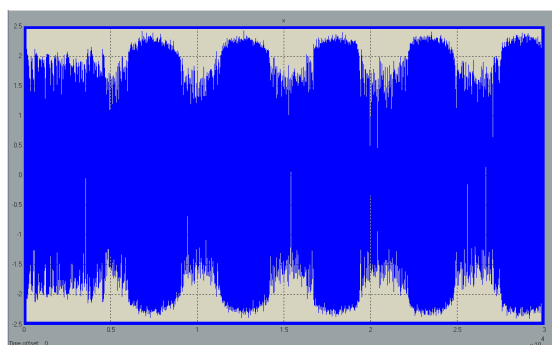


Рисунок 5 – Процесс на выходе генератора хаоса. Видны периоды ламинарной и хаотической фазы. По частоте переключения режимов определяется временной сдвиг для ЛЧМ-сигнала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сигнализатор контроля уровня пылевых сред Т.В. Патрушева в этом же сборнике.
2. Т.В. Патрушева Способ контроля уровня жидкости на основе генератора хаотических колебаний / Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев // Изд-во АлтГТУ Ползуновский вестник №3/2 2012 – С.149-152.

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