

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРА СЛАБЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ибрагимов Жахонгир Фарходович

Ташкентский Государственный технический университет имени Ислама Каримова, ул.
Университетская, 2, Ташкент 100095, Узбекистан

Аннотация.

В статье рассматривается пример использования хаотического генератора в качестве детектора слабых периодических сигналов на фоне преобладающего шума. Предлагается подавать принятый сигнал, содержащий шум, и полезный сигнал на неавтономный генератор хаоса. Рекомендуются использовать тангенциальную бифуркацию в качестве границы режимов, в которых хаос возникает из-за перемежаемости. Распознавание типа движения в хаотическом генераторе осуществляется по форме спектра сигнала на его выходе. Предложенный метод апробирован на лабораторном макете фотоэлектрического датчика диффузного типа.

Ключевые слова:

фотоэлектрический датчик, генератор хаоса, шум, бифуркации, перемежаемость, обнаружитель слабых сигналов.

USING A CHAOTIC GENERATOR AS A DETECTOR OF WEAK PERIODIC SIGNALS

Ibragimov Jakhongir Farxodovich

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Universitet street, 2,
Tashkent 100095, Uzbekistan

Abstract.

The article examines an example of using a chaotic oscillator as a detector of weak periodic signals against the background of prevailing noise. It is proposed that the received signal containing noise and the useful signal be fed to the non-autonomous chaos generator. It is recommended to use a tangential bifurcation as the boundary of the regimes, in which chaos occurs through intermittency. Recognition of the type of motion in a chaotic generator is carried out by the form of the signal spectrum at its output. The proposed method has been tested on a laboratory model of a diffuse-type photoelectric sensor.

Key words:

Photoelectric sensor, chaos generator, noise, bifurcations, intermittency, weak signal detector.

В настоящее время существует большое разнообразие фотоэлектрических датчиков для использования в системах автоматизации. Условия эксплуатации таких датчиков в промышленном производстве могут быть сложными. К тяжелым факторам относятся: вибрации и промышленные шумы, высокая запыленность, большие расстояния до контролируемого объекта [1]. Что касается схемы датчика, то эти факторы приводят к ухудшению отношения сигнал/шум (SNR) на входе устройства и требуют применения методов выделения сигналов из фона помех.

Для решения таких технических задач существуют различные подходы, заключающиеся в специальной схеме обработки основного рабочего сигнала датчика вплоть до использования цифровых сигнальных процессоров. Среди известных методов линейной обработки сигналов на фоне шума отметим согласованную фильтрацию и корреляционный прием. Тем не менее проблема

идентификации слабых сигналов на фоне преобладающих помех остается актуальной, получая решения на основе нелинейных радиотехнических систем, в том числе демонстрирующих хаос [2].

Одним из направлений исследований в области детерминированного хаоса является разработка методов использования хаотических генераторных режимов для нужд измерительной техники. В работе [6] описан измерительный преобразователь доплеровского расходомера на основе генератора хаоса, работающий в условиях слабого полезного сигнала. Сообщается, что обнаружение полезного сигнала возможно при SNR до минус 26 дБ.

Цели и методы исследования

1. Проанализировать особенности реализации режимов сложных колебаний в нелинейных осцилляторах.
2. Провести численное моделирование и исследование режимов работы различных вариантов построения датчиков на основе использования бифуркаций в генераторах хаотических колебаний.
3. Разработать опытный образец датчика управления на основе генератора хаоса и испытать его в лабораторных условиях.

В работе использованы методы теории колебаний, методы качественного анализа динамики нелинейных систем, теории электрических цепей, методы математической статистики и обработки экспериментальных данных.

Теоретическое обоснование

Рассмотрим принцип работы бифуркационного функционального преобразователя. Он основан на неавтономной системе, демонстрирующей хаотическое поведение. Параметры системы подбираются таким образом, чтобы обеспечить близость к границе между периодическим и хаотическим режимами, при которых хаос возникает через прерывистость.

Важным свойством рождения хаоса через перемежаемость является жёсткое изменение динамики движения системы в целом и изменение чувствительности траектории к начальным условиям или небольшим её отклонениям при незначительном изменении одного из параметров. Так, если движение хаотическое, то небольшие отклонения будут приводить к усложнению траектории, то есть действие шумового сигнала на систему в хаотическом режиме будет приводить к увеличению стохастичности движения. В докритическом режиме периодических колебаний старший показатель Ляпунова становится отрицательным, то есть периодическая траектория становится устойчивой к шумоподобным отклонениям, сохраняя свою периодичность. Выбор данной критической точки в качестве основной для создания бифуркационного варианта измерительного преобразователя должен обеспечить способность к обнаружению слабых на фоне шумов сигналов и стать шагом к созданию датчиков с помехоустойчивостью на физическом уровне.

Создание расчётной модели

Хаотическая MLC-цепь, в которую подается обнаруживаемый сигнал $d \sin \omega \tau$ в присутствии шумовой помехи, может быть описана следующим уравнением:

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

где $n(\tau)$ – гауссовский случайный процесс, с нулевым средним значением, равномерным, частотно ограниченным спектром, действующим значением, равном 1.

Помимо настройки хаотического генератора вблизи точки бифуркации, необходимо также определить допустимые значения для обнаруженного сигнала и сопровождающего его уровня шума. Если окажется, что мощность помех превышает определенную величину, это приведет к тому, что периодический режим, несмотря на его устойчивость, будет разрушен. Кроме того, если амплитуда обнаруженного сигнала окажется недостаточной для перехода в другой режим, то воспользоваться преимуществами бифуркационного подхода не удастся.

Теоретический выбор этих величин возможен только с использованием методов численного моделирования, которое было выполнено в среде Matlab / Simulink (Рис. 1).

Моделирование позволило найти наиболее подходящие значения для частоты ω и бифуркационного параметра β в безразмерных величинах. В работе [4] среди прочих были рекомендованы значения $\beta=0,9$; $\omega=0,4$; $f_{кр}=0,08245$. Амплитуда опорного генератора f должна быть задана несколько меньше $f_{кр}$, таким образом, чтобы при поступлении на вход обнаруживаемого сигнала $d \sin \omega t$

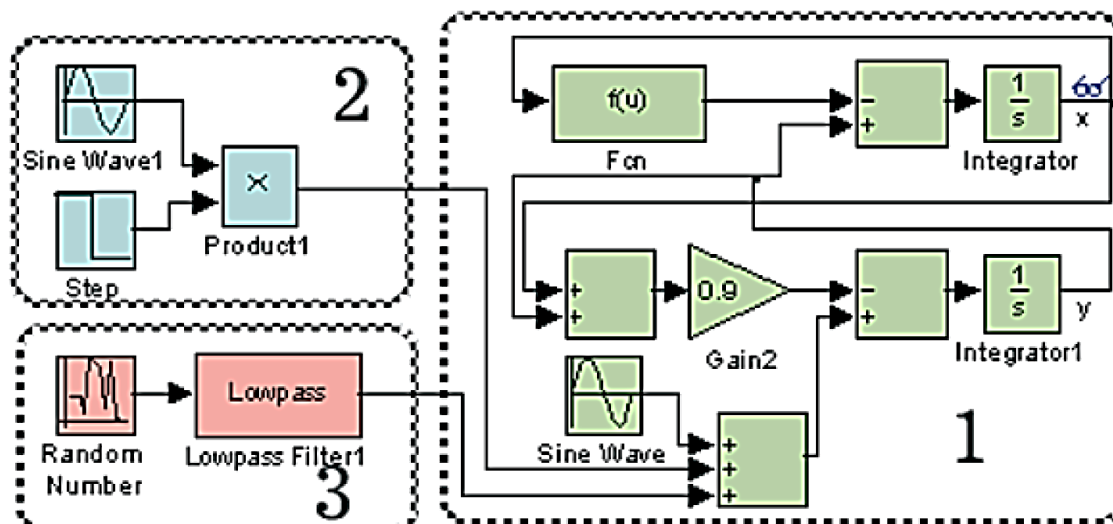


Рис. 1. Расчётная модель в Matlab/Simulink для решения уравнения (2). Цифрами обозначены: 1 – MLC-цепь; 2 – источник обнаруживаемого сигнала; 3 – источник шума

происходил бы переход из хаотического режима в периодический. Численные эксперименты позволили установить надёжное переключение режимов при надкритичности, составляющей не менее 0,1 %, а докритичности 1–2 % от $f_{кр}$. С использованием модели частотно-ограниченного генератора белого шума были установлены возможности обнаружения сигналов на фоне преобладающих шумов генератором хаоса.

Ширина полосы частот B генератора шума задавалась относительно частоты опорного генератора $\nu = \omega/(2\pi)$ таким образом, чтобы провести исследования при B/ν , принимающем значения от 2 до 50. Удалось установить способность к обнаружению для $B/\nu = 2$ при $SNR = -16$ дБ, а для $B/\nu = 50$ при $SNR = -28$ дБ, что было подтверждено физическим экспериментом [3].

Применяя масштабирующие коэффициенты к уравнению (2), параметры системы могут быть пересчитаны для любых частот, напряжений и токов. Рассмотрена возможность практического применения детектора слабых на фоне шума сигналов на примере фотоэлектрического датчика диффузного типа. Действительно, работа фотоэлектрического датчика в промышленных условиях часто может быть осложнена повышенной запыленностью окружающей среды или слабой отражательной способностью контролируемого объекта. Если мощность источника излучения невелика, то сигнал, поступающий на вход фотоприемника, будет очень слабым, что в результате предварительного усиления потребует использования детектора.

Структурная схема практической реализации приведена на рис. 2.

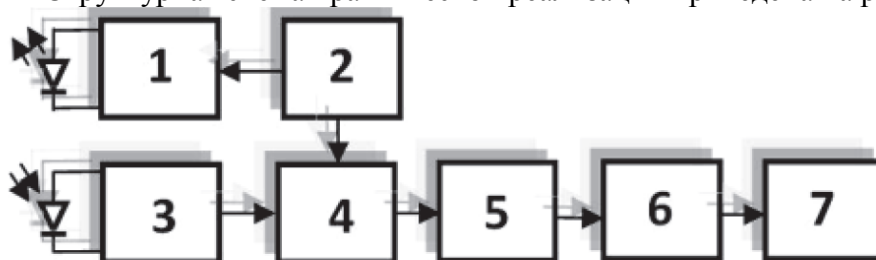


Рис. 2. Структурная схема фотоэлектрического датчика диффузного типа. Цифрами обозначены: 1 – драйвер светодиода; 2 – генератор синусоидальный; 3 – усилитель фотоприёмника; 4 – генератор хаоса; 5 – фильтр; 6 – детектор; 7 – компаратор

В основе устройства лежит синусоидальный генератор с частотой 10 кГц, который управляет светодиодом и одновременно служит ведущим для хаотического генератора.

Отраженный сигнал, принимаемый фотодиодом, усиливается с помощью частотной коррекции и подается на хаотический генератор.

Установившийся режим хаотического генератора является основным выходным параметром детектора. Для диагностики хаоса использовался фильтр нижних частот с частотой среза, не превышающей $\omega/3$, так как хаотический режим характеризуется наличием турбулентных излучений, приводящих к появлению в спектре большого количества низкочастотных составляющих. Затем отфильтрованный сигнал детектируется и подается на вход компаратора, где сравнивается с определенным значением. Порог сравнения устанавливается из учета максимальной вероятности обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги [5]. Время обнаружения определяется постоянной времени детектора.

Выводы

Использование хаотического генератора в качестве измерительного преобразователя возможно там, где требуется обнаружить периодический сигнал на фоне преобладающего шума.

Рассмотрена возможность использования неавтономного генератора хаоса в качестве детектора сигналов на примере MLC – схемы. Определены наиболее подходящие параметры системы, необходимые для работы генератора хаоса в качестве детектора сигналов.

Способность хаотического генератора обнаруживать периодические сигналы на фоне шума сильно варьируется в зависимости от полосы пропускания шума и SNR. В тех случаях, когда SNR становится меньше определенного значения, способность обнаружения резко падает даже при установке любого, сколь угодно длинного, интервала времени обнаружения. Причиной этого является ограниченная способность генератора поддерживать периодический режим при внешнем шумовом воздействии, поэтому мощность шумовых помех на входе детектора не должна превышать определенного значения.

Список литературы

1. Лысенко О. Фотоэлектрические датчики компании Sick AG //Электронные компоненты. – 2005. – № 5. – М.:ИД. «Электроника». – С. 8–10.
2. Домбровский А.Н., Решетняк С.А. О стохастической фильтрации сигналов в нелинейных электрических системах //Радиотехника и электроника. – 2009. – Т.54, № 11. – С. 1369–1371.
3. 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.
4. Патрушева Т.В. Выбор оптимальных режимов работы амплитудного измерительного преобразователя на основе генератора хаоса // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2012. – № 2. – С. 104–107.
5. Патрушева Т.В. Обнаружение слабых периодических сигналов на фоне шумов в приборах контроля, основанных на использовании генератора хаоса / Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев // Измерение, контроль, информатизация: материалы Четырнадцатой междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 46–51.
6. Chen H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring // J. Phys. Conf. Ser.13., London : IOP Publishing. – 2005. – P. 320–324.
7. Murali, K. The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit, Trans. Circuits Syst. – New York: Circuits and Sys-tems Society, 1994. – Vol. 41. – P. 462–463.

References

1. Lysenko O. Fotoelektricheskie datchiki kompanii Sick AG //Jelektronnye komponenty. 2005. no. 5. M.:ID. «Jelektronika». pp. 8–10.

2. Dombrovskij A.N., Reshetnjak S.A. O stohasticheskoy fi l'tracii signalov v nelinejnyh jelektricheskikh sistemah // Radiotekhnika i jelektronika. 2009. T.54, no. 11. pp. 1369–1371.
3. Patrusheva T.V. Amplitudnyj izmeritel'nyj preobrazovatel' na osnove generatora haosa / T.V. Patrusheva, E.M. Patru-shev // Tehnicheskie nauki – ot teorii k praktike. T. 38. Novosibirsk: Sibirskaja asociacija konsul'tantov, 2012. pp. 104–109.
4. Patrusheva T.V. Vybor optimal'nyh rezhimov raboty amplitudnogo izmeritel'nogo preobrazovatelja na osnove generatora haosa // Polzunovskij al'manah. Barnaul, 2012. no. 2. pp. 104–107.
5. Patrusheva T. V. Obnaruzhenie slabyh periodicheskikh signalov na fone shumov v priborah kontrolja, osnovannyh na ispol'zovanii generatora haosa / T.V. Patrusheva, E.M. Patrushev // Izmerenie, kontrol', informatizacija: materialy Chetyrnadcatoj mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2013. pp. 46–51.
6. Chen, H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring, J. Phys. Conf. Ser.13., London : IOP Publishing, 2005, pp. 320–324.
7. Murali, K. The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit, Trans. Circuits Syst., New York Circuits and Systems Society, 1994, Vol. 41. pp. 462–463.