

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ХАОСА НА БАЗЕ КАСКАДНОСВЯЗАННЫХ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Кукин Д. П., Гриневич Я. Г., Шатилова О. О.

Кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: kukin@bsuir.by

В докладе рассмотрены вопросы генерирования хаоса устройствами, созданными на основе систем фазовой синхронизации, предложен способ генерации хаотического сигнала, а также устройство генератора, созданного на базе упомянутого выше способа.

ВВЕДЕНИЕ

Принципы фазового управления находят широкое применение в различных областях современной техники. Система фазовой синхронизации (СФС) представляет собой схему, которая эффективно отслеживает разность фаз входного и опорного сигналов [3]. Если разность фаз между входным и подстраиваемым сигналами системы постоянна, то СФС «засинхронизована». Если происходит изменение фазы (частоты) входного или подстраиваемого сигналов, то фазовый детектор в СФС будет вырабатывать сигнал ошибки, пропорциональный величине и полярности изменения фазы. Этот сигнал ошибки вызовет изменение фазы (частоты) опорного сигнала, так что состояние синхронизации вновь восстанавливается. СФС используются для синхронизации генераторов различных частотных диапазонов, включая сверхвысокочастотный диапазон, таким образом, представляется возможным использование хаотических режимов в таких системах для генерации широкополосных сигналов.

В настоящее время в прямохаотических системах связи наибольшее применение получили транзисторные генераторы амплитудно-фазового хаоса. Их особенностью является наличие значительных флуктуации энергии хаотического радиоимпульса, особенно при малых длительностях импульсов. Для фазового хаоса, возникающего в СФС, такие флуктуации выражены значительно меньше, поэтому он является предпочтительным носителем информации для ряда приложений.

1. СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Основными недостатками широкоизвестных способов генерации широкополосных хаотических сигналов является их техническая сложность [4] и статичность параметров генератора [6]. На рис.1 представлена функциональная схема экспериментальной установки на основе микросхемы 74НС4046А, где I, II, III – фазовые системы, IV – генератор опорных колебаний; k_1, k_2

– величины обратной связи ($0 \leq k_{1,2} \leq 1$), для которой будет проводиться моделирование.

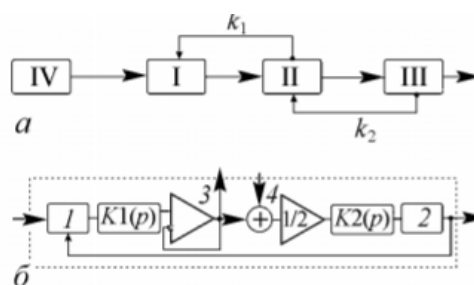


Рис. 1 – Пример ансамбля трех каскадносвязанных фазовых систем (а) и внутренняя структура фазовой системы

Все фазовые системы имеют одинаковую структуру (см. рис 1б): 1 – фазовый дискриминатор; 2 – генератор, управляемый напряжением; $K_1(p), K_2(p)$ – коэффициенты передачи фильтров низких частот первого порядка ($p = d/dt$); 3, 4 – точки выхода/входа сигнала для обеспечения обратной связи между кольцами управления фазовых систем. Коэффициенты передачи фильтров имеют вид $K_{1,2}(p) = 1/(1 + T_{1,2}p)$, где $T_{1,2}$ – постоянные времени фильтров, причем T_1 во всех системах зафиксирован, а состояние T_2 в ходе экспериментов варьировалось, так же как и k_1, k_2, f_1, f_2, f_3 (начальные частоты управляемых напряжением генераторов) и f_0 – частота опорных колебаний. Общий коэффициент передачи двух фильтров в кольце управления $K(p) = 1/(1 + (T_1+T_2)p + T_1T_2p^2)$ соответствует фильтру второго порядка, но при рассматриваемых условиях каждая фазовая система по отдельности обладает исключительно регулярной динамикой. В изолированной фазовой системе возможен либо синхронный, либо квазисинхронный регулярный режим, либо режим биений в зависимости от параметров фильтра и начальной частотной расстройки. Коллективная динамика трех каскадносвязанных фазовых систем качественно отличается от динамики одной системы. В ансамбле возможны различные регулярные и хаотические режимы. Присвоим каждому режиму три индекса $[i_1, i_2, i_3]$. Индекс i_j является 0, если j -я фазо-

вая система находится в синхронном или квазисинхронном режиме (фазовый сдвиг в данной системе фиксирован или изменяется в ограниченных пределах), и равен 1, если j -я фазовая система находится в режиме биений (фазовый сдвиг неограниченно нарастает или убывает). При $k_1 = 0$ и $k_2 = 0$ первая и вторая фазовые системы находятся в синхронном режиме, а третья – в квазисинхронном. При введении обратной связи от третьей системы ко второй появляются колебания в цепи управления второй системы, которые становятся хаотичными при достаточно малом k_3 . При введении обратной связи от второй к первой системе происходит возникновение хаотических модуляций в первой фазовой системе.

Таким образом, управляя величинами связи можно добиться возникновения хаотических колебаний в ансамбле, а также целенаправленно менять режимы хаоса, не меняя параметры элементов. В результате моделирования оказалось, что увеличение коэффициентов обратной связи приводит к увеличению амплитуды и к усложнению хаотических колебаний в кольце управления первой фазовой системы.

На рис. 2-4 представлены спектры хаотических колебаний в первой фазовой системе для различных значений коэффициентов связи k_1 , k_2 .

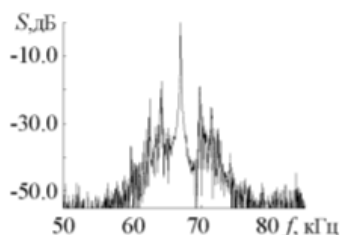


Рис. 2 – Режим $[0,0,1]$, $k_1 = k_2 = 0.2$

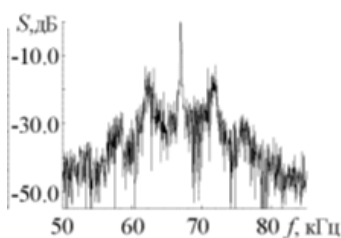


Рис. 3 – Режим $[0,1,1]$, $k_1 = 0.2$, $k_2 = 1.0$

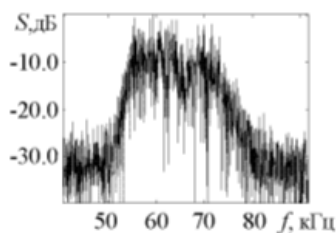


Рис. 4 – Режим $[1,1,1]$, $k_1 = k_2 = 1.0$

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования указывают на то, что ансамбль трех каскадносвязанных фазовых систем позволяет генерировать хаотические колебания в широких и однородных областях параметров. Управление хаотическими режимами с различными спектральными и корреляционными свойствами может осуществляться с помощью изменения величин связей без изменения внутренних параметров элементов ансамбля. Зафиксировано, что сигнал, соответствующий режиму хаотических биений, может обладать более равномерным и широким спектром, более резко спадающей автокорреляционной функцией в сравнении с сигналом, который соответствует квазисинхронному хаотическому режиму. Следовательно, режим хаотических биений также может быть использован в качестве несущих в широкополосных системах связи с некогерентным приемом.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А. С., Панас А. И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: ФМЛ, 2002. 252 с.
2. Залогин Н. Н., Кислов В. В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. М.: Радиотехника. 2006. 208 с.
3. Шахильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты, М.: Связь, 1972.
4. Korzinova M. V., Matrosov V. V. and Shalfeev V. D. Communications using cascade coupled phase-locked loop chaos // Int. J. Bifurcation and Chaos. 1998. Vol. 9, № 5. P. 963.
5. Мишагин К. Г., Матросов В. В., Шалфеев В. Д., Шохнин В. В. Экспериментальное исследование генерации хаотических колебаний в ансамбле двух каскадно-связанных фазовых систем // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31, вып. 24. С. 31.4
6. «Способ генерирования широкополосных свч хаотических сигналов и генератор широкополосных свч хаотических сигналов», Н03В29/00, 12.04.2005, пат. RU 2327278 С2.
7. Дмитриев А. С., Широков М. Е. "Выбор генератора для прямохаотической системы связи Радиотехника и электроника, 2004, т. 49, №7, с. 840-849.
8. Gardner F. M. Charge-Pump Phase-Lock Loops. // IEEE Transactions on Communications. Vol. com-28, №11 November, 1980, p. 1849-1858, пат. US 5055803.
9. Кукин, Д. П. Математическое описание многокольцевых систем фазовой синхронизации / Д. П. Кукин, И. Л. Свито // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 29 октября 2014 г. – Information Technologies and Systems 2014 (ITS 2014) : Proceeding of The International Conference, BSUIR, Minsk, 29th October 2014 / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 64–65.
10. Шилин, Л. Ю. Детерминированный хаос в передаче информации / Л. Ю. Шилин, Д. П. Кукин, Н. С. Жилач // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) = Information Technologies and Systems 2017 (ITS 2017) : материалы междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 октября 2017 года) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 64 - 65.