

DEVELOPMENT OF A RECEIVING-TRANSMITTING DEVICE BASED ON A CHAOTIC OSCILLATOR

Ibragimov Jakhongir

Tashkent State technical university named after Islam Karimov

master degree

Joxaibragimov@gmail.com

Автогенераторы являются источниками первичных колебаний. Они применяются во всех радиотехнических системах в качестве возбудителей передатчиков, источников опорных, эталонных сигналов и являются наиболее ответственными элементами [1].

Динамический хаос — сложное, неупорядоченное движение нелинейных систем, возникающее при отсутствии каких-либо случайных возмущений, — начиная с 1992 года привлекает к себе повышенное внимание в связи с устойчивой тенденцией перехода от теории к практике.

Для реализации нетрадиционных алгоритмов записи, хранения, обработки и передачи информации, использующих свойства хаотической динамики систем, необходимы генераторы хаоса (ГХ) — устройства, преобразующие энергию, взятую от некоторого внешнего источника, в энергию хаотических колебаний.

Интерес к применению эффектов хаотической динамики в современных информационных технологиях постоянно возрастает: об этом свидетельствует большое количество публикаций по данной тематике, появившихся в последние 5-10 лет, растущее число организаций, занимающихся данной тематикой, а также переход в самое последнее время от разрозненных научных изысканий к систематическим исследованиям, предпринимаемых в рамках государственных и международных программ.

Перспективными направлениями дальнейших работ являются:

- разработка специализированных прецизионных ИС генераторов хаоса;
- создание волоконно-оптических и кабельных сетей с использованием хаотических эффектов;
- развитие цифровых методов генерации хаоса, в частности, с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и цифровых сигнальных процессоров (ЦСП).

Генераторы хаоса в подавляющем большинстве просты по конструкции. Это является следствием требования воспроизводимости режимов работы и их характеристик. На рис. 1а,б приведена схема генератора Чуа. Она включает в себя четыре стандартных элемента (R , $C1$, $C2$, L) и нелинейное сопротивление (диод Чуа) с кусочно-линейной характеристикой (рис 1б). На сегодняшний день известно несколько схемотехнических решений диода Чуа. Все они представляют собой комбинации нескольких стандартных элементов с операционными усилителями и/или диодами. Реализация такого рода устройств на ИС малой степени интеграции предполагает индивидуальный подбор одинаковых элементов в передатчике и приёмнике с максимально возможной точностью.

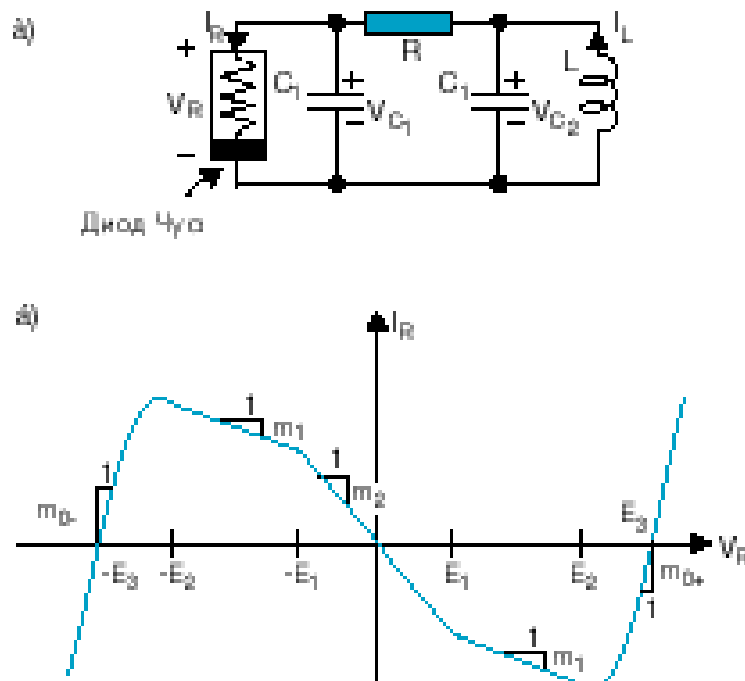


Рис.1. Схема генератора Чуа

ПЛИС как перспективная элементная база для высокоскоростных систем конфиденциальной передачи данных. Существует ещё один класс генераторов хаоса, которые изначально предназначены для функционирования в дискретном времени; они реализуют вычисления по нелинейным рекуррентным формулам типа $X_{n+1} = F(X_n)$, причём генерируемая последовательность чисел X_0, X_1, X_2 и т. д. обладает теми же свойствами, что и непрерывный хаотический сигнал. Основными операциями при реализации таких рекуррентностей являются сложение или вычитание, умножение на константу, перемножение сигналов или возведение в степень. В качестве примера можно привести несимметричное TENT-отображение (одномерное)

$$x_{n+1} = \begin{cases} 1 - \beta x_n, & x_n \geq 0 \\ 1 - \alpha x_n, & x_n < 0 \end{cases}$$

и отображение Хенона (двумерное)

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 - \alpha x_n + y_n \\ y_{n+1} = \beta x_n \end{cases}$$

Главные требования к таким генераторам сходны с теми, что предъявляются к цифровым фильтрам — максимальная производительность при минимальных шумах квантования при относительно ограниченном наборе выполняемых операций. Кроме того, отсутствуют внешние элементы, и вся система передачи данных может рассматриваться как быстродействующий цифровой автомат, в котором генератор хаоса является главной составной частью. ПЛИС — оптимальная элементная база для построения таких систем, в особенности, при наличии изменяемых параметров.

Для реализации генераторов хаоса наиболее пригодны ПЛИС семейства FLEX10K фирмы ALTERA, содержащие принципиально новые структурные элементы —

специализированные битовые блоки (СББ), предназначенные для эффективной реализации функций памяти и сложных арифметических и логических устройств (умножителей, конечных автоматов, цифровых фильтров и т. д.). Каждый такой блок представляет собой запоминающее устройство ёмкостью 2 кбит и позволяет сформировать память, работающую с циклом 12–14 нс. Использование СББ значительно повышает эффективность и быстродействие создания сложных логических устройств, например, умножителей. Так, каждый СББ может выполнять функции умножителя $4r4$, $5r3$ или $6r2$...

Поскольку при реализации отображений, подобных ТЕНТ-отображению, логистическому отображению [2] и другим, используется умножение на постоянную величину, то вместо перемножителя сигналов удобно использовать параллельный векторный перемножитель (ПВП), построенный на основе таблицы перекодировок (ТП), входящей в состав логического элемента (ЛЭ) ПЛИС [3].

ЦСП как инструмент приёма/передачи хаотических сигналов в звуковом диапазоне частот. В основе третьего подхода к реализации хаотических систем передачи информации лежит использование цифровых сигнальных процессоров (ЦСП). Режимы работы генераторов хаоса можно воспроизвести, решая численно их математические модели — системы дифференциальных уравнений (ДУ). При этом номиналы входящих в генератор элементов определяют параметры ДУ, то есть возможно обеспечить практически любую идентичность приёмника и передатчика (с точностью до единицы младшего разряда).

Такой подход был реализован на основе ЦСП ADSP 2181 фирмы Analog Devices. Для передачи речевых сообщений процессор использовался в составе отладочно-лабораторного комплекта EZ-KITlite совместно с ИС кодека AD1847.

В работе качестве генератора хаоса в ЦСП численно интегрировалась система трёх ДУ первого порядка, моделирующая генератор Чуа. Для передачи сообщений использовалась схема с нелинейным подмешиванием информационного сигнала. Простота генератора хаоса (около 150 операций на отсчёт) позволяла в реальном времени осуществлять генерацию и обработку хаотического сигнала в звуковом диапазоне частот (0–25 кГц). Уровень остаточных шумов на выходе приёмника составлял не более -70 дБ. Несмотря на ограничение точности из-за использования 16-разрядного целочисленного представления данных в процессоре, приёмник обеспечивал достаточно высокое качество передаваемой речевой и музыкальной информации. На рис. 1 приведены осциллограммы передаваемого (вверху) и извлекаемого приёмником (внизу) музыкального фрагмента. К сожалению, оказалось невозможно обрабатывать сигналы радиодиапазона (из-за недостаточного быстродействия ЦСП).

Основное свойство хаотических сигналов — это высокая воспроизводимость при сильной стохастизации этих колебаний. Это значит, что несмотря на схожие со случайными процессами характеристики, хаос в то же время в целом предсказуем. Это открывает широкие возможности для применения хаотических колебаний в теории и практике передачи информации. Сохраняя все положительные качества широкополосных систем передачи информации — возможность работы при низких отношениях С/Ш, высокую помехозащищённость, устойчивость к явлению многолучевости, — широкополосные системы с хаос-сигналами практически гарантируют невозможность “подслушивания” в силу своей непериодичности [1].

Поскольку это генератор, значит, его можно использовать для радиосвязи, а раз этот генератор необычный, радиосвязь можно сделать защищённой. Существует несколько типов модуляции хаотического сигнала, от простого маскирования информационного сигнала, до высокоуровневой цифровой модуляции. Высокая чувствительность хаотического генератора позволяет использовать его в качестве

детектора слабых сигналов. Также сообщалось о создании генератора случайных чисел на основе данной схемы. Кроме того, спектр данного генератора лежит в звуковом диапазоне, так что этой схемой не преминули воспользоваться концептуальные музыканты. К тому же лёгкость практической реализации, а также наличие относительно простой математической модели делает генератор Чуа удобной моделью при изучении теории хаоса.

Литературы

1. С. А. Гудков, А. А. Потудинский. Устройства генерирования и формирования сигналов. Самара, [Электронный ресурс]. 2013.
2. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. — М.: Наука. — 1992.
3. Губанов Д.А., Стешенко В.Б., Храпов В.Ю., Шипулин С.Н. Перспективы реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе ПЛИС фирмы ALTERA // Chip News. — 1997. — № 9-10. — С. 26–33.