

(ICNS), Dulles, VA, USA, 2022, pp. 1–9, doi: 10.1109/ICNS54818.2022.9771537.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662503 Российская Федерация. CMSS Data Converter / Конвертер данных CMSS : № 2020661140 : заявл. 28.09.2020 : опубл. 14.10.2020 / А.В. Ильченко.

4. Motorola Capacity Max [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.motorolasolutions.com/en_us/products/mototrbo-systems/mototrbo-private-systems/mototrbo-capacity-max.html#taboverview.

5. Ильченко, А.В. Управление разнородными авиационными информационными системами коммуникаций как непрерывный сервис / А.В. Ильченко, В.В. Михайлов, М.А. Бутакова // Технологии разработки информационных систем трис-2021 : материалы XI Международной научно-технической конференции, пгт. Коктебель, 18–25 сентября 2021 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 118–122.

УДК 621.396

Т.Б. Шарифуллин, маг.; В.В. Афанасьев, проф.
(КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия)

ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КРЕСТ-ФАКТОРЫ СИГНАЛОВ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ TSUC СИСТЕМЫ

Современные системы связи с носителями информации на основе динамического хаоса активно применяются при конфиденциальной передаче информации. Для формирования шумоподобных псевдослучайных сигналов широко используют дискретно-нелинейные радиоэлектронные системы с хаотической динамикой [1].

Снижение крест-фактора (CF) формируемых псевдослучайных сигналов (определяемого отношением максимальное значение сигнала к его среднеквадратичному значению) повышает энергетическую эффективность радиопередающей аппаратуры прямохаотических систем связи на эффектах динамического хаоса [2–4]. Эффективно построение генераторов 3-D псевдослучайных сигналов на основе модифицированных управляемых нелинейных TSUC систем (Three-Scroll Unified Chaotic System) с хаотической динамикой [3].

Цель работы – обоснование выбора диапазонов изменения параметров управляемой дискретно-нелинейной TSUC системы с целью снижения крест-факторов формируемых псевдослучайных сигналов.

Динамика многолепестковой TSUC описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = a(y - x) + dxz, \quad \dot{y} = bx - xz + fy, \quad \dot{z} = cz + xy - ex^2, \quad (1)$$

где x, y, z – переменные системы; a, d, b, f, c, e – управляющие параметры системы [4].

После задания начальных значений x_0, y_0, z_0 , путем численного интегрирования системы (1) по процедуре Эйлера с интервалом временной дискретизации Δt , на протяжении заданного интервала T в работе производилось формирование массивов $x_i, y_i, z_i, i = 1, \dots, (N = T / \Delta t)$, дискретных отсчетов псевдослучайных сигналов переменных x, y, z системы TSUC [5].

Управление дискретно-нелинейной TSUC системой выполнялось изменением управляющих параметров a, d, b, f, c, e , при вариации Δt . Установлена зависимость крест-факторов CF формируемых псевдослучайных сигналов от выбора начальных значений x_0, y_0, z_0 , из-за возникающего переходного процесса установления устойчивого хаотического режима работы TSUC системы. Показано, что для устранения возможного аномального увеличения CF, необходим выбор x_0, y_0, z_0 , обеспечивающих сокращение продолжительности переходного процесса, а также стробирование формирования массивов x_i, y_i, z_i на время $T_{\text{стр}}$, превышающего в 1,5-2 раза длительность переходного процесса.

Исследовано влияние изменения a, d, b, f, c, e на параметры и статистические характеристики сигналов, формируемых управляемой TSUC системой при изменении Δt . Показано, что при сохранении тактовой частоты формирователя псевдослучайных сигналов, с увеличением Δt повышается быстродействие, но увеличивается погрешность численного решения системы (1). Обоснованы рекомендации по выбору Δt , обеспечивающего (100...300) дискретных отсчетов за период квазирезонансных колебаний $T_{\text{кр}}$ в TSUC системе. В табл. 1 представлены полученные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной системы, от изменения базового системного параметра a , при рекомендуемом выборе x_0, y_0, z_0 .

Таблица 1 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра a

Сигнал переменной	Параметр a					
	35	37	39	41	43	45
x	4.59	4.25	4.11	4.45	5.01	5.23
y	3.95	3.63	3.26	4.84	6.29	6.47
z	2.19	2.17	2.22	2.19	2.21	2.24

Характерные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной системы TSUC, от изменения базового системного параметра b , приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра b

Сигнал переменной	Параметр b					
	50	52	54	56	58	60
x	4.15	3.85	3.17	3.18	3.41	3.39
y	4.65	4.31	4.25	4.15	4.21	4.33
z	2.19	2.19	2.11	2.14	2.08	2.12

В табл. 3 представлены полученные зависимости крест-факторов CF сигналов x, y, z исследуемой дискретно-нелинейной TSUC системы, от изменения базового системного параметра f .

Таблица 3 – Зависимости CF сигналов TSUC системы от параметра f

Сигнал переменной	Параметр f					
	18	19	21	22	23	24
x	3.85	3.43	3.17	3.25	3.68	3.84
y	4.31	4.42	4.35	3.63	3.32	3.25
z	2.12	2.13	2.14	2.15	2.11	2.14

Полученные зависимости позволяют выбирать диапазоны возможных изменений параметров управляемой TSUC системы, с учетом предъявляемых требований к крест-факторам формируемых псевдослучайных сигналов на основе управляемой многолепестковой дискретно-нелинейной TSUC системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса. – М.: Техносфера, 2012. – 424с.
2. Козел В.М., Подворная Д.А., Ковалёв К.А. Пик-фактор сигналов систем сухопутной подвижной службы 5G / Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), 18(6), 2020. – С. 5–10.
3. L. Pan, W. Zhou, J. Fang, D. Li. A new three-scroll unified chaotic system coined / International Journal of Nonlinear Science, Vol. 10, No. 4, 2010, pp. 462–474.
4. Ahmed, A.M., Al-Sawalha, M.M. Secure communication based on synchronization of uncertain-parameter three-scroll unified chaotic system / Nonlinear Dynamics, 85(3), 2016, pp. 1939–1951.
5. Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В. Особенности моделирования формирователей шумоподобных сигналов на базе TSUCS с динамическим хаосом // VI НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ» ТТТ-2023. XXV Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2023. Казань, 22-24 ноября 2023 г. – Том 1. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2023. – С. 443–444.