

## Преобразование фазоманипулированных сигналов фильтрами селективного подавления узкополосных помех и маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца

Э.Р. Марданишин<sup>1</sup>, В.В. Афанасьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственное унитарное предприятие «Центр информационных технологий Республики Татарстан»

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева

**Аннотация:** Проведено моделирование и исследование фильтров селективной режекции узкополосных помех с априорно неизвестной частотой и избирательного подавления многомерных псевдослучайных сигналов дискретно-нелинейной системы Лоренца. Исследованы преобразования фазоманипулированных сигналов в цифровых селективных нелинейных режекторных фильтрах.

**Ключевые слова:** ФМн-сигнал, режекторный фильтр, узкополосная помеха, система Лоренца, псевдослучайный сигнал.

### I. Введение

Методы селективного подавления сигналов по форме наиболее эффективны при перекрытии гармонических спектров сигналов и помех. Одним из широко известных видов помех, действующих на радиотехнические системы связи, являются узкополосные помехи в виде гармонического сигнала с априорно неизвестной частотой. Известны методы подавления узкополосных помех на основе перестраиваемых фильтров, однако, при быстро меняющейся сигнально-помеховой обстановке и изменении частоты узкополосной помехи, такие методы оказываются недостаточно эффективными. Для избирательного подавления узкополосных помех, при априорно неизвестной и быстроменяющейся частоте помехи, эффективно применение функционально-режекторных фильтров (ФРФ), избирательно подавляющих гармонические сигналы по форме, синтезируемых по принципу двухканальности теории инвариантности [1]. Следует отметить, что селективное подавление сигналов эффективно для подавления маскирующих сигналов сложной формы, например,

---

порождаемых радиоэлектронными нелинейными системами с динамическим хаосом [2]. В современных системах конфиденциальной связи с хаотической маскировкой, эффективно использование маскирующих трехмерных псевдослучайных сигналов, формируемых управляемыми нелинейными системами Лоренца, Чуа, Дмитриева-Кислова, Анищенко-Астахова с хаотической динамикой [3,4]. Одним из подходов избирательного подавления маскирующих помех с последующим выделением полезного сигнала является применение нелинейных ФРФ для селективного режектирования трехмерных псевдослучайных сигналов, порождаемых радиоэлектронными дискретно-нелинейными системами с динамическим хаосом [5,6].

Нелинейные ФРФ неизбежно вызывают искажения действующих полезных сигналов [7,8], поэтому эффективность применения таких устройств неразрывно связана с параметрами, характеристиками и формой информационных сигналов. В современных цифровых системах передачи информации широко используются информационные фазоманипулированные (ФМн) сигналы, преобразование которых в нелинейных ФРФ исследовано в настоящее время недостаточно детально, что указывает на необходимость анализа прохождения ФМн-сигналов через режекторные фильтры, для количественной оценки возможности выделения полезной информации по выходным сигналам фильтров.

Цель работы – исследование преобразования сигналов с фазовой манипуляцией в цифровых режекторных фильтрах селективного подавления маскирующих гармонических сигналов и псевдослучайных сигналов, порождаемых радиоэлектронными дискретно-нелинейными системами Лоренца с динамическим хаосом.

## II. Преобразование ФМн-сигналов фильтрами селективного подавления гармонических сигналов

Функционально-режекторные фильтры селективного подавления гармонических сигналов, синтезированные по принципу двухканальности теории инвариантности, могут быть реализованы на базе интегро-дифференцирующих устройств и перемножителей сигналов [9]. Избирательное подавление на основе различий в формах сигналов, при помощи ФРФ проводится путем инвариантного режектирования в соответствии с алгоритмом [1]:

$$U_{out}(t) = L_I(t) - L_{II}(t), \quad (1)$$

где:  $L_I(t) = L\{U_{in}(t)\}L\{L\{U_{in}(t)\}\}$ ,  $L_{II}(t) = U_{in}(t)L\{L\{L\{U_{in}(t)\}\}\}$ ,  $L$  – элементарный базовый линейный оператор, например, оператор дифференцирования или интегрирования. Согласно (1), выходной сигнал ФРФ на основе интегрирования, определяется по:

$$U_{out}(t) \approx \left[ \left( U_{in}(t) \cdot \int_0^t \int_0^t \int_0^t (U_{in}(t)) dt \right) - \left( \int_0^t (U_{in}(t)) dt \cdot \int_0^t \int_0^t (U_{in}(t)) dt \right) \right],$$

а выходной сигнал ФРФ на основе дифференцирования:

$$U_{out}(t) \approx \left[ \left( U_{in}(t) \cdot \frac{d^2 U_{in}(t)}{dt^2} \right) - \left( \frac{dU_{in}(t)}{dt} \cdot \frac{d^2 U_{in}(t)}{dt^2} \right) \right].$$

При входном гармоническом сигнале вида  $U_{in}(t) = A \cdot \cos(w \cdot t)$ , на выходе ФРФ с интегрирующими устройствами формируется:

$$U_{out}(t) = \frac{A^2 \cdot \cos(w \cdot t) \cdot \sin(w \cdot t)}{w^3} - \frac{A^2 \cdot \cos(w \cdot t) \cdot \sin(w \cdot t)}{w^3} = 0, \quad (2)$$

а на выходе ФРФ с дифференцирующими устройствами:

$U_{out}(t) = A^2 \cdot w^3 \cdot \cos(w \cdot t) \cdot \sin(w \cdot t) - A^2 \cdot w^3 \cdot \cos(w \cdot t) \cdot \sin(w \cdot t) = 0$ , что обеспечивает подавление сигналов синусоидальной формы, причем это селективное подавление в ФРФ достигается при различных значениях априорно

неизвестной частоте  $\omega$ . Структурная схема рассматриваемых ФРФ селективного подавления сигналов синусоидальной формы представлена на Рис.1 где: 1, 2, 3 – интегрирующее (или дифференцирующее) устройство, 4, 5 – перемножитель, 6 – усилитель с заданным коэффициентом усиления, 7 – вычитающее устройство.

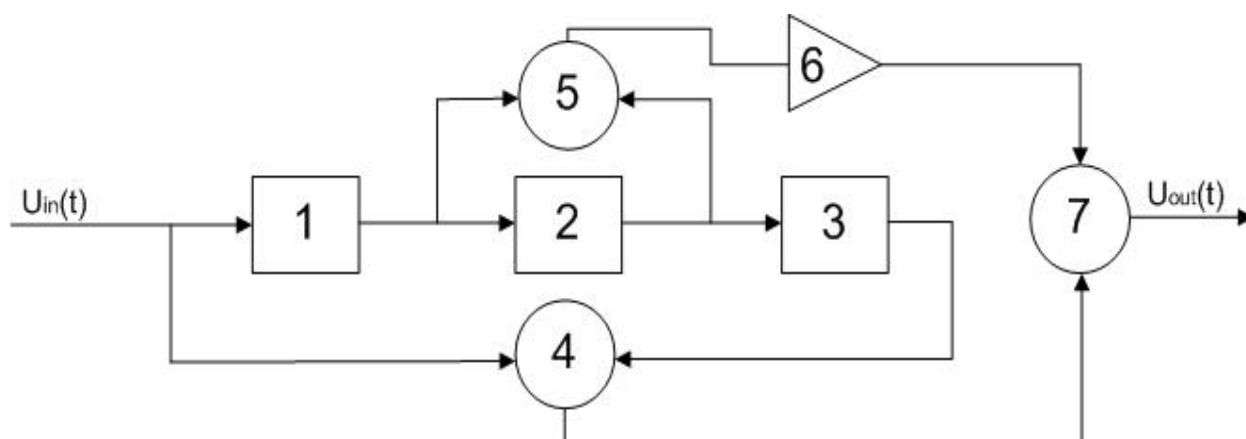


Рис. 1. Структурная схема функционально – режекторных фильтров селективного подавления сигналов

Для снижения чувствительности работы ФРФ к действующим высокочастотным шумам, целесообразно применение фильтра с интегрирующими устройствами. Отметим, что предлагаемый ФРФ может быть применен также для избирательного подавления сигналов и других форм - экспоненциальных, линейных, квадратичных, степенных, дробно-степенных, путем выбора значений весовых коэффициентов усилителя 6, что является важным достоинством, расширяющим функциональные возможности данного фильтра селективного подавления сигналов по форме.

Для оценки возможности выделения полезной информации, при прохождении ФМн-сигнала через нелинейный ФРФ, в работе проведены аналитические исследования и моделирование фильтра. Входной ФМн-сигнал с коммутацией фазы в момент времени  $t_0$ , при конечной длительности изменения фазы сигнала, совершаемой за время  $t_0 \leq t \leq \Delta t$ , представим в виде:

$$U_{in}(t) \approx \begin{cases} b + a \cdot t, t_0 \leq t \leq \Delta t \\ A \cdot \sin(w \cdot t + \varphi_2), \Delta t < t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

где:  $b = A \cdot \sin(w \cdot t_0 + \varphi_1)$ ;  $a = \frac{A \cdot \sin(w \cdot (\Delta t + t_0) + \varphi_2) - A \cdot \sin(w \cdot t_0 + \varphi_1)}{\Delta t + t_0}$ ;  $A$  – амплитуда

сигнала;  $w$  – частота сигнала;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – фазы сигналов.

С учетом (2) и (3) при  $t_0=0$  амплитуда выходного сигнала в конце интервала  $\Delta t$  определяется по:

$$U_{out}(a, b, \Delta t) = \left( \frac{(\Delta t)^2 \cdot (3 \cdot b + a \cdot \Delta t) \cdot \left( \frac{a \cdot (\Delta t)^2}{2} + b \cdot \Delta t \right)}{6} \right) - \left( \frac{(\Delta t)^3 \cdot (4 \cdot b + a \cdot \Delta t) \cdot (b + a \cdot \Delta t)}{24} \right) \quad (4)$$

На основе (4) оценена возможность определения моментов коммутации фазы входного сигнала путем построения зависимостей отношения среднеквадратического отклонения (СКО) выходного сигнала ( $\sigma_{out}$ ) к СКО входного сигнала ( $\sigma_{in}$ ) при изменении разности фаз сигнала  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ . Полученные зависимости отношения  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  от  $\Delta\varphi$  при вариации значения параметра «а», нормированного к длительности интервала  $\Delta t$  и фиксированном значении  $b/A=1$ , представлены на Рис.2, для характерных значений  $a/\Delta t = 0,4$  (зависимость 1),  $0,8$  – (зависимость 2), и  $1$  – (зависимость 3).

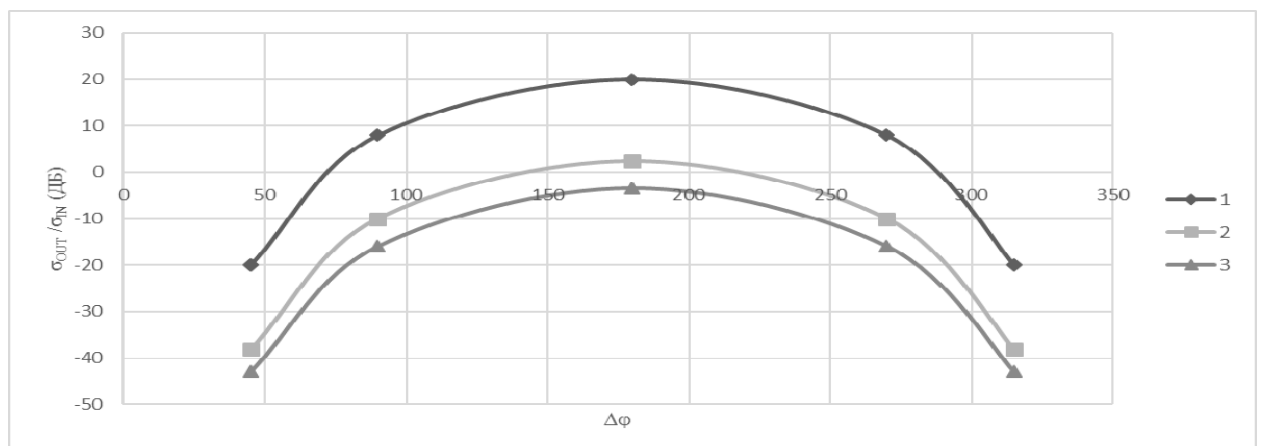


Рис. 2. Зависимости  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  от изменения  $\Delta\varphi$  при вариации «а»

Установлено, что отношение  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  не менее 20дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $a/\Delta t = 0,4$ ; не менее 2,3дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $a/\Delta t = 0,8$  и не менее -3,5дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $a/\Delta t = 1$ .

Результаты исследования зависимости  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  от изменения  $\Delta\varphi$ , при фиксированном значении  $a/\Delta t=0,8$  и вариации значения  $b/A$ , представлены на Рис.3, где зависимость 1 получена для случая  $b/A = 1$ ; зависимость 2 - для  $b/A = (\sqrt{2})/2$ ; зависимость 3 - для  $b/A = 1/2$ .

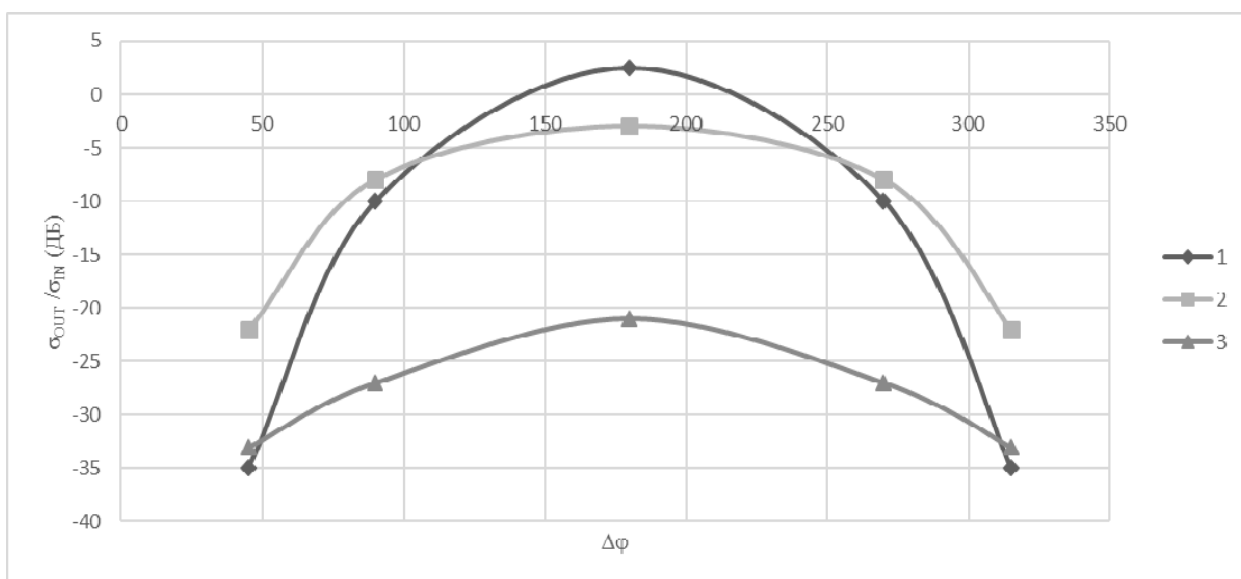


Рис. 3. Зависимости  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  от изменения  $\Delta\varphi$  при вариации  $b/A$

Установлено, что  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  не менее 2,5дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $b/A= 1$ ; не менее -3дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $b/A = (\sqrt{2})/2$  и не менее -21дБ достигается при  $\Delta\varphi = 180$ ,  $b/A = 1/2$ . Показано, что предлагаемый цифровой нелинейный ФРФ, при выборе нормированной частоты дискретизации  $N$  от 300 до 400, позволяет выделить полезную информацию на выходе фильтра, заключённую в коммутации фазы ФМн-сигнала, причем выбор значения  $\varphi_1 = \pi/2$  обеспечивает выигрыш в  $\sigma_{out} / \sigma_{in}$  на выходе фильтра не менее 25дБ по сравнению с  $\varphi_1 = \pi$ .

### **III. Преобразование ФМн-сигналов фильтрами селективного подавления маскирующих псевдослучайных сигналов**

Применение новых носителей информации на основе динамического хаоса являются перспективным направлением развития конфиденциальных систем радиосвязи [2]. В системах конфиденциальной связи с хаотической маскировкой, эффективно использование маскирующих псевдослучайных сигналов, формируемых нелинейными системами с хаотической динамикой. При наличии аддитивных информационных сигналов, методы анализа и диагностики 3-D псевдослучайных сигналов, формируемых радиоэлектронными дискретно-нелинейными системами Лоренца с динамическим хаосом, основанные на негармонических спектральных представлениях псевдослучайных сигналов [13,14] и их представлениях вероятностными смесями [15,16], не позволяют оценить эффективность режектирования по форме 3-D псевдослучайных сигналов. Поэтому необходимо проведения дополнительных исследований преобразования ФМн-сигналов в цифровых селективных ФРФ избирательного подавления 3-D сигналов, порождаемых радиоэлектронными дискретно-нелинейными системами Лоренца с динамическим хаосом.

Режекторный фильтр трехмерных сигналов, генерируемых системой Лоренца, представляет собой трехканальный цифровой фильтр, каналы которого обеспечивают селективное режектирование соответствующей компоненты, генерируемого трехмерного сигнала [11,12]. Каждый канал реализуется согласно принципу двухканальности теории инвариатности. Применение режекторного фильтра 3-D сигнала ограничено неизбежными нелинейными искажениями полезных сигналов, поэтому такие фильтры рекомендуется использовать в случаях, когда возможно выделение полезной информации при возникающем нелинейном преобразовании сигналов, аналогично режекторным фильтрам подавления гармонических сигналов с

---

априорно неизвестной частотой в системах связи с фазовой манипуляцией. Избирательное подавление продифференцированных компонент 3-D сигнала, формируемых на основе дискретно-нелинейной системы Лоренца, предлагается проводить путем режектирования по принципу двухканальности согласно:

$$U_{outxd}(t) = \left[ \frac{d(U_{inx}(t))}{dt} \right] - \left[ \sigma \cdot (U_{iny}(t) - U_{inx}(t)) \right],$$
$$U_{outyd}(t) = \left[ \frac{d(U_{iny}(t))}{dt} \right] - \left[ U_{inx}(t) \cdot (r - U_{inz}(t)) - U_{iny}(t) \right],$$
$$U_{outzd}(t) = \left[ \frac{d(U_{inz}(t))}{dt} \right] - \left[ U_{inx}(t) \cdot U_{iny}(t) - b \cdot U_{inz}(t) \right],$$

где:  $U_{inx}(t)$ ,  $U_{iny}(t)$ ,  $U_{inz}(t)$  -  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  компоненты входного 3-D сигнала, соответственно,  $\sigma$ ,  $r$ ,  $b$  - параметры системы Лоренца,  $U_{outxi}(t)$ ,  $U_{outyi}(t)$ ,  $U_{outzi}(t)$  - сигналы на выходе режекторного фильтра 3-D сигналов с дифференцированием.

Селективное подавление компонент  $U_{inx}(t)$ ,  $U_{iny}(t)$ ,  $U_{inz}(t)$  сигналов системы Лоренца предлагается выполнять на основе интегрирования согласно:

$$U_{outxi}(t) = \left[ \int_0^t \left[ \sigma \cdot (U_{iny}(t) - U_{inx}(t)) \right] dt \right] - U_{inx}(t),$$
$$U_{outyi}(t) = \left[ \int_0^t \left[ U_{inx}(t) \cdot (r - U_{inz}(t)) - U_{iny}(t) \right] dt \right] - U_{iny}(t),$$
$$U_{outzi}(t) = \left[ \int_0^t \left[ U_{inx}(t) \cdot U_{iny}(t) - b \cdot U_{inz}(t) \right] dt \right] - U_{inz}(t),$$



где  $U_{out_{xi}}(t)$ ,  $U_{out_{yi}}(t)$ ,  $U_{out_{zi}}(t)$  - выходные сигнала ФРФ на основе интегрирования. Структурная схема ФРФ с интегрированием компонент 3-D сигнала представлена на Рис.4 где: 1,2,3 –устройства интегрирования сигналов, 4,5,6,7,8,9,10 – вычитающие устройства, 11,12,13,14 – перемножители,  $U_{in_x}(t)$ ,  $U_{in_y}(t)$ ,  $U_{in_z}(t)$ - компоненты входного 3-D сигнала,  $U_{out_{xi}}(t)$ ,  $U_{out_{yi}}(t)$ ,  $U_{out_{zi}}(t)$  - компоненты выходного сигнала режекторного фильтра.

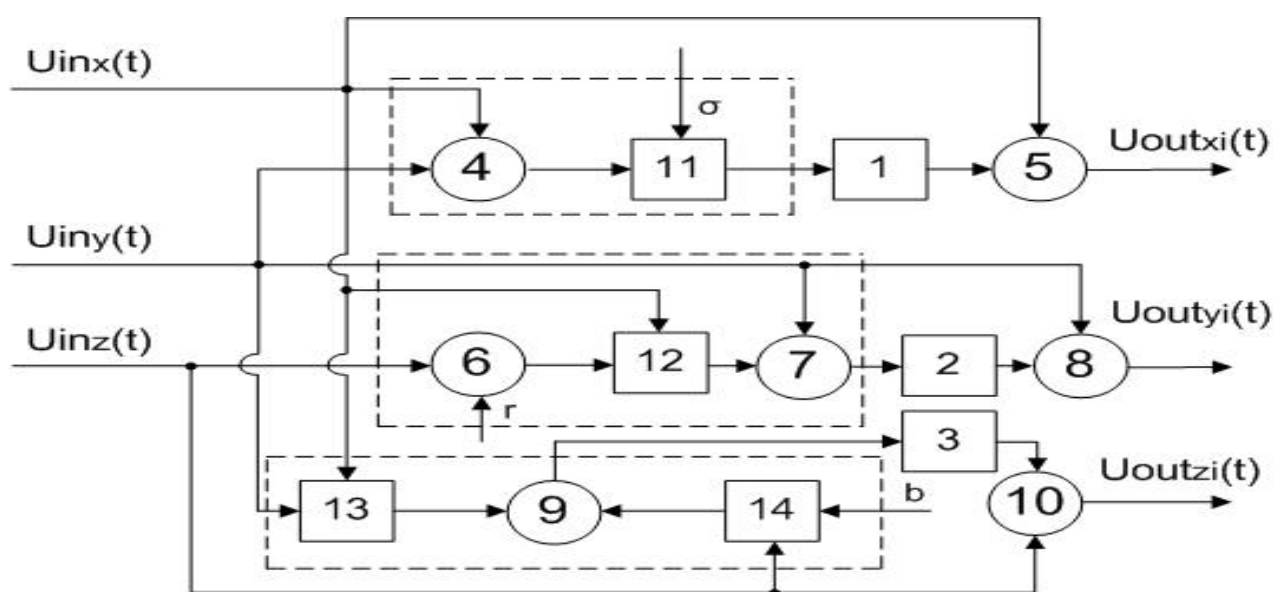


Рис. 4. Структурная схема режекторного фильтра с интегрированием компонент 3-D сигнала дискретно-нелинейной системы Лоренца

Структурная схема исследуемого в работе ФРФ с дифференцированием компонент 3-D сигнала представлена на Рис.5 где: 1,2,3 –устройства дифференцирования сигналов, 4,5,6,7,8,9,10 – вычитающие устройства, 11,12,13,14 – перемножители,  $U_{in_x}(t)$ ,  $U_{in_y}(t)$ ,  $U_{in_z}(t)$  - компоненты входного 3-D сигнала,  $U_{out_{xd}}(t)$ ,  $U_{out_{yd}}(t)$ ,  $U_{out_{zd}}(t)$  - компоненты выходного сигнала режекторного фильтра трехмерных сигналов.

Управляемые радиоэлектронные дискретно-нелинейные системы Лоренца служат эффективным источником маскирующих псевдослучайных

сигналов в системах связи на эффектах динамического хаоса [17,18]. Псевдослучайные сигналы с требуемыми статистическими характеристиками, формируемые на базе систем с хаотической динамикой, находят применение в криптографии, системах связи, радиомодемах локальных сетей связи [19,20].

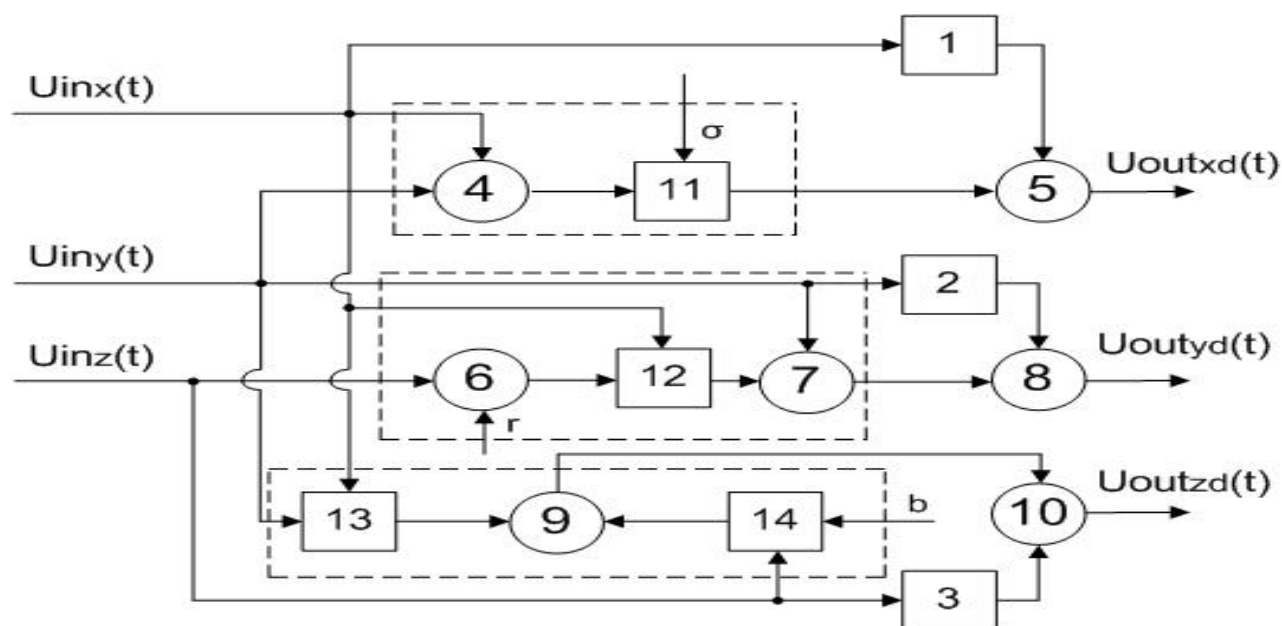


Рис. 5. Структурная схема режекторного фильтра с дифференцированием компонент 3-D сигнала дискретно-нелинейной системы Лоренца

Для оценки эффективности предлагаемого режекторного фильтра 3-D сигналов в системах передачи информации с аддитивными маскирующими сигналами, порождаемыми дискретно-нелинейными системами Лоренца, в работе проведено исследование преобразования режекторным фильтром аддитивных смесей ФМн-сигналов с маскирующими компонентами 3-D сигналов системы Лоренца.

В цифровых системах выбор временной дискретизации сигнала особенно важен при формировании сигналов на базе дискретно-нелинейных систем с динамическим хаосом [10]. Конечность шага дискретизации неизбежно приводит к возникновению дополнительных шумов на выходе каналов режекторного фильтра, что требует проведения дополнительных

исследований по выбору нормированного числа отсчетов  $N$  временной дискретизации сигналов, приходящихся на их период. При помощи пакета «Mathcad» исследовано влияние частоты дискретизации сигналов на работу фильтра с учетом преобразования ФМн-сигнала, путем оценки отношения (с/п) СКО выходного сигнала к СКО помехи в зависимости от  $N$ , для маскирующих  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ - компонент 3-D сигнала, формируемого дискретно-нелинейной системой Лоренца, при коммутации на  $\pi$  фазы информационного ФМн-сигнала.

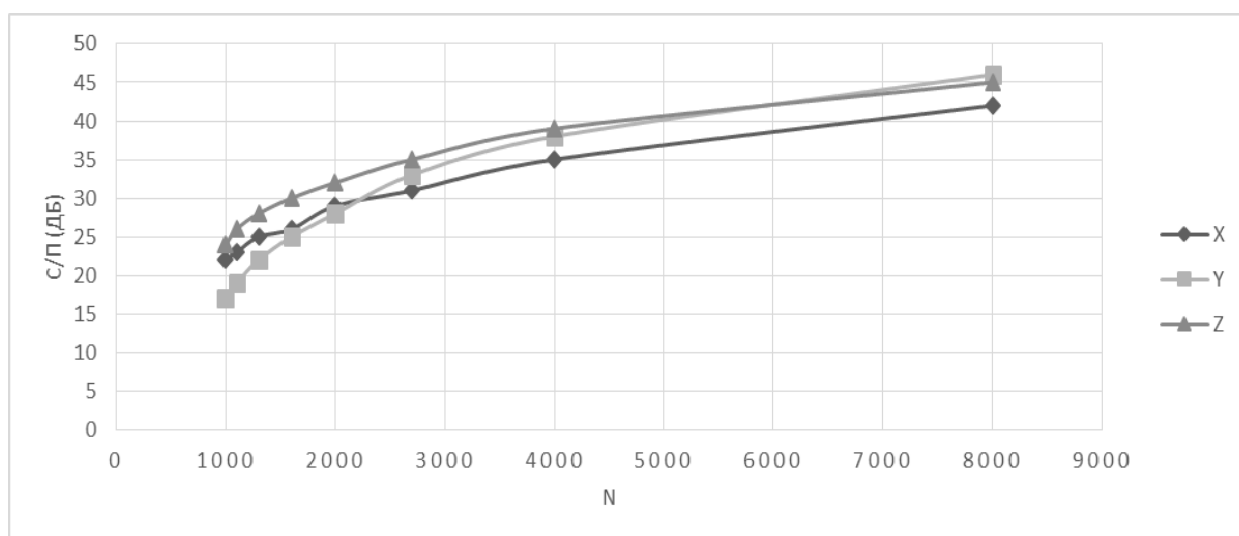


Рис. 6. Зависимости отношения с/п от  $N$  на выходе каналов фильтра селективного подавления маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца

Полученные зависимости отношения с/п от  $N$  на выходе каналов фильтра селективного подавления маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца при входных маскируемых ФМн-сигналах, представлены на Рис.6, откуда следует, что при входных ФМн-сигналах с коммутацией фазы на  $\pi$ , маскируемых псевдослучайными сигналами дискретно-нелинейной системы Лоренца, при с/п на входе фильтра не ниже -22дБ, применение предлагаемого режекторного фильтра позволяет получить, при изменении  $N$  от 1000 до 6000, отношение с/п на выходе фильтра от 15 дБ до

35 дБ. Следует подчеркнуть, что полученный выигрыш, приведенный для смесей ФМн-сигналов с сигналами системы Лоренца, указывает на принципиальную возможность применения режекторных фильтров при неизбежном нелинейном преобразовании ФМн-сигналов, когда моменты коммутации фазы могут быть выделены по выходным сигналам фильтров. Действие дополнительных мультипликативных шумов и помех в реальной сигнально-помеховой обстановке, снижающее эффективность режектирования, выходит за рамки данной работы и будет рассмотрено при дальнейших исследованиях ФРФ избирательного подавления по форме сигнала.

#### IV. Выводы

1. Применение цифровых ФРФ селективного подавления сигналов по форме, синтезируемых по принципу двухканальности теории инвариантности, целесообразно в системах передачи информации с информационными ФМн-сигналами при действии аддитивных гармонических сигналов и маскирующих сигналов, порождаемых радиоэлектронными дискретно-нелинейными системами Лоренца с динамическим хаосом.

2. Предлагаемый цифровой нелинейный ФРФ подавления гармонических сигналов позволяет выделить полезную информацию на выходе фильтра, заключённую в коммутации фазы ФМн-сигнала, причем отношение с/п на выходе фильтра для  $\varphi_1 = \pi/2$  не менее, чем на 25 дБ больше по сравнению с  $\varphi_1 = \pi$ , что указывает на целесообразность фиксации моментов коммутации фазы при применении предлагаемых цифровых устройств селективного подавления сигналов. Выбор значения  $\varphi_1 = \pi/2$  обеспечивает выигрыш в отношении с/п на выходе фильтра не менее 25 дБ по сравнению с  $\varphi_1 = \pi$ .

3. Преобразование полезных ФМн-сигналов в режекторном фильтре при аддитивных маскирующих сигналах, формируемых на основе дискретно-нелинейной системы Лоренца, при входном с/п не ниже -22 дБ, сохраняет возможность выделения полезной информации на выходе фильтра, заключённой в коммутации фазы ФМн-сигнала, с обеспечением на выходе фильтра с/п не менее 15 дБ. Действие аддитивных и мультипликативных шумов и помех, дополнительных к маскирующим сигналам, приводит к снижению эффективности режектирования.

### Литература

1. Афанасьев В.В., Польский Ю.Е., Методы анализа, диагностики и управления поведением нелинейных устройств и систем с фрактальными процессами и хаотической динамикой: Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 219с.

2. Дмитриев А.С., Панас А.И., Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002.-252с.

3. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа. // Телекоммуникации. 2012. № 12. С. 26.

4. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Статистические характеристики двоичных псевдослучайных сигналов, формируемых на основе систем Дмитриева-Кислова и Анищенко-Астахова // Инфокоммуникационные технологии. 2012. Т. 10. № 2. С. 4-7.

5. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Влияние квазирезонансных управляющих воздействий на корреляционные характеристики сигналов, формируемых на основе системы Лоренца // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2007. № 1. С. 38-40.

---



6. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Импульсные случайные процессы в анализе и диагностике нелинейных систем с динамическим хаосом // Радиотехника и электроника, 2013, том 58, № 4, С. 382 – 388.

7. Афанасьев В.В., Марданшин Э.Р. Параметрические режекторные фильтры импульсных сигналов // Нелинейный мир, 2015. N.8. - С.15-18.

8. Афанасьев В.В., Ильин Г.И. Режектирование квазидетерминированных случайных процессов при измерении разности фаз в системах оптического исследования атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16. № 4. С. 322-324.

9. Афанасьев В.В., Марданшин Э.Р. Нелинейные функционально-режекторные фильтры узкополосных помех // Нелинейный мир. 2017.Т. 15. № 1. - С. 3-7.

10. Афанасьев В.В., Михайлов С.В., Польский Ю.Е., Торопов А.Ю. Влияние основных параметров моделирования на ЭВМ на поведение динамических систем со странными аттракторами // Письма в Журнал технической физики. 1995. Т. 21. № 23. С. 10-14.

11. Афанасьев В.В., Марданшин Э.Р. Нелинейные функционально-режекторные фильтры сигналов // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2017. Т. 8. № 3. С.75-77.

12. В.В. Афанасьев, Э.Р. Марданшин. Селективное режектирование трехмерных сигналов, порождаемых дискретно-нелинейной системой Лоренца // Нелинейный мир. 2017. Т. 15. № 6. С. 49-53.

13. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Ценцевицкий А.А. Дробно-степенные спектры сигналов систем с хаотической динамикой // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2008. № 4. С. 42-47.

14. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных

---



сигналов на основе систем с динамическим хаосом // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т. 11. № 2. С. 9-13.

15. В.В. Афанасьев, С.С. Логинов. Полигауссовы модели в представлении распределений вероятностей сигналов нелинейной системы Лоренца с динамическим хаосом // Успехи современной радиоэлектроники. – 2012. – № 12. – С. 10 – 14.

16. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Полигауссовы модели в описании сигналов динамической системы Лоренца // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № 2 (34). С. 32-38.

17. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Новый класс цифровых радиоэлектронных динамических систем // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3777](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3777).

18. Dmitriev A.S., Hasler M., Panas A.I. / Nonlinear phenomena in complex systems, 2003, vol. 6, no 1, pp. 488-501.

19. Dmitriev A.S., Panas A.I., Starkov S.O. Method for transmission information using chaotic signals / Canadian patent 2, 416, 702. Granted and issued 2011/07/19.

20. Демьяненко А. В., Топалов Ф.С., Ильин И.В. USB радиомодем // Инженерный вестник Дона, 2015, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2789](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2789).

### References

1. Afanas'ev V.V., Pol'skij YU.E., Metody analiza, diagnostiki i upravleniya povedeniem nelinejnyh ustrojstv i sistem s fraktal'nymi processami i haoticheskoj dinamikoj [Methods of analysis, diagnostics and control of the behavior of nonlinear devices and systems with fractal processes and chaotic dynamics]: Monografiya. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, 2004. 219 p.



2. Dmitriev A.S., Panas A.I., Dinamicheskij kaos: novye nositeli informacii dlya sistem svyazi [Dynamic chaos: new information carriers for communication systems]. M.: Izdatel'stvo Fiziko-matematicheskoy literatury, 2002. 252 p.

3. Afanas'ev V.V., Loginov S.S., Pol'skij YU.E. Telekommunikacii. 2012. № 12. p. 26.

4. Afanas'ev V.V., Loginov S.S., Pol'skij YU.E. Infokommunikacionnye tekhnologii. 2012. T. 10. № 2. pp. 4-7.

5. Afanas'ev V.V., Loginov S.S., Pol'skij YU.E. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2007. № 1. pp. 38-40.

6. Afanas'ev V.V., Loginov S.S. Radiotekhnika i ehlektronika, 2013, tom 58, № 4, pp. 382 – 388.

7. Afanas'ev V.V., Mardanshin EH.R. Nelinejnyj mir, 2015. N.8. pp.15-18.

8. Afanas'ev V.V., Il'in G.I. Optika atmosfery i okeana. 2003. T. 16. № 4. pp. 322-324.

9. Afanas'ev V.V., Mardanshin EH.R. Nelinejnyj mir. 2017. T. 15. № 1. pp. 3-7.

10. Afanas'ev V.V., Mihajlov S.V., Pol'skij YU.E., Toropov A.YU. Pis'ma v ZHurnal tekhnicheskoy fiziki. 1995. T. 21. № 23. pp. 10-14.

11. Afanas'ev V.V., Mardanshin EH.R. Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov. 2017. T. 8. № 3. pp. 75-77.

12. V.V. Afanas'ev, EH.R. Mardanshin. Nelinejnyj mir. 2017. T. 15. № 6. pp. 49-53.

13. Afanas'ev V.V., Loginov S.S., Cencevickij A.A. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2008. № 4. pp. 42-47.

14. Afanas'ev V.V., Loginov S.S. Infokommunikacionnye tekhnologii. 2013. T. 11. № 2. pp. 9-13.





15. V.V. Afanas'ev, S.S. Loginov. Uspekhi sovremennoj radioelektroniki. 2012. № 12. pp. 10 – 14.

16. Afanas'ev V.V., Loginov S.S. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Radiotekhnicheskie i infokommunikacionnye sistemy. 2017. № 2 (34). pp. 32-38.

17. Afanas'ev V.V., Loginov S.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3777](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3777).

18. Dmitriev A.S., Hasler M., Panas A.I. Nonlinear phenomena in complex systems, 2003, vol. 6, no 1, pp. 488-501.

19. Dmitriev A.S., Panas A.I., Starkov S.O. Method for transmission information using chaotic signals. Canadian patent 2, 416, 702. Granted and issued 2011/07/19.

20. Dem'yanenko A. V., Topalov F.S., Il'in I.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine /archive/n1y2015/2789](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2789).