

УДК 621.376.52

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-46-52

Особенности применения фазоманипулированных псевдослучайных сигналов без обработки на борту в системах спутниковой связи с нелинейным ретранслятором

А. Н. Мурсаев, кандидат технических наук, Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

С. В. Зинкин, кандидат технических наук, Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

Проанализированы особенности применения фазоманипулированных псевдослучайных сигналов без обработки на борту в системах спутниковой связи с нелинейным ретранслятором. В частности рассмотрен процесс прохождения сигналов через нелинейный ретранслятор с учетом возникающих комбинационных помех. Более подробно уделено внимание одному из способов помехозащиты линий спутниковой связи – использованию пространственной обработки сигналов и помех в антенных системах. В зависимости от типа и количества обслуживаемых абонентами антенными системами реализация вышеуказанного способа может быть при помощи пространственной селекции сигналов и помех, базирующейся на использовании антенн с узкими диаграммами направленности; пространственной режекции помех, основанной на использовании адаптивных антенных систем, формирующих провалы в диаграмме направленности в направлении на источники помех; подавлении узкополосных помех в режекторном частотном фильтре и совместном применении всех перечисленных способов подавления помех. Размещение многолучевых антенн на борту спутника-ретранслятора помимо повышения помехозащищенности линий спутниковой связи обеспечивает: повышение энергетического потенциала линии спутниковой связи; многократное повторное использование частот; многостанционный доступ с временным разделением и коммутацией лучей на борту; формирование заданной зоны обслуживания из системы независимых парциальных лучей с пересекающимися узкими диаграммами направленности; защищенность линий спутниковой связи за счет локализации электромагнитного излучения в узком телесном угле.

Применение на борту спутника-ретранслятора многолучевых антенн с большим числом независимо управляемых лучей существенно усложняет ретранслятор и ухудшает его массогабаритные характеристики. По этой причине в существующих системах спутниковой связи используются многолучевые антенны, имеющие, как правило, не более 7...10 лучей с независимым управлением.

Ключевые слова: фазоманипулированный псевдослучайный сигнал, система спутниковой связи, нелинейный ретранслятор.

Введение

Анализ прохождения сигналов и помех через нелинейный ретранслятор показывает, что при наличии на его входе специфических помех, например, совпадающих или симметричных относительно частоты сигнала, возникают комбинационные помехи, полностью повторяющие структуру сигнала, но противофазные ему по несущей частоте. Следовательно, при передаче через ретранслятор сигналов с расширением спектра вида

$$u_1(t) = U_1 \cos[\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_0],$$

где $\varphi_c(t)$ – закон изменения фазы несущей сигнала; φ_0 – помеха; t – время; U_1 – уровень усиления; ω_c – частота сигнала,

и гармонической помехи с частотой $\omega_n = \omega_c$ на выходе ретранслятора, а значит, и на входе земной станции, будет присутствовать смесь сигнала и помех вида

$$u_{\text{вх}}(t) = A_s \cos[\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_0] - A_{\text{кп}} \cos[\omega_c t - \varphi_c(t) + \varphi_{\text{кп0}}] + n(t),$$

где A_s и $A_{\text{кп}}$ – амплитуда сигнала и имитирующей комбинационной помехи; $\varphi_{\text{кп0}}$ – фаза комбинационной помехи, $n(t)$ – все остальные помехи и шумы.

При рассмотрении данного вопроса помеха $n(t)$ принципиального значения не имеет и в дальнейшем учитываться не будет.

В числе различных антенных систем ретрансляторов, в частности среди антенн с узкими диаграммами направленности, наибольший интерес вызывают многолучевые антенны.

Цель работы – теоретически исследовать возможность применения фазоманипулированных псевдослучайных сигналов без обработки на борту в системах спутниковой связи с нелинейным ретранслятором с многолучевыми антеннами узкой диаграммы направленности.

Моделирование фазоманипулированного псевдослучайного сигнала

При корреляционной обработке сигнала в ретрансляторе принимаемая смесь перемножается с когерентным опорным сигналом

$$u_0(t) = 2 \cos[\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_0].$$

В данном случае амплитуда его выбрана равной двум в целях математического удобства преобразований. Сигнал на выходе перемножителя [1, 2]

$$\begin{aligned} u_{\text{вых}}(t) &= u_{\text{вх}}(t)u_0(t) = \\ &= A_s - A_{\text{кп}} \cos[2\varphi_c(t) + \varphi_0 + \varphi_{\text{кп}0}] + \\ &\quad + A_s \cos 2[\omega_c t + \varphi_c(t) + \varphi_0] - \\ &\quad - A_{\text{кп}} \cos[2\omega_c t - \varphi_c(t) - \varphi_{\text{кп}0}]. \end{aligned}$$

На выходе коррелятора (интегратора) последние два слагаемые будут подавлены, т. е.

$$u_{\text{вых}}(t) = A_s - A_{\text{кп}} \cos[2\varphi_c(t) + \theta_0].$$

Если передаваемый сигнал модулирован с девиацией фазы, равной π ($\varphi(t)$) (принимает значение 0 или π), тогда помеховый отклик коррелятора

$$u_{\text{кп.вых}}(t) = -A_{\text{кп}} \cos \theta_0.$$

Следовательно, если помеха будет иметь начальную фазу такую, что $\varphi_{\text{кп}0} = \varphi_0$, т. е. $\theta_0 = 0$ (θ_0 – значение ширины диаграммы направленности антенны ретранслятора), то отклик на выходе коррелятора

$$u_{\text{вых}}(t) = A_s - A_{\text{кп}}.$$

При отношении H_1 мощности помехи $P_{\text{п}1}$ и мощности сигнала $P_{\text{с}1}$

$$H_1 = P_{\text{п}1} / P_{\text{с}1} \gg 1$$

эти величины становятся сравнимыми по уровню, поэтому с учетом их разных полярностей суммарный отклик при обработке сигналов может оказаться малым и не обеспечит требуемой верности в приеме сигнала [3].

Для ослабления влияния подобного вида помех в передающем устройстве осуществляется дополнительная модуляция сигнала таким образом, чтобы разнос соседних значений фаз составлял величину $\pi/2$. Тогда на выходе перемножителя устройства корреляционной обработки комбинационная помеха будет иметь вид фазоманипулированного по закону ПСП сигнала с девиацией фазы, равной π . Следова-

тельно, на выходе интегратора (ФНЧ) она будет ослаблена примерно в B_c (база сигнала) раз и не будет оказывать существенного влияния на помехоустойчивость приема основного сигнала [4, 5].

Одним из основных способов помехозащиты линий спутниковой связи является использование пространственной обработки сигналов и помех в антенных системах. При этом в зависимости от типа и количества обслуживаемых абонентов антенные системы реализуется метод пространственной селекции сигналов и помех, базирующийся на использовании антенн с узкими диаграммами направленности; метод пространственной режекции помех, основанный на использовании адаптивных антенных систем, формирующих провалы в диаграмме направленности в направлении на источники помех; метод подавления узкополосных помех в режекторном частотном фильтре и комбинированные методы, основанные на совместном применении всех перечисленных способов подавления помех [6–9].

Антенны с узкими диаграммами направленности имеют ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности менее 1...3 градусов. Выигрыш в помехозащищенности линий спутниковой связи, получаемый при использовании антенн с узкими диаграммами направленности, определяется уровнем боковых лепестков нормированной диаграммы направленности в направлении на источник помехи B_A :

$$B_A = G_c / G_{\text{п}},$$

где G_c , $G_{\text{п}}$ – коэффициенты усиления антенны в направлении на источник полезного сигнала и на источник помехи соответственно.

Среди различных антенных систем с узкими диаграммами направленности наибольший интерес вызывают многолучевые антенны, с помощью которых возможно формирование нескольких узких лучей диаграммы направленности, позволяющих обслуживать большое число территориально распределенных абонентов. Как правило, требуется, чтобы эти лучи имели независимое управление, обеспечивающее им возможность сканирования в пространстве в процессе поиска абонентов и обслуживания их перемещений [10, 11].

Многолучевые антенны в общем случае включают в себя излучающую часть (ИЧ) и диаграммообразующую схему (ДОС) с входами антенны, представляющими собой поперечные сечения каких-либо линий передач (рис. 1).

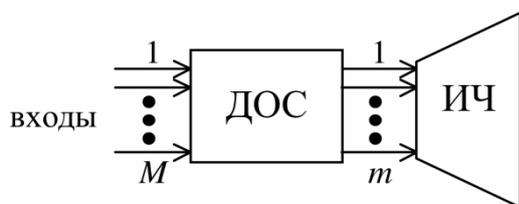


Рис. 1. Структурная схема многолучевой антенны

Fig. 1. Block diagram of a multipath antenna

По способу реализации излучающей части многолучевые антенны разделяют на апертурные антенны и антенные решетки [12, 13].

Апертурные многолучевые антенны обычно реализуются на основе антенн оптического типа – линзовых или зеркальных. Основным достоинством их является простота конструкции. В фокальной плоскости таких антенн расположена система облучателей, являющаяся аналогом диаграммообразующей схемы и выполненная, например, в виде антенной решетки. Центральный облучатель совпадает с фокусом и формирует луч, направленный вдоль оптической оси антенны. При возбуждении остальных облучателей формируются лучи, отклоненные от оси. Недостатками апертурных многолучевых антенн являются «переливание» энергии за края зеркала и, как следствие, низкий коэффициент использования поверхности антенны, а также увеличение эффекта взаимной связи при сближении облучателей с целью повышения уровня пересечения соседних диаграмм направленностей [14].

Для компенсации первого недостатка обычно увеличивают электрические размеры апертурных многолучевых антенн, что ограничивает возможности их применения. Второй недостаток обуславливает необходимость использования сложной в конструктивном исполнении системы облучателей, обеспечивающей ортогональность формируемых диаграмм направленностей. Поэтому для апертурных многолучевых антенн характерно небольшое количество формируемых независимых лучей.

Несмотря на отмеченные недостатки, благодаря простоте и легкости конструкции апертурные многолучевые антенны нашли широкое применение в качестве бортовых антенн [15].

Наиболее перспективным типом многолучевых антенн является многолучевая антенная решетка, конструкция которой зависит от планируемого типа и количества абонентов. Основным элементом схемы многолучевой антенной решетки, осуществляющим пространственную об-

работку сигналов, является диаграммообразующая схема. Входы диаграммообразующей схемы являются независимыми, и каждому из них соответствует свой луч. При возбуждении любого из M входов (см. рис. 1) в излучающей части формируется равноамплитудное распределение с линейным изменением фазы. При этом фазовый сдвиг между соседними излучателями антенной решетки и, соответственно, направление максимума диаграммы направленности зависят от номера входа. Требуемое амплитудно-фазовое распределение формирует диаграммообразующую схему, управление которой осуществляется переключением входов с помощью электронного коммутатора, так как все необходимые амплитудно-фазовые соотношения для формирования лучей «запрограммированы» в ее схеме [16].

На практике применяют обычно диаграммообразующие схемы параллельного и последовательного типов. Параллельная диаграммообразующая схема (схема Батлера) дает возможность составления многолучевой антенной решетки с различным числом излучателей и входных каналов из одинаковых трехдцибельных направленных ответвителей (НО), например, мостового типа, и фиксированных фазовращателей (ФВ). На рисунке 2 показана диаграммообразующая схема параллельного типа, предназначенная для формирования четырех независимых лучей. Там же показаны фазовые соотношения на выходе мостов. Недостатками таких схем является использование только бинарного числа излучателей и частотнозависимое положение формируемых лучей в пространстве [17].

Последовательная диаграммообразующая схема (схема Бласса) позволяет формировать веер независимых лучей при произвольном числе излучателей и входных каналов антенны. Направления лучей, формируемых многолучевой антенной решеткой этого типа, могут быть независимы от частоты [18]. Последовательные диаграммообразующие схемы реализуются на основе взаимно пересекающихся фидерных линий, связанных в местах пересечений с помощью направленных ответвителей (рис. 3). Фазовые сдвиги между соседними излучателями реализуются наклоном фидеров относительно друг друга. Линии нагружены на концах на согласованные нагрузки, что уменьшает КПД схемы. Если число излучателей многолучевой антенной решетки последовательного типа совпадает с числом ее входов, то согласованные нагрузки из схемы можно исключить [19].

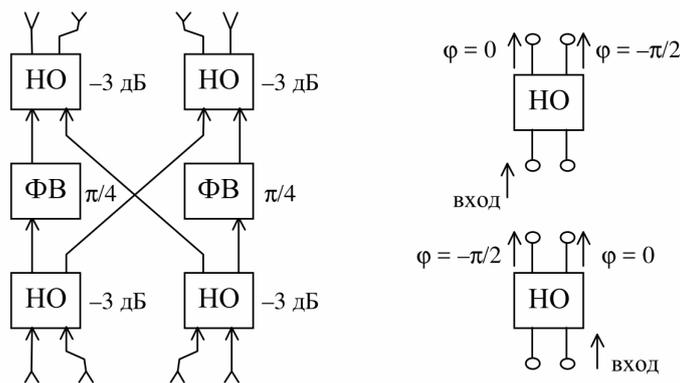


Рис. 2. Диаграммообразующая схема параллельного типа

Fig. 2. Diagram-forming scheme of the parallel type

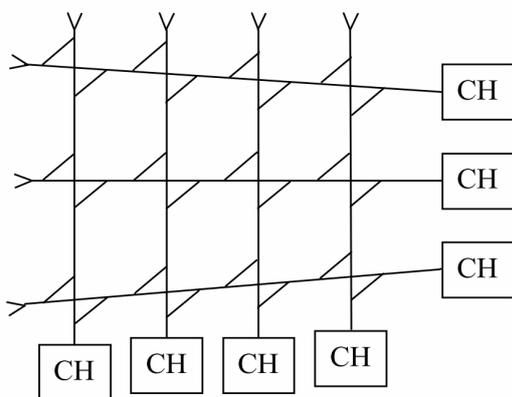


Рис. 3. Диаграммообразующая схема последовательного типа

Fig. 3. A diagram-forming scheme of a sequential type

Общим недостатком многолучевой антенной решетки на основе матричных диаграммообразующих схем является большое количество мостовых устройств, статических фазовращателей и сложной разветвленной фидерной схемы. Кроме того, при использовании рассмотренных схем построения многолучевой антенной решетки в двумерных (плоских) решетках число элементов питания резко возрастает [20].

Одно из основных направлений совершенствования многолучевых антенн заключается в рациональном сочетании достоинства многолучевых и однолучевых устройств и построении многофункциональных антенных систем. Примером такого сочетания является использование многолучевой антенной решетки совместно с фазированной антенной решеткой. Использование многолучевой антенной решетки в качестве излучающих элементов фазированной антенной решетки дает возможность электронного сканирования несколькими независимыми остронаправленными лучами или позволяет существенно расширить сектор однолучевого ска-

нирования при сохранении высокого коэффициента усиления и формы диаграммы направленности антенны.

При помощи Xilinx System Generator систем MATLAB и MathCAD было проведено теоретическое моделирование пропускной способности нелинейного многолучевого ретранслятора с применением фазоманипулированных псевдослучайных сигналов, подвергаемых воздействию комбинационных помех. Получены результаты, которые представлены на рисунке 4, где $N_{л}$ – количество однолучевых антенн в нелинейном ретрансляторе; $K_{об}$ – количество обслуживаемых абонентов через ретранслятор.

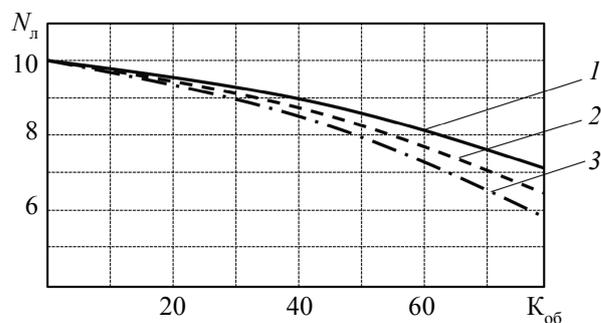


Рис. 4. Теоретически смоделированная пропускная способность нелинейного ретранслятора: 1 – пропускная способность без помех; 2 – пропускная способность с фазированной антенной решеткой; 3 – пропускная способность с комбинационными помехами

Fig. 4. Theoretically modeled bandwidth of a nonlinear repeater: 1 - bandwidth without interference; 2 - bandwidth with a phased array antenna; 3 - bandwidth with combinational interference

Как видно из рисунка 4, пропускная способность нелинейного многолучевого ретранслятора зависит от уровня комбинационных помех и применяемых мер по их снижению.

Научная новизна – применение фазоманипулированных псевдослучайных сигналов без обработки на борту в системах спутниковой связи с нелинейным ретранслятором с многолучевыми антеннами узкой диаграммы направленности, конструкция которых будет зависеть от типа и количества планируемых абонентов.

Выводы

Из-за сравнительно высокого уровня боковых лепестков диаграмм направленности многолучевых антенн получаемый при их использовании выигрыш в помехозащищенности линий B_d спутниковой связи ограничивается величиной 20...30 дБ. Размещение многолучевых антенн на борту спутника-ретранслятора помимо повышения помехозащищенности линий спутниковой связи обеспечивает:

- 1) повышение энергетического потенциала линии спутниковой связи (эффективная изотропно излучаемая мощность обратно пропорциональна ширине диаграммы направленности);
- 2) многократное повторное использование частот;
- 3) многостанционный доступ с временным разделением и коммутацией лучей на борту;
- 4) формирование заданной зоны обслуживания (контурного луча) из системы независимых парциальных лучей с пересекающимися узкими диаграммами направленности;
- 5) защищенность линий спутниковой связи за счет локализации электромагнитного излучения в узком телесном угле.

Применение на борту спутника-ретранслятора многолучевых антенн с большим числом независимо управляемых лучей существенно усложняет ретранслятор и ухудшает его массогабаритные характеристики. По этой причине в существующих системах спутниковой связи используются многолучевые антенны, имеющие, как правило, не более 7...10 лучей с независимым управлением.

Библиографические ссылки

1. Харченко А. В., Ушаков И. А. Модель наземно-космической командно-информационной сети с формированием маршрута передачи данных в условиях внешних помеховых воздействий на радиоканал // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1 (86). С. 23–30.
2. Зорин В. А., Савельев Р. К. Оценка качества передачи речи на глобальной сети спутниковой связи с размещением космических аппаратов связи на низких и средних орбитах по объективной модели уровня пакетов // Труды учебных заведений связи. 2016. № 1. С. 58–62.

3. Агиевич С. Н., Луценко С. А. Применение ретранслированных помех в целях воздействия на спутниковые системы радиосвязи с фазоманипулированными широкополосными сигналами // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 7. С. 413–420.

4. Головкин В. В., Кузовников А. В., Есипенко А. А. Система спутниковой связи на низких орбитах для обеспечения высокоскоростной передачи данных // Наукоемкие технологии. 2016. Т. 17, № 7. С. 19–21.

5. Паришуткин А. В., Маслаков П. А. Исследование помехоустойчивости современных стандартов спутниковой связи к воздействию нестационарных помех // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53). С. 159–177.

6. Liu F., Su M., Li J., Li Y., Chen M. Research on Satellite Communication System for Interference Avoidance. Space Information Networks SINC 2019: Communications in Computer and Information Science, vol. 1169, Springer, Singapore, 2020.

7. Марданишин Э. Р., Афанасьев В. В. Преобразование фазоманипулированных сигналов фильтрами селективного подавления узкополосных помех и маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). С. 49.

8. Gerard Maral, Michel Bousquet, Zhili Sun. Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology, 6th Edition. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2020, 792 p.

9. Daniel Minoli. Innovations in satellite communication and satellite technology: the industry implications of DVB-S2X, high throughput satellites: Ultra HD, M2M, and IP. John Wiley & Sons Publ., Hoboken, New Jersey, 2015, 423 p.

10. Cheng S., Gao Y., Cao J., Guo Y., Du Y., Hu S. Application of Neural Network in Performance Evaluation of Satellite Communication System: Review and Prospect. Artificial Intelligence in China, Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 572, Springer, Singapore, 2020.

11. Huang J., Cao J. Recent Development of Commercial Satellite Communications Systems, Artificial Intelligence in China: Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 572, Springer, Singapore, 2020

12. Louis J., Ippolito Jr. Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance, Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2017, 458 p.

13. Liu Z., Li J., Wang Y., Li X., Chen S. HGL: A hybrid global-local load balancing routing scheme for the Internet of Things through satellite networks. *International J. of Distributed Sensor Networks*, 2017, vol. 13.

14. Rogerio Atem de Carvalho, Jaime Estela, Martin Langer. Nanosatellites: Space and Ground Technologies, Operations and Economics. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2020, 712 p.

15. Karasuwa A., Eastment J., Otung I. Interference Mitigation for Multi Spot Beam Satellite Communication Systems Incorporating Spread Spectrum. Wireless and Satellite Systems WiSATS 2016: Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences. *Social Informatics*

and *Telecommunications Engineering*, vol. 186, Springer, Cham, 2017.

16. Чупига А. Ф., Цимбал В. А., Пашищев В. П. Методика системного анализа проблемы синтеза структуры и параметров технических средств систем спутниковой связи по требованиям энергетической скрытности и помехоустойчивости // Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А. С. Попова. В 6 т. Воронеж : Воронежский государственный университет, 2019. С. 305–311.

17. Дворников С. В., Якушенко С. А., Лянгузов Д. А. Динамический выбор радиолиний для систем подвижной спутниковой связи // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5, № 4. С. 28–36.1.

18. Зубов Т. А., Баскова А. А., Сухотин В. В. Формирование структуры компьютерной модели для оценки влияния параметров бортового ретрансляционного комплекса на сигнал // Космические аппараты и технологии. 2018. № 4 (26). С. 192–197.

19. Иванов В. И. Алгоритм централизованной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в негеостационарной спутниковой системе связи с межспутниковыми линиями // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 69–105.

20. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи / А. Степанов, А. Акимов, А. Гриценко, В. Чазов // Спутниковая связь и вещание. 2016. С. 72–87.

Reference

1. Kharchenko A.V., Ushakov I.A. [Model of a ground-space command and information network with the formation of a data transmission route in the conditions of external interference effects on the radio channel]. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*, 2017, no. 1, pp. 23-30 (in Russ.).

2. Zorin V.A., Savel'ev R.K. [Evaluation of the quality of speech transmission on the global satellite communication network with the placement of communication spacecraft in low and medium orbits using an objective model of the packet level]. *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*, 2016, no. 1, pp. 58-62 (in Russ.).

3. Agievich S.N., Lutsenko S.A. [The use of retransmitted interference in order to influence satellite radio communication systems with phase-manipulated broadband signals]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 7, pp. 413-420 (in Russ.).

4. Golovkov V.V., Kuzovnikov A.V., Esipenko A.A. [Satellite communication system in low orbits for providing high-speed data transmission]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2016, vol. 17, no. 7, pp. 19-21 (in Russ.).

5. Parshutkin A.V., Maslakov P.A. [Investigation of the noise immunity of modern satellite communication standards to the effects of non-stationary interference]. *Trudy SPIIRAN*, 2017, no. 4, pp. 159-177 (in Russ.).

6. Liu F., Su M., Li J., Li Y., Chen M. Research on Satellite Communication System for Interference Avoidance. *Space Information Networks SINC 2019: Commu-*

nications in Computer and Information Science, vol. 1169, Springer, Singapore, 2020.

7. Mardanshin E.R., Afanasyev V.V. [Conversion of phase-shift keyed signals by filters for selective suppression of narrow-band interference and masking pseudorandom signals of the Lorentz system]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2018, no. 2, p. 49 (in Russ.).

8. Gerard Maral, Michel Bousquet, Zhili Sun. *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*, 6th Edition. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2020, 792 p.

9. Daniel Minoli. *Innovations in satellite communication and satellite technology: the industry implications of DVB-S2X, high throughput satellites: Ultra HD, M2M, and IP*. John Wiley & Sons Publ., Hoboken, New Jersey, 2015, 423 p.

10. Cheng S., Gao Y., Cao J., Guo Y., Du Y., Hu S. Application of Neural Network in Performance Evaluation of Satellite Communication System: Review and Prospect. *Artificial Intelligence in China, Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 572, Springer, Singapore, 2020.

11. Huang J., Cao J. Recent Development of Commercial Satellite Communications Systems, *Artificial Intelligence in China: Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 572, Springer, Singapore, 2020

12. Louis J., Ippolito Jr. *Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance*, Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2017, 458 p.

13. Liu Z., Li J., Wang Y., Li X., Chen S. HGL: A hybrid global-local load balancing routing scheme for the Internet of Things through satellite networks. *International J. of Distributed Sensor Networks*, 2017, vol. 13.

14. Rogerio Atem de Carvalho, Jaime Estela, Martin Langer. *Nanosatellites: Space and Ground Technologies, Operations and Economics*. John Wiley & Sons Ltd. Publ., 2020, 712 p.

15. Karasuwa A., Eastment J., Otung I. Interference Mitigation for Multi Spot Beam Satellite Communication Systems Incorporating Spread Spectrum. *Wireless and Satellite Systems WiSATS 2016: Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences. Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 186, Springer, Cham, 2017.

16. Chipiga A.F., Tsymbal V.A., Pashintsev V.P. [Methodology of system analysis of the problem of synthesis of the structure and parameters of technical means of satellite communication systems according to the requirements of energy secrecy and noise immunity]. *Sbornik trudov XXV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 160-letiyu so dnya rozhdeniya A. S. Popova* [Proc. of the XXV International Scientific and Technical Conference dedicated to the 160th anniversary of the birth of A. S. Popov]. Voronezh, Voronezh State University, 2019, pp. 305-311 (in Russ.).

17. Dvornikov S.V., Yakushenko S.A., Lyanguzov D.A. [Dynamic choice of radio lines for mobile satellite communication systems]. *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 28-36 (in Russ.).

18. Zubov T.A., Baykova A.A., Sukhotin V.V. [Formation of the structure of a computer model for evaluating the influence of the parameters of the on-board relay complex on the signal]. *Kosmicheskie apparaty iologii*, 2018, no. 4, pp. 192-197 (in Russ.).

19. Ivanov V.I. [Algorithm of centralized multipath routing with load balancing in a non-geostationary satel-

lite communication system with inter-satellite lines]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2018, no. 3, pp. 69-105 (in Russ.).

20. Stepanov A., Akimov A., Gritsenko A., Chazov V. [Features of the construction and operation of orbital groupings of satellite communication systems]. *Sputnikovaya svyaz' i veshchanie*, 2016, pp. 72-87 (in Russ.).

Features of the Use of Phase-Manipulated Pseudo-Random Signals without On-Board Processing in Satellite Communication Systems with a Nonlinear Repeater

A.N. Mursaev, PhD in Engineering, Penza State University, Penza, Russia

S.V. Zinkin, PhD in Engineering, Penza State University, Penza, Russia

The features of the use of phase-manipulated pseudo-random signals without on-board processing in satellite communication systems with a nonlinear repeater are analyzed. In particular, the process of passing signals through a nonlinear repeater is considered, taking into account the resulting combinational interference. In more detail, attention is paid to one of the ways of noise protection of satellite communication lines – the use of spatial signal processing and interference in antenna systems. Depending on the type and number of subscribers served by antenna systems, the implementation of the above method is possible by using spatial selection of signals and interference, based on the use of antennas with narrow directional patterns; spatial interference rejection, based on the use of adaptive antenna systems that form dips in the directional pattern in the direction of interference sources; suppression of narrow-band interference in the notch frequency filter and the joint application of all these methods of interference suppression. The placement of multipath antennas on board a repeater satellite, in addition to increasing the noise immunity of satellite communication lines, provides: an increase in the energy potential of the satellite communication line; multiple frequency reuse; multi-station access with time separation and switching of beams on board; the formation of a given service area from a system of independent partial beams with intersecting narrow radiation patterns; the protection of satellite communication lines due to the localization of electromagnetic radiation in a narrow solid angle. The use of multipath antennas with a large number of independently controlled beams on board the repeater satellite significantly complicates the repeater and worsens its weight and size characteristics. For this reason, existing satellite communication systems use multipath antennas, which, as a rule, have no more than 7...10 beams with independent control.

Keywords: phase-manipulated pseudo-random signal, satellite communication system, nonlinear repeater.

Получено 22.07.2021

Образец цитирования

Мурсаев А. Н., Зинкин С. В. Особенности применения фазоманипулированных псевдослучайных сигналов без обработки на борту в системах спутниковой связи с нелинейным ретранслятором // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 3. С. 46–52. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-46-52.

For Citation

Mursaev A.N., Zinkin S.V. Features of the Use of Phase-Manipulated Pseudo-Random Signals without On-Board Processing in Satellite Communication Systems with a Nonlinear Repeater]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 46-52 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-46-52.