

09

Экспериментальное исследование выделения полезного сигнала из флуктуационного импульсно-модулированного шума применительно к скрытой передаче информации

© Э.В. Кальянов, Б.Е. Кяргинский

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
(фрязинский филиал), Фрязино (Моск. обл.)
E-mail: erast@ms.ire.rssi.ru

Поступило в Редакцию 7 июня 2010 г.

Реализована экспериментально скрытая передача полезного сигнала на сверхвысоких частотах при использовании для его маскировки нового типа непрерывного случайного процесса, сформированного из двух серий идентичных шумовых импульсов, сдвинутых во времени на время длительности импульса. В качестве несущих колебаний импульсов использован флуктуационный шум.

Большое внимание к исследованию скрытой передачи информации при ее маскировке шумоподобными сигналами стало уделяться лишь после того, как была показана возможность создания автоколебательных систем, генерирующих детерминированный хаос [1–3]. Появилось много работ, посвященных численному анализу математических моделей передачи информации, основанных на явлении синхронизации генераторов, обладающих хаотической динамикой [4,5]. При этом в ряде исследований в качестве источника хаоса использовались урав-

нения Ресслера, отображающие низкочастотный хаос в гипотетической химической реакции.

Генераторы с хаотической динамикой формируют нерегулярные, но детерминированные колебания, которые являются воспроизводимыми при численных расчетах. Однако повторение фрагментов колебательного процесса при экспериментах с реальными генераторами, обладающими развитым хаосом, проблематично, что обусловлено наличием собственных шумов, приводящих к эффекту стохастизации детерминированного хаоса [6]. Это в большей мере проявляется при развитии хаоса в диапазоне сверхвысоких частот, в связи с чем создание в этом диапазоне систем скрытой связи при использовании явления синхронизации генераторов с хаотическим поведением представляется проблематичным.

В диапазоне сверхвысоких частот, освоение которого для связи является важным, значительный интерес представляет способ, основанный на использовании маскирующих сигналов, „составленных“ из серий задержанных и незадержанных радиоимпульсов, в которых в качестве несущих колебаний используются нерегулярные осцилляции [7]. Эти осцилляции могут быть не только воспроизводимыми (хаотическими), но и, что очень важно, невоспроизводимыми (стохастическими), отображающими случайный колебательный процесс. В данной работе впервые экспериментально показана возможность использования нового типа невоспроизводимых стохастических колебаний, созданных на основе флуктуационных шумов, для скрытой передачи информации с помощью бит 0/1, когда для формирования шума и выделения из него сигнала используется эффект запаздывания.

Экспериментальные исследования проводились в дециметровом диапазоне длин волн. Упрощенная блок-схема, поясняющая принцип работы передающего (*a*) и приемного (*b*) устройств, приведена на рис. 1.

Источник флуктуационного шума в передающем устройстве состоял из задающего генератора и твердотельного усилителя. В качестве задающего генератора источника флуктуационного шума использовалась лампа бегущей волны типа УВ-44, работающая в режиме усиления собственных шумов электронной пушки, которые, как известно, отображают непрерывный случайный процесс (флуктуационный шум). Шумовой сигнал с ее выхода усиливался до уровня, достаточного для маскировки полезного сигнала, с помощью усилителя, собранного на микросхемах типа MSA-2085 и MSA-1105 и имеющего коэффициент усиления

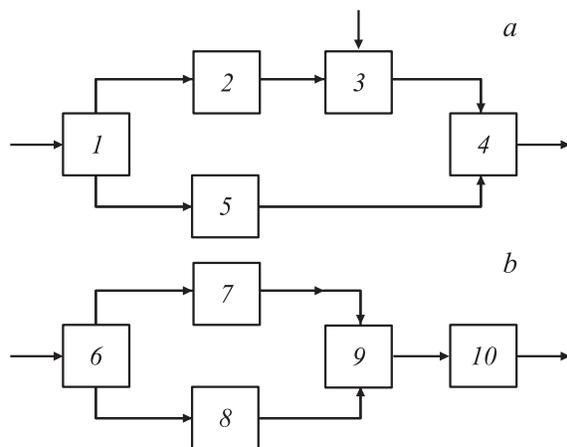


Рис. 1. Упрощенные блок-схемы передающего (а) и приемного (б) устройств: 1, 6 — разветвители, 2, 7 — линии задержки, 5, 8 — аттенюаторы, 3, 4 — сумматоры, 9 — вычитающее устройство, 10 — фильтр.

около 40 dB. Этот шумовой сигнал модулировался колебаниями в форме меандра, имеющими длительность импульсов $\tau = 40$ ns. Для формирования импульсов использовался усилитель, собранный на микросхемах типа SGA-6286, и модулятор, в качестве которого использовался генератор типа Г5-78. Полученная серия радиоимпульсов с шумовыми несущими колебаниями разветвлялась с помощью полоскового разветвителя 1 на два канала. В одном из каналов радиоимпульсы с помощью линии задержки 2, выполненной из тефлонового кабеля, задерживались на время τ , равное длительности радиоимпульса. В сумматоре 3 этого канала к радиоимпульсам с шумовыми несущими колебаниями подмешивался передаваемый сигнал, который формировался на основе импульсно-модулированных регулярных колебаний (с несущей частотой 1.6 GHz), генерируемых генератором типа Г4-78 при длительности импульсов, равной $500 \mu\text{s}$. Передаваемый сигнал модулировался также короткими импульсами (с длительностью $\tau = 40$ ns), от того же модулятора, что и шумовые колебания, с целью возможности их выделения в приемном устройстве. Колебания обоих каналов суммировались в устройстве 4. Обеспечение примерно одинаковых уровней мощности колебаний на

входах этого сумматора достигалось путем подбора затухания аттенюатора 5 в канале без линии задержки. После суммирования импульсных колебаний, проходящих через оба канала передающего устройства, на выходе передатчика создавалась непрерывные нерегулярные колебания. Эти колебания подавались на приемник.

Как следует из процесса формирования шума, маскирующими колебаниями, по существу, являются импульсы флуктуационного шума, проходящие через канал с линией задержки. Суммирование этих колебаний с импульсными колебаниями, проходящими через канал, не содержащий запаздывание, позволяет сформировать, для улучшения маскировки, непрерывные нерегулярные колебания. При отсутствии входного сигнала эти колебания отображают новый тип случайного процесса, созданного на основе флуктуационного шума. Его можно условно назвать „флуктуационным импульсно-модулированным шумом“. В отличие от обычного флуктуационного шума, в нем в интервалах времени 2τ содержатся одинаковые реализации нерегулярных колебаний, имеющих длительность τ .

Приемное устройство содержало входной усилитель, разветвитель на два канала, вычитающее устройство и узкополосный фильтр. В одном из каналов, как и в передатчике, располагалось устройство задержки, а в другом — аттенюатор.

Входной усилитель собран на двух микросхемах SGA-6286 и имел коэффициент усиления 20 dB. В качестве линии задержки, как и в передатчике, использовалась тефлоновая кабель. Выходной фильтр имел полосу пропускания 3 MHz.

После прохождения входного усилителя сигнал разветвлялся в устройстве 6 на два канала. Разветвленные колебания после их задержки в одном из каналов приемного устройства с помощью линии задержки 7 на время $\tau = 40 \mu\text{s}$ и выравнивания уровней мощности с помощью аттенюатора 8 подавались на вычитающее устройство 9, а затем на выходной фильтр 10.

При экспериментальном исследовании передачи регулярного сверхвысокочастотного сигнала использовались анализаторы спектра типа С4-27, СК4-62 и стробоскопический осциллограф С1-74. Для более четкого выделения передаваемого сигнала на выходе приемника помимо обеспечения одинакового уровня сигналов в разветвленных каналах передающего и приемного устройств необходимо было осуществлять подстройку запаздывания в линиях задержки.

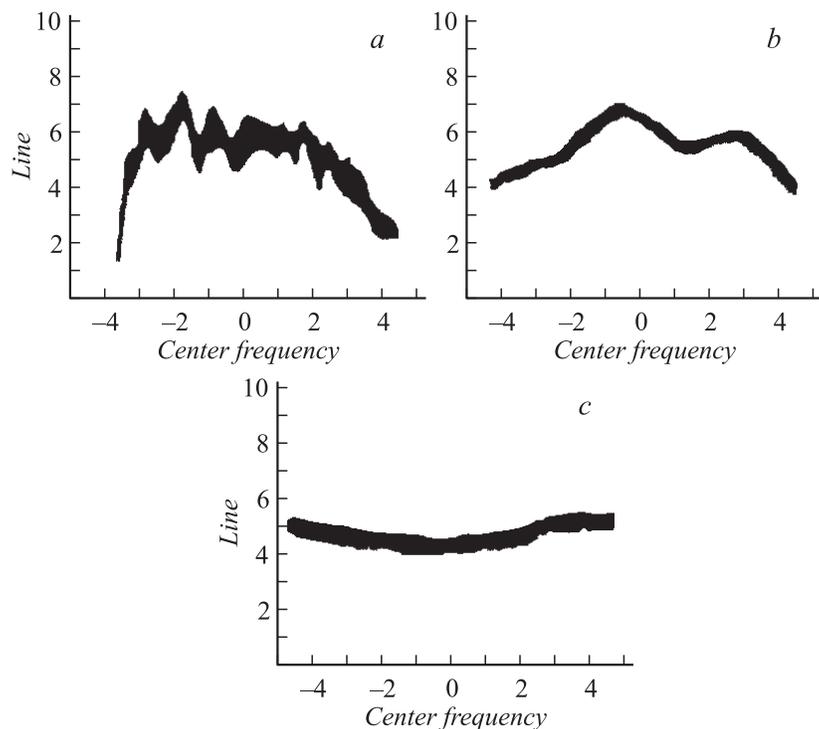


Рис. 2. Спектры мощности на выходе источника флуктуационного шума (*a*) и на выходе передающего устройства (*b, c*).

На рис. 2 и 3 приведены характерные спектры мощности, иллюстрирующие процесс передачи полезного сигнала, маскируемого флуктуационным импульсно-модулированным шумом, созданным на основе усиленных флуктуационных шумов лампы бегущей волны.

Спектр флуктуационного шума (на выходе усилителя источника шума), используемого для формирования маскирующих колебаний (флуктуационного импульсно-модулированного шума), показан на рис. 2, *a*. На экране анализатора спектра развернуто 1000 МГц (от 1.1 до 2.1 GHz) при линейном масштабе по оси ординат. Линейный масштаб по оси ординат используется и на других рисунках.

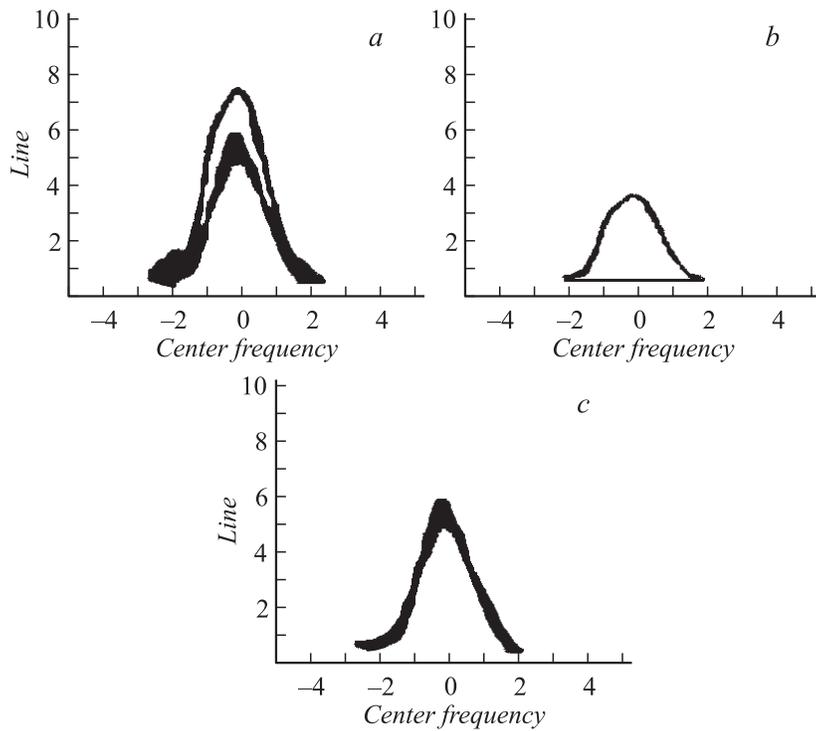


Рис. 3. Спектры мощности на выходе приемного устройства при маскировке передаваемого сигнала флуктуационным импульсно-модулированным шумом (*a*), при передаче сигнала без маскировки (*b*) и при отсутствии передаваемого сигнала (*c*).

Видно, что используемый флуктуационный шум занимает широкую полосу частот при относительно малых перепадах спектральной плотности шума. Эти перепады не превышают 3 dB в диапазоне частот от 1400 до 1800 MHz. Они меньше достигаемых в этом диапазоне перепадов спектральной плотности хаотических колебаний на генераторах, обладающих хаотической динамикой.

Спектр излучаемого флуктуационного импульсно-модулированного шума с подмешанным регулярным сигналом (спектр на выходе передатчика) представлен на рис. 2, *b*. На рис. 2, *c* показан фрагмент

этого спектра в узкой полосе частот. В случае рис. 2, *b* на экране анализатора спектра развернуто 500 МГц (от 1350 до 1850 МГц), а в случае рис. 2, *c* — на порядок меньше (от 1575 до 1625 МГц). Видно (рис. 2, *b*), что спектр, сформированный с помощью радиоимпульсов флуктуационного шума, является непрерывным и занимает относительно широкую полосу частот. При этом передаваемый сигнал надежно замаскирован: регулярная составляющая не просматривается даже при развертке на экране, равной 50 МГц (см. рис. 2, *c*).

На входе приемного устройства спектр мощности по виду аналогичен спектру, показанному на рис. 2, *b*. Спектр выходных колебаний иллюстрируется рис. 3, *a*. Он получен при масштабе развертки на экране анализатора спектра, равном 50 МГц.

В выходном спектре выделенных колебаний присутствуют шумы, вследствие чего спектр как бы „раздваивается“. Шумы обусловлены тем, что в использованном диапазоне частот проявляется несовершенство модуляции шумовых колебаний: между импульсами длительностью $\tau = 40$ ns шумы не подавляются полностью. Для пояснения этого эффекта на рис. 3, *b* показан спектр колебаний на выходе приемника при отсутствии маскирующего шума (при выключенной лампе бегущей волны), а на рис. 3, *c* — спектр неподавленного маскирующего шума при отсутствии входного регулярного сигнала.

„Раздвоение“ спектра из-за остаточных шумов в сигнале подтверждается также расчетами математической модели, аналогичной рассмотренной в [7], когда между радиоимпульсами шумовых колебаний существуют неподавленные маскирующие шумы.

Представленные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности практической реализации скрытой передачи информации на сверхвысоких частотах при использовании для маскировки флуктуационного импульсно-модулированного шума, сформированного в виде суммы двух серий импульсно-модулированных стохастических колебаний.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 07-02-00361).

Список литературы

- [1] *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2002. 252 с.

- [2] *Гуляев Ю.В., Беляев Р.В., Воронцов Г.М.* и др. // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 10. С. 1157–1185.
- [3] *Залогин Н.Н., Кислов В.В.* Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. М.: Радиотехника, 2006. 208 с.
- [4] *Yang T.* // Int. J. of Computational Congnition. 2004. V. 2. N 2. P. 81–130.
- [5] *Короновский А.А., Москаленко О.И., Попов П.В., Храмов А.Е.* // Изв. РАН. Серю Физ. Т. 72. № 1. С. 143–147.
- [6] *Кальянов Э.В.* .. Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 6. С. 88–94.
- [7] *Кальянов Э.В.* // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 6. С. 56–62.