

09;12

## Сверхширокополосная прямохаотическая передача информации в СВЧ-диапазоне

© А.С. Дмитриев, Б.Е. Кяргинский, А.И. Панас,  
Д.Ю. Пузиков, С.О. Старков

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва  
E-mail: chaos@mail.cplire.ru

В окончательной редакции 24 сентября 2002 г.

Предложен способ беспроводной высокоскоростной прямохаотической передачи цифровой информации, основанный на использовании сверхширокополосных хаотических колебаний, генерируемых непосредственно в сверхвысокочастотном диапазоне. Приведены экспериментальные результаты, демонстрирующие передачу данных со скоростями до 200 Mb/s.

Динамический хаос [1–3] обладает совокупностью свойств, которые делают привлекательным его использование в качестве носителя информации в системах связи. К этим свойствам, в частности, относятся: потенциально высокие скорости передачи информации, устойчивость широкополосных сигналов к замираниям при многолучевом распространении и возможность организации конфиденциальной связи (см., например, [4–6]).

Однако многочисленные исследования в области применения хаоса для передачи информации показали, что практическая реализация потенциальных достоинств этого носителя информации сталкивается с рядом серьезных проблем. Одна из причин этого заключается в том, что предлагаемые схемы связи на хаотических сигналах основывались на традиционных структурах приемопередатчиков, где хаос использовался в качестве поднесущих колебаний, модулирующих высокочастотный (сверхвысокочастотный) носитель. При этом в значительной степени терялась такая привлекательная черта хаоса, как его широкополосность (сверхширокополосность), обеспечивающая высокие скорости передачи и формирование сигналов с большой базой.

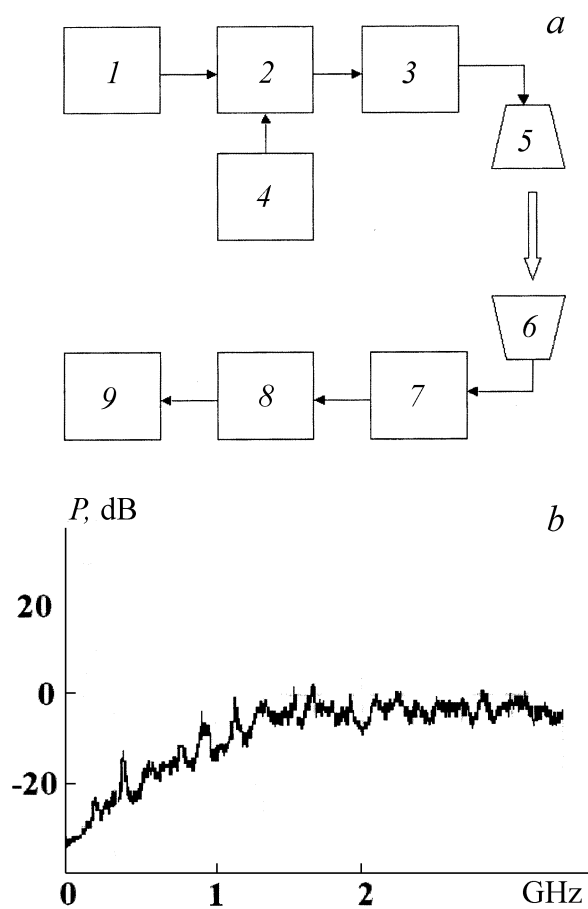
Для преодоления этой проблемы было предложено отказаться от традиционной схемы приемопередатчиков и перейти к прямохаотическим схемам связи [7]. Прямохаотические схемы связи (ПХСС)

реализуют идею непосредственной генерации несущих информацию хаотических колебаний в СВЧ-диапазоне и модуляцию этих колебаний информационным сигналом [7–10]. В качестве метода введения информации в хаотический сигнал может, например, использоваться формирование потока хаотических радиоимпульсов, положение которых на определенных позициях вдоль потока (наличие или отсутствие импульсов на этих позициях) кодирует передаваемую информацию. В простейшем варианте на временной оси выделяются позиции, присутствие импульса на которых означает, что передается „1“, а отсутствие импульса — „0“. Блок-схема прямохаотической схемы передачи информации показана на рис. 1, а. В [8–10] были представлены экспериментальные результаты по широкополосной прямохаотической передаче в диапазоне 1 GHz и полосе частот 100 MHz. При этом была достигнута скорость передачи информации 70 Mb/s. Таким образом, были подтверждены работоспособность ПХСС и такие их свойства, как высокие скорости передачи и устойчивость к замираниям при многолучевом распространении сигнала.

В данной работе показывается, что принцип прямохаотической передачи информации может быть эффективно реализован и на основе сверхширокополосных хаотических сигналов, а именно, технология позволяет и в этом случае создавать простые и компактные приемопередатчики с высокими коммуникационными характеристиками. Эксперименты проводились с макетом схемы передачи, собранным в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 1, а. Передатчик схемы состоит из источника хаоса, генерирующего хаотический сигнал в частотном диапазоне передачи информации (500–3500 MHz), устройства управления режимом работы хаотического генератора, модулятора, СВЧ-усилителей и передающей антенны.

Для получения сверхширокополосных колебаний был разработан генератор хаоса, включающий три биполярных СВЧ-транзистора и две частотно-избирательные цепи. Каждая из частотно-избирательных цепей представляет собой систему связанных микрополосковых резонаторов разной длины, на концы которых нагружены транзисторы 2Т938А. На рис. 1, б показан спектр мощности одного из типовых хаотических режимов генератора. Ширина спектра по уровню — 20 dB составляет 3 GHz. Средняя выходная мощность генератора около 10 mW.

Модулятор представляет собой устройство для коммутации хаотического СВЧ-сигнала. Он имеет вход и выход для несущего хаотического



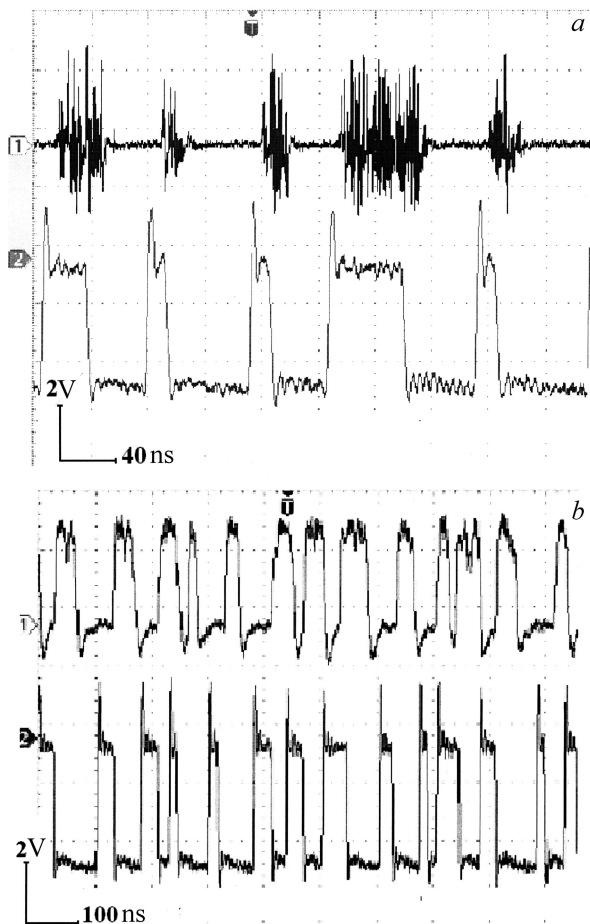
**Рис. 1.** *a* — блок-схема сверхширокополосной прямохаотической схемы передачи информации: 1 — сверхширокополосный генератор хаотических сигналов, 2 — модулятор, 3 и 7 — СВЧ-усилители, 4 — источник цифровых управляющих сигналов, 5 и 6 — передающая и приемная сверхширокополосные антенны, 8 — демодулятор, 9 — осциллограф; *b* — спектр мощности сверхширокополосных хаотических колебаний.

сигнала, а также управляющий вход, на который поступает информационный двоичный сигнал. В качестве коммутирующих элементов в модуляторе применяются pin-диоды. Если напряжение на управляющем входе модулятора имеет уровень  $\sim 5\text{ V}$  (логическая единица), то модулятор пропускает через себя хаотический сигнал. Наоборот, при уровне сигнала  $\sim 0\text{ V}$  (логический ноль) происходит запирающее действие модулятора. При этом он не пропускает хаотический сигнал. Таким образом, при подаче на управляющий вход модулятора двухуровневого информационного сигнала в виде импульсов на его выходе формируется поток хаотических радиоимпульсов.

В макете использовались два СВЧ-усилителя. Первый из них, помимо собственно функции усиления, играл роль буферного устройства между генератором хаоса и модулятором. Усилители были реализованы на микросборках MGA-81563 и обеспечивали коэффициент усиления 10–15 dB. Излучение и прием сигнала осуществлялись при помощи дискоконусных сверхширокополосных антенн с линейными фазовыми характеристиками. Приемник кроме антенны содержит демодулятор, состоящий из входного СВЧ-усилителя с коэффициентом усиления 10 dB, детектора и усилителя постоянного тока. Детектор представляет собой балансный усилитель на биполярных транзисторах 2Т3132А с использованием одного из них в детекторном режиме. Сигнал с выхода детектора поступает в усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления 20 dB и затем на вход осциллографа.

Цель экспериментов заключалась в демонстрации возможности высокоскоростной передачи цифровых сообщений с использованием сверхширокополосного хаотического носителя информации. Эксперименты по исследованию передачи цифровых сообщений с использованием сверхширокополосного хаотического носителя информации проводились в широком диапазоне длительностей управляющих импульсов, соответствующих различным скоростям передачи информации. Используемый источник импульсных сигналов позволял варьировать длительности управляющих импульсов от 100 до 3 ns, а также формировать импульсные посылки различного содержания: одиночные, групповые с разным числом импульсов и изменяемой скважностью. Кроме того, проводились эксперименты по передаче реальных информационных сигналов, получаемых от сетевой компьютерной карты.

Первые серии экспериментов проводились с относительно длинными импульсами от 20 до 100 ns, что соответствовало скоростям передачи



**Рис. 2.** *a* — формирование потока хаотических радиоимпульсов при передаче цифровой информации со скоростью 100 Мб/с, нижний фрагмент соответствует исходному информационному потоку, верхний — соответствующему потоку хаотических радиоимпульсов; *b* — результаты эксперимента по сверхширокополосной прямохаотической передаче информации: нижний фрагмент — исходная цифровая последовательность (100 Мб/с), верхний — последовательность, извлекаемая в приемнике.

данных от 10 до 50 Mb/s. При модуляции несущего хаотического сигнала последовательностью импульсов огибающая потока хаотических радиоимпульсов на выходе демодулятора фиксировалась с помощью осциллографа. В этом диапазоне изменения длительности управляющих импульсов, огибающая потока хаотических радиоимпульсов на выходе приемника с хорошей точностью воспроизводила модулирующий поток импульсов.

В последующих сериях длительность управляющих импульсов составляла от 3 до 15 ns (скорости передачи от 70 до 350 Mb/s). Однако реально применявшийся генератор импульсов обеспечивал требуемые прямоугольную форму импульсов и их амплитуду (5 V) только начиная с длительности импульсов 5 ns. В диапазоне изменения длины управляющих импульсов от 5 до 15 ns огибающая потока хаотических радиоимпульсов на выходе приемника, как и в экспериментах с импульсами большей длины, с хорошей точностью воспроизводила модулирующий поток импульсов. В качестве примера на рис. 2, *b* приведены вид модулирующего сигнала, соответствующего скорости передачи информации 100 Mb/s, а также формируемый при этом поток хаотических радиоимпульсов. Спектральные характеристики исходного и принимаемого несущего сверхширокополосного сигнала оставались практически без изменения по отношению к спектру хаотического сигнала на выходе генератора (рис. 2, *a*).

Принимаемый приемником сигнал в виде огибающей сверхвысоко-частотного сигнала на выходе демодулятора повторяет форму и структуру исходного передаваемого полезного потока данных, что видно из сопоставления верхней и нижней осциллограмм на рис. 2, *b*. Нижние фрагменты осциллограмм соответствуют форме исходной огибающей информационного потока, а верхние — форме сигнала на выходе демодулятора.

Таким образом, на разработанном макете были экспериментально продемонстрированы высокие скорости передачи данных, что в совокупности с такими свойствами сверхширокополосных прямохаотических схем, как устойчивость к замираниям при многолучевом распространении сигнала и возможность гибкого контроля базы сигнала, позволяет рассматривать эти схемы как перспективную технологию для цифровых беспроводных систем связи.

Авторы благодарят Ю.В. Андреева, Л.В. Кузьмина, Н.П. Чубинского и А.Г. Чернокалова за помощь в подготовке экспериментов и обсуждения результатов.

## Список литературы

- [1] *Анищенко В.С.* Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990.
- [2] *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989.
- [3] *Шустер Г.* Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1988.
- [4] *Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О.* // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 4–26.
- [5] *Шалфеев В.Д., Осипов Г.В., Козлов А.К., Волковский А.Р.* // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 27–49.
- [6] *Хаслер М.* // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 11. С. 33–43.
- [7] *Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Максимов Н.А., Панас А.И., Старков С.О.* // Радиотехника. 2000. Т. 42. № 3. С. 9–20.
- [8] *Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Максимов Н.А., Панас А.И., Старков С.О.* Прямохаотическая передача информации в СВЧ диапазоне / Препринт ИРЭ РАН № 1 (625). М., 2000.
- [9] *Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О.* // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 2. С. 224–233.
- [10] *Dmitriev A.S., Panas A.I., Starkov S.O.* Nonlinear Science Preprint (nlin.CD/0110047).