

09

Формирование хаотических радиопульсов в генераторе с внешним периодическим воздействием

© Н.В. Атанов, А.С. Дмитриев, Е.В. Ефремова, Н.А. Максимов

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

Поступило в Редакцию 14 декабря 2006 г.

Рассматривается воздействие внешнего периодического сигнала на генератор хаотических колебаний радиочастотного диапазона. Экспериментально показывается возможность формирования в такой системе хаотических радиопульсов с заданной длительностью.

PACS: 05.45.Jg, 07.57.Hm

Хаотические радиопульсы являются перспективным носителем информации для сверхширокополосных беспроводных систем связи [1–4].

Последовательность хаотических импульсов может быть получена путем модуляции стационарного хаотического сигнала на выходе источника хаоса. Однако при этом только часть генерируемой источником хаоса энергии преобразуется в хаотические импульсы.

В работе [5] предложено генерировать хаотические импульсы путем воздействия периодического сигнала на динамическую систему таким образом, чтобы обеспечить возбуждение хаотических колебаний на части периода внешнего сигнала и тем самым повысить эффективность генерации импульсов. Там же эта идея была апробирована с помощью

численного моделирования на примере генератора хаоса с активным элементом — биполярным транзистором.

В данной статье на примере формирования хаотических импульсов в радиочастотном диапазоне экспериментально показывается практическая работоспособность этой идеи.

В качестве источника хаотического сигнала в экспериментах использовался генератор хаоса с 2.5 степеней свободы с биполярным транзистором. Математическая модель генератора описывается системой пяти обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка [5]. Питание генератора осуществляется от двух источников: первый задает напряжение коллектор-база транзистора, а другой — эмиттер-база. Значения этих напряжений определяют режим работы генератора. При фиксированном напряжении коллектор-база $V_C = 6.4 \text{ V}$ режим работы генератора зависит от напряжения эмиттер-база V_E следующим образом: при $0 \text{ V} > V_E > -1.3 \text{ V}$ генерация колебаний отсутствует; при $V_E = -1.3 \text{ V}$ возбуждаются гармонические колебания; в диапазоне $-1.3 \text{ V} > V_E > -2.0 \text{ V}$ происходит ряд бифуркаций с переходом к хаосу; при $-2.0 \text{ V} > V_E$ реализуются устойчивые хаотические колебания. Спектр хаотического сигнала генератора показан на рис. 1, *a*.

Для получения режима генерации хаотических импульсов к переходу эмиттер-база прикладывалось напряжение в виде последовательности прямоугольных импульсов отрицательной полярности с амплитудой 2.04 V . В промежутках между импульсами генерация колебаний отсутствовала. Во время подачи импульсов генерировался хаотический сигнал. Длительность генерации хаоса примерно соответствовала длительности импульсов напряжения.

В экспериментах генерировались последовательности хаотических радиоимпульсов с разной скважностью. На рис. 1, *b* представлен спектр сигнала, модулированного прямоугольными импульсами длительностью 100 ns со скважностью 4.

Сравнение рис. 1, *a* и *b* показывает, что спектр при периодическом внешнем воздействии остается сплошным, а его форма в целом сохраняется такой же, как и у стационарного хаотического режима генератора. Это свидетельствует о том, что в интервалах времени, когда генерируется хаотический сигнал, его характеристики близки к характеристикам исходного сигнала; переходные процессы в начале и в конце воздействующих прямоугольных импульсов значительно короче длины самих импульсов и не оказывают существенного влияния на форму спектра.

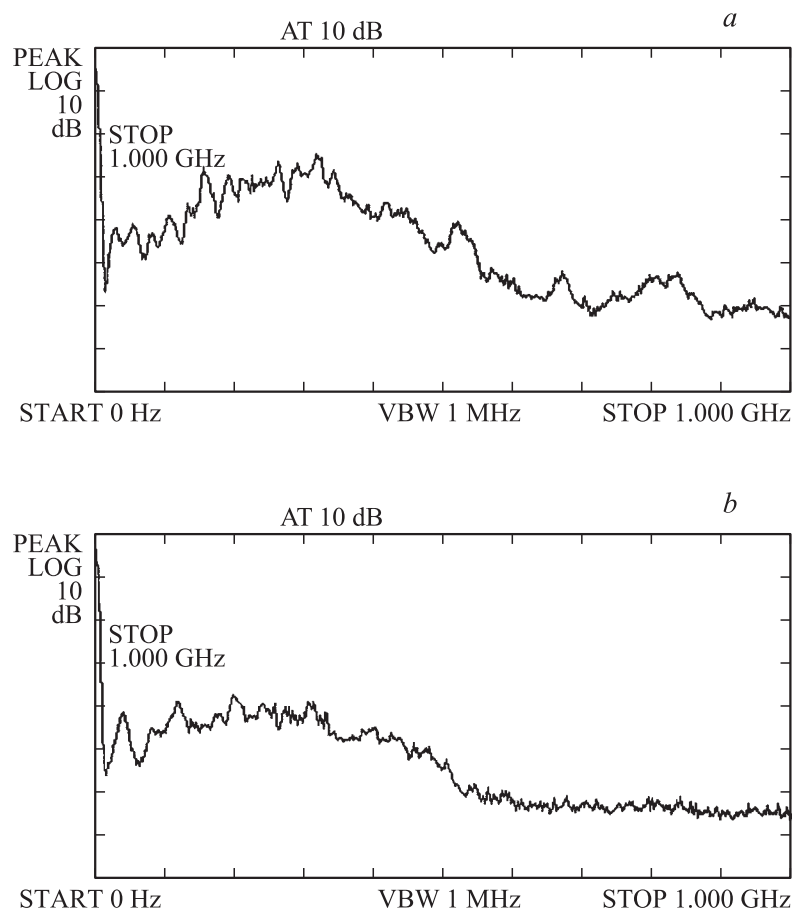


Рис. 1. Спектр выходного сигнала генератора: *a* — немодулированный сигнал; *b* — модулированный импульсами длительностью 100 ns и скважностью 4.

Из сравнения спектров видно также, что средняя мощность сигнала в случае режима генерации хаотических импульсов ниже, чем в случае стационарного хаотического режима. Прямые измерения показывают, что она падает примерно обратно пропорционально скважности.

На рис. 2, *a* приведена реализация сигнала, полученного на выходе генератора при воздействии прямоугольными импульсами отри-

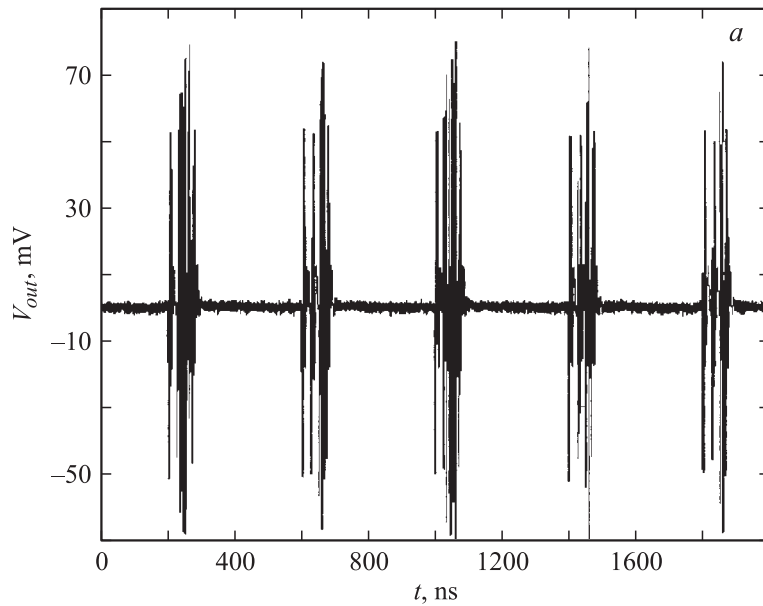


Рис. 2. Реализации сигналов на выходе генератора: *a* — сигнал при воздействии прямоугольных импульсов длительностью 100 ns и скважностью 4; *b* — сигнал при воздействии импульсов длительностью 130 ns и скважностью 2.

цательного напряжения на переход база-эмиттер. Его вид подтверждает сделанные выше выводы о хаотическом характере импульсов и незначительной длительности переходных процессов по сравнению с длительностью самих импульсов. Кроме того, из рис. 2, *a* видно хорошее совпадение между длинами воздействующих импульсов и межимпульсных интервалов, с одной стороны, и длиной хаотических импульсов на выходе генератора и межимпульсных интервалов между ними, с другой стороны.

Потребляемая генератором мощность падает обратно пропорционально скважности. Таким образом, энергетическая эффективность рассматриваемого метода формирования хаотических импульсов выше по сравнению с внешней модуляцией и выигрыш растет с увеличением скважности.

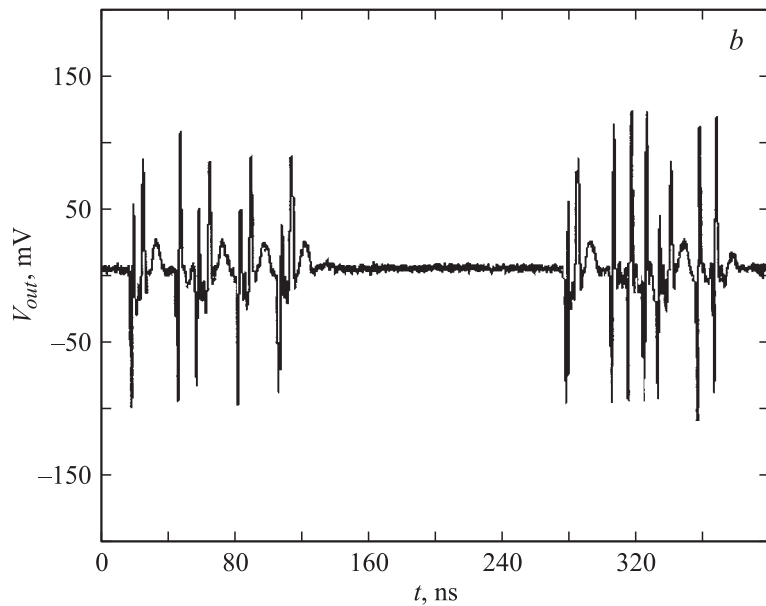


Рис. 2 (продолжение).

В процессе внешнего периодического воздействия при достаточно длинных межимпульсных интервалах система успевает прийти в состояние покоя, при котором автоколебания отсутствуют. Поэтому при подаче каждого нового импульса на переход база-эмиттер генератор формально стартует с одних и тех же начальных условий. Это должно приводить к эффекту воспроизводимости хаотических траекторий, порождаемых импульсами, на их начальных участках. Длительность этих участков определяется скоростью разбегания экспоненциально-неустойчивых траекторий.

Этот эффект хорошо фиксируется при численном моделировании [5,6], однако его четкое проявление в физическом эксперименте априори неочевидно из-за наличия теплового шума и технических флуктуаций.

Типичная структура импульсов, генерируемых системой, показана на рис. 2, а. Из него видно, что начальные участки импульсов (примерно на интервале ~ 20 ns) действительно совпадают.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили возможность эффективного формирования хаотических радиоимпульсов путем внешнего периодического воздействия на генератор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований — РФФИ (гранты № 05-02-17667-а и № 03-02-16747).

Список литературы

- [1] *Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И.* и др. // РЭ. 2001. Т. 46. № 2. С. 224–233.
- [2] *Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И.* и др. // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 2. С. 70–76.
- [3] *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Физ.-мат. лит., 2002. 252 с.
- [4] *Dmitriev A.S., Kyarginsky B.E., Panas A.I.* et al. // Int. J. Bifurcation & Chaos. 2003. V. 13. N 6. P. 1495–1507.
- [5] *Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 22. С. 29–35.
- [6] *Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В.* и др. // РЭ. 2006. Т. 51. № 3.