

**С.В. Гришин, Ю.П. Шараевский**

Саратовский государственный университет

имени Н.Г. Чернышевского

## **Неавтономный генератор хаотических СВЧ импульсов**

*В работе представлен кольцевой генератор хаотических сигналов с нелинейной спин-волновой линией передачи в цепи обратной связи, находящийся под внешним воздействием. Показано, что генерация периодических последовательностей хаотических СВЧ импульсов наблюдается под воздействием внешнего импульсно-модулированного СВЧ сигнала, а генерация одиночных хаотических СВЧ импульсов под внешним шумовым воздействием.*

**Ключевые слова:** спиновые волны, генератор хаоса, вынужденная синхронизация

В настоящее время активно проводятся исследования, направленные на создание генераторов сверхвысокочастотных (СВЧ) импульсов для систем передачи и обработки информации. Среди импульсных СВЧ сигналов интерес представляют периодические последовательности импульсов в виде диссипативных солитонов, которые формируются в нелинейных системах с усилением и потерями [1]. Диссипативные солитоны используются в системах передачи и обработки информации оптического диапазона частот [2] и имеют потенциальное применение в диапазоне СВЧ в передающих устройствах радиолокационных станций с амплитудной и фазовой модуляцией. Другим перспективным носителем информации является периодическая последовательность импульсов с хаотическим СВЧ заполнением, так называемые хаотические СВЧ импульсы [3]. Одним из основных преимуществ хаотического СВЧ импульса по сравнению с классическим СВЧ импульсом является независимость полосы частот хаотического сигнала от длительности СВЧ импульса [3]. Указанное обстоятельство позволяет управлять скоростью передачи информации при изменении скважности хаотических СВЧ импульсов, что особенно важно в системах связи, имеющих фиксированную полосу частот.

В последние годы продемонстрирована возможность формирования диссипативных солитонов в автономных кольцевых генераторах на основе ферромагнитных пленок за счет синхронизации и частотной фильтрации спектральных компонент сложно-модулированного СВЧ сигнала [4-9]. Такие последовательности диссипативных солитонов могут формироваться как за счет модуляционной неустойчивости магнитостатической спиновой волны (МСВ) и иметь периодическое СВЧ заполнение [4-6], так за счет трехволновых и четырехволновых параметрических процессов взаимодействия спиновых волн [7] и иметь хаотическое СВЧ заполнение [8,9].

Недавно проведенные эксперименты показали, что в кольцевом генераторе хаоса с нелинейной спин-волновой линией передачи в цепи обратной связи под воздействием внешнего гармонического СВЧ сигнала может наблюдаться полное подавление собственной хаотической динамики автоколебательной системы и установление периодического режима [10]. В теории синхронизации данный эффект известен как

вынужденная синхронизация хаоса под внешним гармоническим воздействием [11]. В [10] вынужденная синхронизация хаоса наблюдалась как в случае возбуждения в ферромагнитной пленке поверхностной МСВ (ПМСВ), так и обратных объемных МСВ.

В настоящей работе демонстрируется возможность формирования различных последовательностей хаотических СВЧ импульсов (периодических и случайных) в кольцевом генераторе хаоса, находящемся под воздействием как периодического, так и шумового СВЧ сигналов.

Исследуемый автогенератор (см. рис. 1) представлял собой последовательно соединенные в кольцо СВЧ усилитель мощности на GaAs полевых транзисторах 1, полосно-пропускающий фильтр 2 и нелинейную спин-волновую линию передачи на ПМСВ 4. Усилитель обеспечивал в полосе частот 1.8-4.0 ГГц коэффициент усиления в линейном режиме  $K=38.5\pm1$  дБ и уровень мощности насыщения  $P_{\text{sat}}=32.5\pm0.5$  дБмВт. Микрополосковый полосно-пропускающий фильтр имел в полосе пропускания минимальный уровень ослабления  $A_0=10$  дБ на частоте  $f_0=1.979$  ГГц и ширину полосы пропускания по уровню 3 дБ  $\Delta f_3 \text{ dB}=80$  МГц. Для приема и возбуждения ПМСВ в спин-волновой линии передачи использовались два закороченных с одного конца полосковых проводника шириной 30 мкм, расстояние между которыми устанавливалось равным 6 мм. ПМСВ возбуждалась и распространялась в пленке железо-иттриевого гранта, которая была прижата к проводникам и имела геометрические размеры  $4\times10\times0.04$  мм. Основная часть мощности с выхода усилителя возвращалась обратно в кольцо, а меньшая часть мощности через направленные ответвители 3, 8 поступала на осциллограф 9 и анализатор спектра 10 или измеритель мощности 11. Внешний сложно-модулированный СВЧ сигнал формировался с помощью векторного генератора 7 и заводился в кольцо на вход усилителя мощности 1 через направленный ответвитель 5. Фильтр верхних частот 6 осуществлял ослабление спектральных компонент сложно-модулированного СВЧ сигнала на величину  $\sim 40$  дБ на частотах вблизи  $f_0$ .

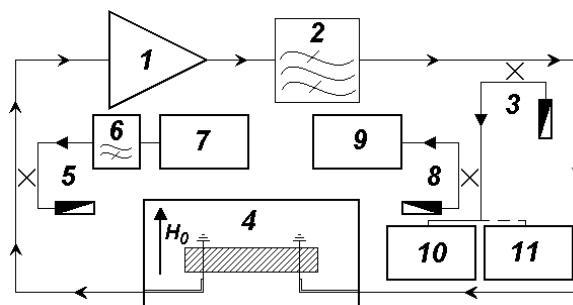


Рис. 1

В автономном режиме при уровнях мощности СВЧ сигнала, превышающих порог трехволнового параметрического взаимодействия спиновых волн, кольцевой генератор формировал непрерывный хаотический СВЧ сигнал, ширина спектра которого определяется шириной полосы пропускания полосового фильтра. В первой серии экспериментов, при подаче на вход усилителя мощности импульсно-модулированного (ИМ) СВЧ сигнала с частотой несущего гармонического колебания  $f_{\text{ext}}$ , находящейся за полосой частот хаотического СВЧ сигнала, во временной области формировалась

периодическая последовательность хаотических СВЧ импульсов. Механизм генерации таких импульсов, заключается в подавлении хаоса (вынужденной синхронизации) на

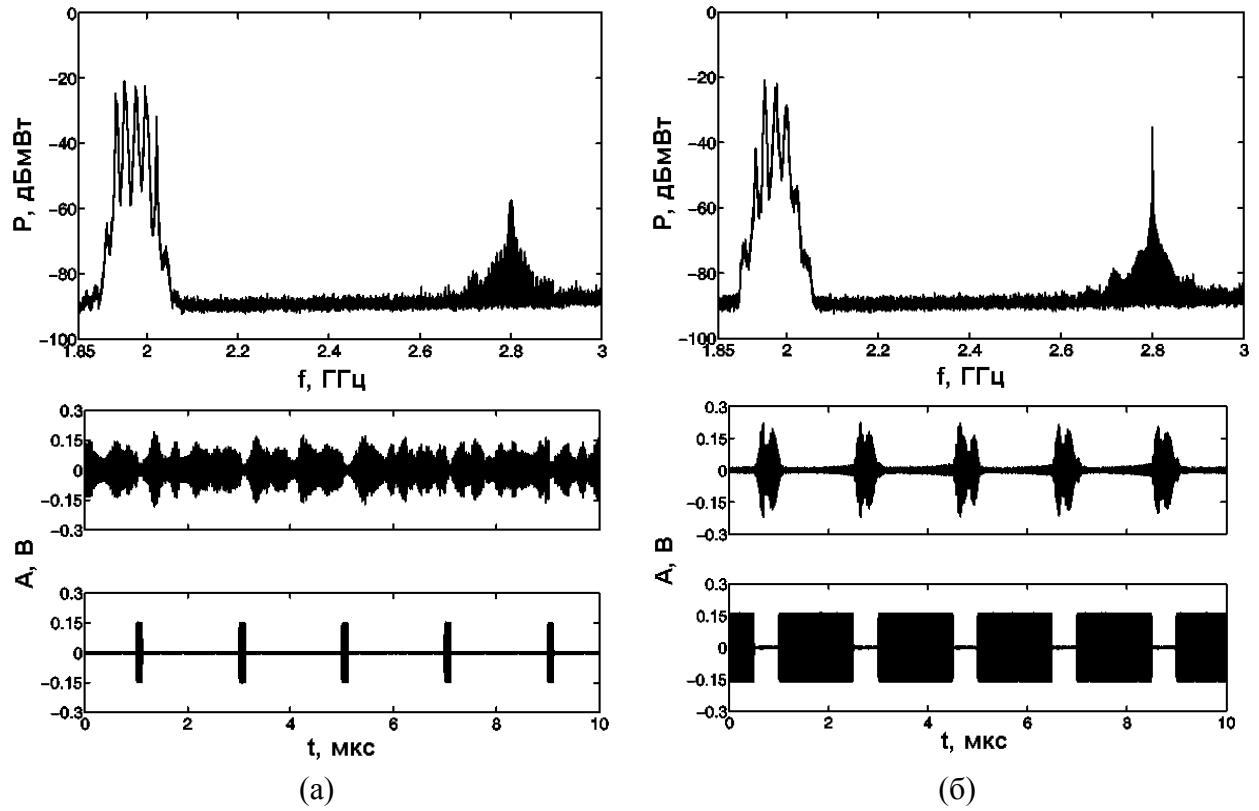
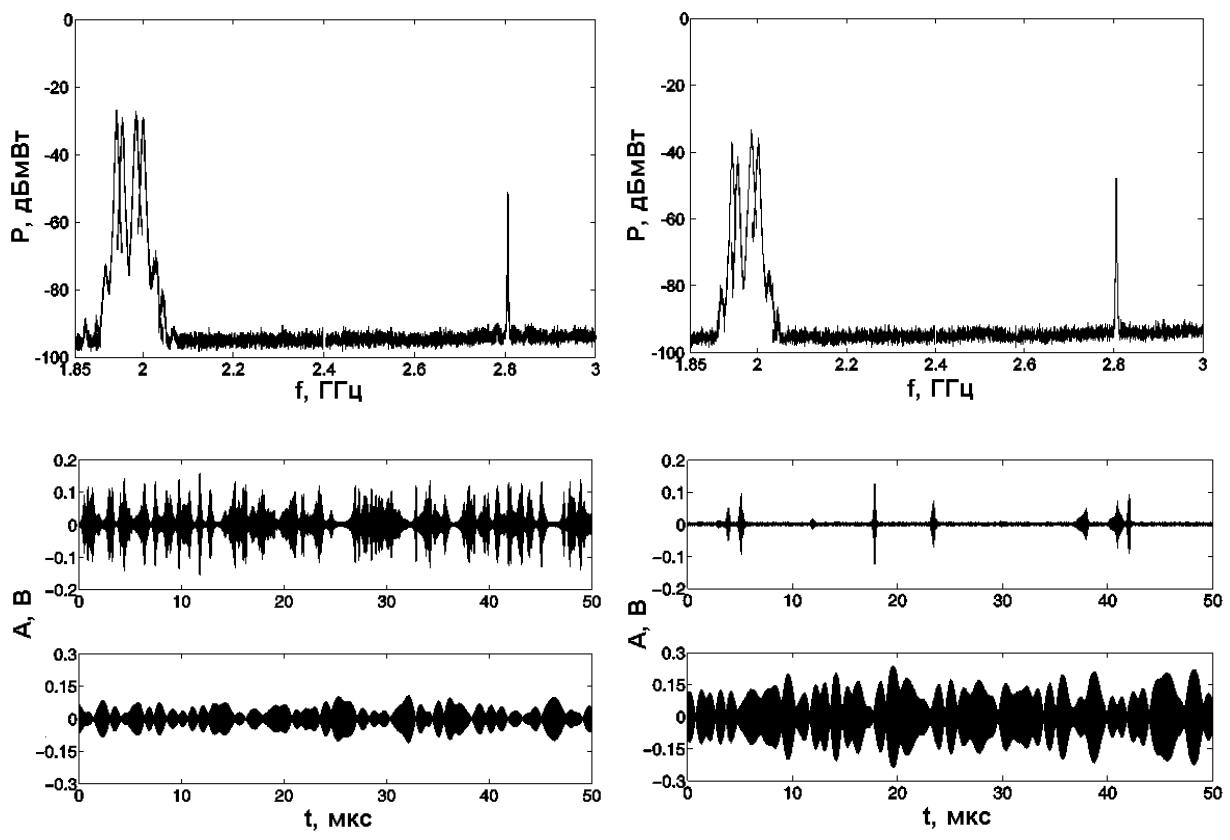


Рис. 2

временных интервалах, на которых присутствует внешнее воздействие, и генерации хаоса, когда внешнее воздействие отсутствует. Из представленных на рис. 2 результатов следует, что эффект вынужденной синхронизации хаоса под воздействием внешнего ИМ СВЧ сигнала дает возможность управлять скважностью хаотических СВЧ импульсов за счет изменения скважности внешних СВЧ импульсов. Уменьшение скважности внешних СВЧ импульсов  $q_{\text{пр}}$  от 16.7 (рис. 2а) до 1.3 (рис. 2б) приводит к увеличению скважности хаотических СВЧ импульсов  $q_{\text{ch}}$  от 1.06 (рис. 2а) до 4 (рис. 2б), а ширина спектра хаотического СВЧ сигнала при этом остается практически постоянной.

Во второй серии экспериментов в качестве внешнего воздействия использовался узкополосный шумовой сигнал с шириной полосы частот 1 МГц и нормальным законом распределения. При определенных интенсивностях шумового воздействия наблюдалось подавление хаотического СВЧ сигнала на тех интервалах времени, где огибающая шумового сигнала превышала некоторое пороговое значение (рис. 3а). С увеличением интенсивности шума подавление хаотического сигнала наблюдалось на все больших временных интервалах, что приводило к формированию одиночных хаотических СВЧ импульсов (рис. 3б).



(a)

(b)

Рис. 3

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-02-00057)

#### Библиографический список

1. Ахмедиев Н.А., Анкевич А.А. Диссипативные солитоны. М.: Физматлит, 2008. 504 с.
2. Lightwave Technology: Telecommunication Systems/ G.P. Agrawal, Wiley, Hoboken, 2005. 480 р.
3. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит, 2002. 252 с.
4. Excitation of bright and dark microwave magnetic envelope solitons in a resonant ring / Kalinikos B.A., Kovshikov N.G., Patton C.E. // Appl. Phys. Lett. 1999. Vol. 75, No 2. P. 265-267.
5. Self-generation of bright microwave magnetic envelope soliton trains in ferrite films through frequency filtering / Scott M.M., Kalinikos B.A., Patton C.E. // Appl. Phys. Lett. 2001. Vol. 78, No 7. P. 970-972.
6. Generation of dense spin-wave spin-wave soliton trains in active ring resonators / Ustinov A.B., Kalinikos B.A., Demidov V.E., Demokritov S.O. // Phys. Rev. B. 2009. Vol. 80, 052405.
7. Self-generation of chaotic solitary spin wave pulses in magnetic film active feedback rings / Wu M., Kalinikos B.A., Patton C.E. // Phys. Rev. Lett. 2005. Vol. 95, 237202.
8. Бегинин Е.Н., Гришин С.В., Шараевский Ю.П. Генерация стационарной последовательности хаотических солитоноподобных СВЧ импульсов в кольцевых автоколебательных системах с ферромагнитными пленками// Письма в ЖЭТФ. 2008. Том 88. Вып. 10. С. 743-747.
9. Self-generation of chaotic dissipative soliton trains in active ring resonator with 1-D magnonic crystal / Grishin S.V., Sharaevskii Yu.P., Nikitov S.A., Beginin E.N., Sheshukova S.E. // IEEE Trans. on Magnetics. 2011. Vol. 47, No. 10. P. 3716-3719.
10. Гришин С.В., Гришин В.С., Храмов А.Е., Шараевский Ю.П. Генерация широкополосного хаотического сигнала в автоколебательной системе с нелинейной линией передачи на магнитостатических волнах // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 5. С. 89-98.
11. Synchronization. A universal concept in nonlinear sciences / A. Pikovsky, M. Rosenblum, and J. Kurths, Cambridge University Press, Cambridge, 2003. 433 p.