

**Кислицын В.М., Кондрашов А.В., Устинов А.Б., Калиникоз Б.А.**  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ»

## **Исследование квазипериодических режимов автогенерации спин-волнового генератора**

*Представлены результаты исследования квазипериодических режимов генерации сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов в спин-волновом генераторе на основе касательно намагниченных ферромагнитных пленок. Такие генераторы имеют следующие достоинства: планарность конструкции, миниатюрность, перестройка в широком диапазоне частот генерации.*

**Ключевые слова:** СВЧ-генераторы, автогенерация, динамический хаос, модуляционная неустойчивость.

Генераторы – важные компоненты всех радиотехнических систем. В последние годы все большее внимание уделяется исследованиям динамического хаоса [1,2]. Динамический хаос обладает рядом преимуществ при его использовании в качестве носителя информации: большая информационная емкость, высокий уровень скрытности при передаче сообщений, а также возможность самосинхронизации источника и приемника. Одним из перспективных материалов для создания генераторов динамического хаоса в СВЧ диапазоне являются монокристаллические ферромагнитные пленки [3].

Целью настоящей работы было исследование квазипериодических режимов автогенерации СВЧ-сигнала в активных кольцах, изготовленных на основе пленок железиттриевого граната (ЖИГ), в условиях четырехволнового параметрического взаимодействия поверхностных спиновых волн (ПСВ).

Конструкция генератора представляет собой стандартную схему в виде кольца. Его основными компонентами являются спин-волновая линия задержки, электронно-перестраиваемый аттенюатор для управления амплитудой сигнала, СВЧ-усилитель и направленный ответвитель для вывода сигнала. В качестве линии задержки выступал макет, содержащий возбуждающую и приемную микрополосковые антенны шириной 50 мкм. На антенны сверху накладывался волновод спиновых волн шириной 2 мм, длиной 2 см и толщиной 13,6 мкм, изготовленный из пленки ЖИГ с намагниченностью насыщения 1700 Гс. Расстояние между приемной и возбуждающей антеннами составляло 3,5 мм. Пленка была намагничена до насыщения постоянным магнитным полем, которое было направлено по касательной к ее плоскости перпендикулярно направлению распространения спиновых волн. Такая ориентация поля обеспечивала возбуждение в пленке ПСВ.

При проведении эксперимента активное кольцо со спин-волновой линией задержки переводилось в режим автогенерации. Если за  $G$  обозначить коэффициент усиления СВЧ-усилителя за вычетом ослабления сигнала в переменном аттенюаторе, а  $L$  обозначить суммарные потери СВЧ-сигнала в ЛЗ и в остальных пассивных элементах кольца, то при  $G \geq L$  кольцо работает в режиме генерации. Сначала наблюдается одночастотная генерация. Увеличение коэффициента усиления  $G$  приводило к возрастанию мощности

СВЧ-сигнала, циркулировавшего в активном кольце, и в нем начинали развиваться нелинейные процессы взаимодействия спиновых волн. При первой бифуркации в кольце возникла многочастотная автогенерация с характерной частотой  $\Delta f_1$ . При дальнейшем увеличении усиления достигалась вторая бифуркация с характерной частотой  $\Delta f_2$ , не равной и не кратной  $\Delta f_1$ . Наблюдалась модуляция, «заглушающая» первоначальную. При ещё большем увеличении частоты наблюдалась третья бифуркация с характерной частотой  $\Delta f_3$ , возникла новая модуляция. Далее кольцо переходило в режим стохастической генерации. Подчеркнем, что нелинейные свойства активного кольца определялись исключительно нелинейностью спин-системы ферромагнитной пленки.

Работа поддержана грантами РФФИ № 14-02-00496 и № 15-32-20357 мол\_a\_вед, грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ, а также госзаданиями Минобрнауки РФ.

#### Библиографический список

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физматлит, 2002. 252 с.
2. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2006. 356 с.
3. Гришин С.В., Гришин В.С., Романенко Д.В., Шараевский Ю.П. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 19. С. 51–59.