

Влияние положения рабочей точки электрооптического модулятора на развитие СВЧ динамического хаоса в спин-волновом оптоэлектронном генераторе

А.В. Кондрашов, А.Б. Устинов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе проведено экспериментальное исследование спин-волнового оптоэлектронного кольцевого генератора. Главной особенностью работы является наличие одновременно двух нелинейностей: нелинейности поверхностных спиновых волн и нелинейности электрооптического модулятора Маха-Цендера. Экспериментально исследован сценарий развития динамического хаоса и влияние положения рабочей точки электрооптического модулятора на него. Построена карта режимов генерации.

Ключевые слова: СВЧ радиофотоника, спиновые-волны, динамический хаос, электрооптический модулятор.

1. Введение

Интерес к исследованию методов генерации динамического хаоса объясняется возможностью использования его в качестве несущего колебания в телекоммуникационных [1,2] и радиолокационных системы [3], генераторов случайных чисел [4], радиоосвещения [5], разработки новые методов шифрования изображений [6] и др. Главным требованием к цепи генератора динамического хаоса является наличие нелинейного элемента. Природа нелинейности будет определять сценарий развития динамического хаоса. Например, использование спин-волновой линии задержки в качестве нелинейного элемента может обеспечить переход через последовательность удвоений периода или появление в спектре сигнала гармоник с иррациональным соотношением частот [7-12] в зависимости от условий распространении спиновых волн. Другим примером является широкополосный оптоэлектронный генератор [13–16]. Нелинейным элементом таких генераторов является электрооптический модулятор Маха-Цендера.

Целью работы было экспериментальное исследование особенностей развития СВЧ динамического хаоса в спин-волновом оптоэлектронном генераторе при условии, что развитие хаоса обусловлено одновременно двумя видами нелинейности: оптической и спин-волновой.

2. Экспериментальная установка

На рисунке 1 показана блок-схема экспериментального макета. Генератор состоял из двух частей: СВЧ тракта и оптоэлектронного тракта. Оптоэлектронная часть состояла из полупроводникового лазера, электрооптического модулятора Маха-Цендера (ЭОМ) и СВЧ фотодетектора. Сверхвысокочастотный тракт состоял из СВЧ усилителя, нелинейной спин-волновой линии задержки, переменного аттенюатора, направленного ответвителя и тройника смещения. Компоненты СВЧ-тракта соединялись коаксиальными СВЧ-кабелями. Нелинейная линия задержки была сконструирована на основе эпитаксиальной пленки железо-иттриевого граната толщиной 6.9 мкм. Намагниченность насыщения равнялась 1750 Гс. Пленка

помещалась на антенны спиновых волн, расположенные на расстоянии 3 мм друг от друга. Пленка была намагничена до насыщения постоянным магнитным полем напряженностью 1244 Э. Поле было направлено по касательной к плоскости пленки, перпендикулярно направлению распространения спиновых волн. Такая ориентация поля позволяла возбуждать в пленке ЖИГ поверхностные спиновые волны.

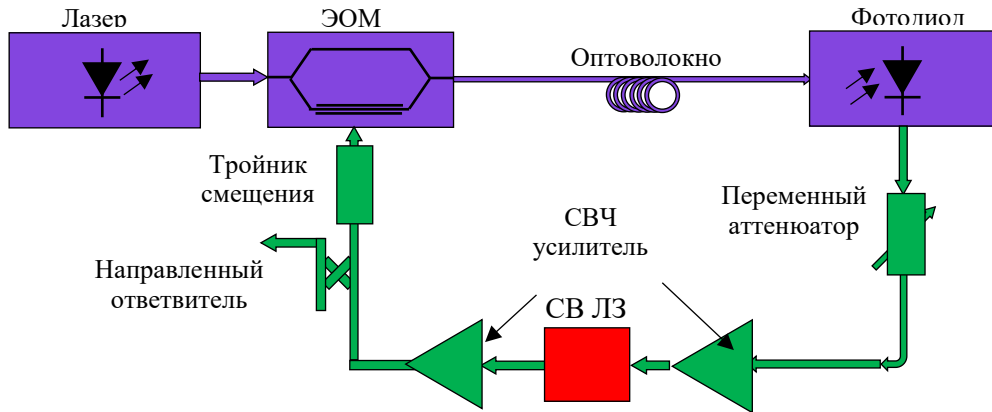


Рисунок 1. Блок-схема экспериментального макета генератора.

В ходе эксперимента исследовался сценарий развития динамического хаоса при плавном увеличении коэффициента усиления кольца G , определяющего мощности сигнала, циркулирующего в цепи генератора. Нелинейность цепи при высоком уровне мощности, циркулирующей в генераторе, определялась одновременно двумя элементами: спин-волновой линией задержки и электрооптическим модулятором. Условия эксперимента были подобраны так, что в нелинейность спиновых волн определялась только четырехволновыми параметрическими процессами.

Нелинейность модулятора определялась косинусоидальной формой его передаточной характеристики. Полуволновое напряжения модулятора было равно 3.3 В. На вход модулятора помимо СВЧ сигнала дополнительно подавалось постоянное напряжение смещения. Исследование сценария развития динамического хаоса было проведено для разных значений напряжения смещения, которым осуществлялось управление рабочей точкой электрооптического модулятора. При нулевом напряжении смещения ЭОМ рабочая точка находилась в квадратуре, т.е. на наиболее линейном участке передаточной характеристики. Увеличение напряжения смещения приводило к смещению рабочей точки в область с большей нелинейностью передаточной характеристики. Таким образом, изменение положения рабочей точки модулятора задавало пороговое значение мощности, при которой возникал нелинейный отклик модулятора.

3. Экспериментальные результаты

Результаты исследования показали, что в спин-волновых оптоэлектронных генераторах при плавном увеличении мощности циркулирующего сигнала последовательно возникает генерация монохроматического сигнала, затем периодического сигнала, хаотического сигнала и последовательности хаотических импульсов. При дальнейшем увеличении мощности циркулирующей в цепи наблюдается окно регулярной динамики и вновь развитие генерации хаотического сигнала. Описанный сценарий перехода не является «классическим» сценарием развития хаотической динамики, но имеет некоторые особенности, схожие как со сценариями развития динамического хаоса в спин-волновых кольцевых генераторах, так и в оптоэлектронных генераторах без спин-волновой линии задержки. Так, развитие генерации периодического сигнала при относительно малых значениях

коэффициента усиления кольца, не наблюдавшейся в оптоэлектронном генераторе, говорит о развитии модуляционной неустойчивости спиновых волн, возникновение которой чаще всего позволяет наблюдать сценарий Рюэлли-Такенса. В то же время форма наблюдавшихся хаотических импульсов характерна для нелинейности электрооптического модулятора, развитие которой обычно приводит к генерации хаоса через последовательность бифуркаций удвоения периода. Таким образом, анализ сценария развития хаотической динамики в спин-волновом оптоэлектронном кольцевом генераторе говорит об одновременном присутствии двух видов нелинейности, проявляющихся при разных значениях мощности сигнала циркулирующего в цепи генератора.

Описанный сценарий развития динамического хаоса соответствовал случаю, когда рабочая точка модулятора находилась в квадратуре, т.е. при напряжении смещения 0 В. Исследование влияния напряжения смещения на сценарий развития динамического хаоса позволило построить карту режимов работы генератора. На рисунке 2 показана карта наблюдавшихся режимов работы генератора в зависимости от напряжения смещения и коэффициента усиления кольца. Из рисунка можно видеть, что на начальном этапе изменение напряжения смещения не приводит к заметным изменениям сценария развития хаоса. По мере увеличения напряжения пороги некоторых режимов начинают снижаться, благодаря переходу в нелинейную область передаточной характеристики. Вблизи максимума передаточной характеристики модулятора регулярные режимы не возникали, кольцо сразу переходило в режим генерации динамического хаоса. В диапазоне значений коэффициента усиления кольца от 1.1 до 1.3 В кольцо не переходило в режим генерации из-за недостаточности коэффициента усиления усилителей в цепи.

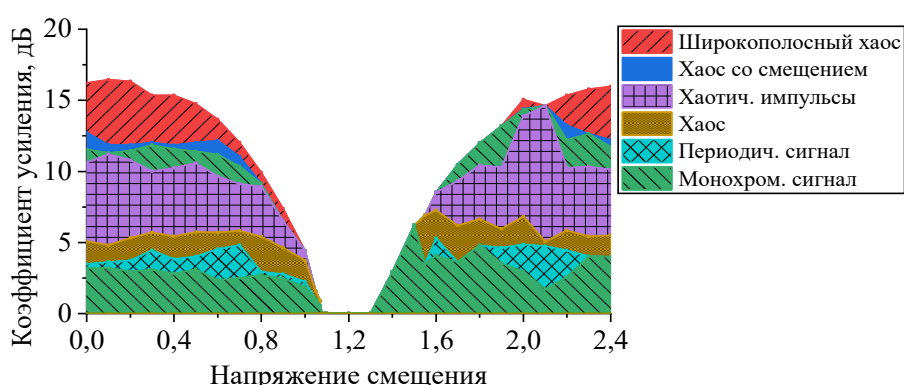


Рисунок 2. Карта наблюдавшихся режимов генерации при изменении коэффициента усиления кольца и напряжения смещения электрооптического модулятора.

3. Заключение

В работе проведен анализ режимов работы спин-волнового оптоэлектронного кольцевого генератора. Важной особенностью развития хаотической динамики стало участие сразу двух видов нелинейности, возникающих на разных уровнях мощности сигнала, циркулирующего в кольце. Изменение напряжения смещения электрооптического модулятора позволило управлять порогом возникновения нелинейности в нем. Это приводило к снижению порогов смены режима генерации и исчезновению режимов генерации регулярных сигналов.

Экспериментальная часть работы была поддержана грантом Президента Российской Федерации для молодых ученых и докторов наук МК-2531.2019.8, численные исследования поддержаны Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Дмитриев А. С., Панас А. И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Физматлит, 2002.
2. Argyris A., et. al. Chaos-based communications at high bit rates using commercial fibre-optic links // Nature. – 2005. – V. 438. – P 343-346.
3. Nijssure Y., Kaddoum G., Leung H. Cognitive chaotic UWB-MIMO radar based on nonparametric Bayesian technique // IEEE Trans. Aero Electron. Syst. – 2015. – V. 51. – 2360-2378.
4. Akgul A., et. al. Chaos-based engineering applications with a 3D chaotic system without equilibrium points // Nonlinear Dynamics. – 2016. – V. 84. – P. 481-495.
5. Dmitriev A. S., et.al. Radio lighting based on ultrawideband dynamic chaos generators // J. Commun. Technol. El. – 2016. – V. 61. – P.1259-1268.
6. Matthews R. A. The use of genetic algorithm in cryptanalysis // Cryptologia. – 1993. – V. 17. – 187-201.
7. Demidov V.E. and Kovshikov N.G. Mechanism for the appearance and randomization of the self-modulation of high-intensity spin waves // Tech. Phys. – 1999. – V. 44. – P. 960-963.
8. Grishin S.V., Grishin V.S., Romanenko D.V., and Sharaevskii Yu.P. An ultrawideband spin-wave medium-power chaos generator based on field-effect transistors // Tech. Phys. Lett. – 2014. – V. 40. – P. 853-857.
9. Hagerstrom A., Wu M., Eykholt R., and Kalinikos B.A. Tuning of chaotic surface spin waves in a magnetic-film feedback ring via the ring gain // Phys. Rev. B. – 2011. – V. 83. – P. 104402-1-4
10. Кондрашов А.В., Устинов А.Б. Калиникос Б.А. Benner Н. Автогенерация хаотического СВЧ сигнала в активных кольцах на основе ферромагнитных пленок // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 34. – С. 81-87.
11. Кондрашов А.В., Устинов А.Б. Калиникос Б.А. Управляемая генерация хаотического СВЧ-сигнала в условиях четырехволнового параметрического взаимодействия поверхностных спиновых волн // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36. – С. 62-70.
12. Кондрашов А.В., Устинов А.Б., Калиникос Б.А. Исследование динамического хаоса в кольцевых СВЧ-генераторах на основе нормально намагниченной ферромагнитной пленки // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42. – С. 82-89.
13. Larger L. and Dudley J.M. Nonlinear Dynamics: Optoelectronic Chaos // Nature. – 2010. – Т. 465. – P. 41-45.
14. Callan K.E., et.al. Broadband Chaos Generated by an Optoelectronic Oscillator // Phys. Rev. Lett. – 2010. – V. 104. – P. 113901-1-3.
15. Устинов А.Б., Кондрашов А.В., Никитин А.А., Дроздовский А.В., Калиникос Б.А. Автогенерация хаотического СВЧ сигнала в спин-волновом оптоэлектронном генераторе // ФТТ. – 2018. – В. 11. – С. 2088-2092.
16. Chembo Y.K. Laser-based optoelectronic generation of narrowband microwave chaos for radars and radio-communication scrambling // Opt. Lett. – 2017. – V. 42. – P. 3431-3436.