

Исследование влияния рабочей точки электрооптического модулятора на параметры генерируемых сигналов в радиофотонном кольцевом генераторе

А.В. Кондрашов, А.Б. Устинов, Б.А. Калинин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: представлены результаты исследования развития широкополосного СВЧ динамического хаоса в радиофотонном кольцевом генераторе. Подробно исследовано влияние положения рабочей точки на передаточной характеристике электрооптического модулятора на сценарий развития динамического хаоса. Определены пороговые значения коэффициента усиления кольца, при которых происходит смена режима автогенерации.

Ключевые слова: радиофотоника, СВЧ генераторы, широкополосные сигналы, нелинейные колебания и волны, динамический хаос

1. Введение

Исследование методов генерации СВЧ динамического хаоса и сценариев перехода к хаотической динамике в различных нелинейных автоколебательных системах представляет значительный интерес, обусловленный возможностью прикладного использования хаотических сигналов. Так, динамический хаос можно использовать для построения телекоммуникационных [1] и радиолокационных системы [2], генераторов случайных чисел [3], радиоосвещения [4], разработки новые методов шифрования изображений [5] и др. Одним из активно развивающихся в настоящее время направлений современной науки является радиофотоника. Она предполагает использование оптических компонент для обработки и генерации СВЧ сигналов [6]. Промышленно выпускаемые оптические компоненты имеют рабочие полосы частот, достигающие 40 ГГц и более, что позволяет реализовать генерацию хаотических сигналов со значительно более широким спектром. В качестве нелинейного элемента в таких системах обычно используется электрооптический модулятор, который вводит СВЧ сигнал в оптическую часть цепи генератора [7,8]. Следует отметить, что использование радиофотонной цепи позволяет получать хаотические сигналы, характеризующиеся спектрами, ширина которых может варьироваться от десятков мегагерц, до десятков гигагерц.

Целью настоящей работы является исследование влияния положения рабочей точки электрооптического модулятора на сценарий развития хаотической динамики и параметры хаотического сигнала, генерируемого радиофотонным кольцевым генератором.

2. Экспериментальный макет

На рисунке 1 представлена блок-схема макета радиофотонного автогенератора. Основными узлами генератора являлись лазер с длиной волны оптического излучения 1.55 мкм и мощностью 20 мВт, электрооптический модулятор типа интерферометра Маха-Цендера с полосой 10 ГГц и полуволновым напряжением 3.3 В, оптический волновод диаметром 8 мкм и длиной 100 м, фотодетектор с верхней рабочей частотой 25 ГГц, СВЧ усилители с диапазоном частот 2-8 ГГц, коэффициентом усиления 35 дБ

и выходной мощностью в линейном режиме до 1.5 Вт, переменный аттенуатор, СВЧ фильтр верхних частот (ФВЧ), тройник смещения и СВЧ направленный ответвитель. Компоненты СВЧ тракта соединялись СВЧ кабелями.

Нелинейность генератора обуславливалась косинусоидальной передаточной характеристикой модулятора. При нулевом значении напряжения смещения рабочая точка модулятора находилась в квадратуре, т.е. в середине линейной части передаточной характеристики. По мере увеличения напряжения смещения рабочая точка смещалась в нелинейную область характеристики, что приводило к изменению сценария развития хаотической динамики.

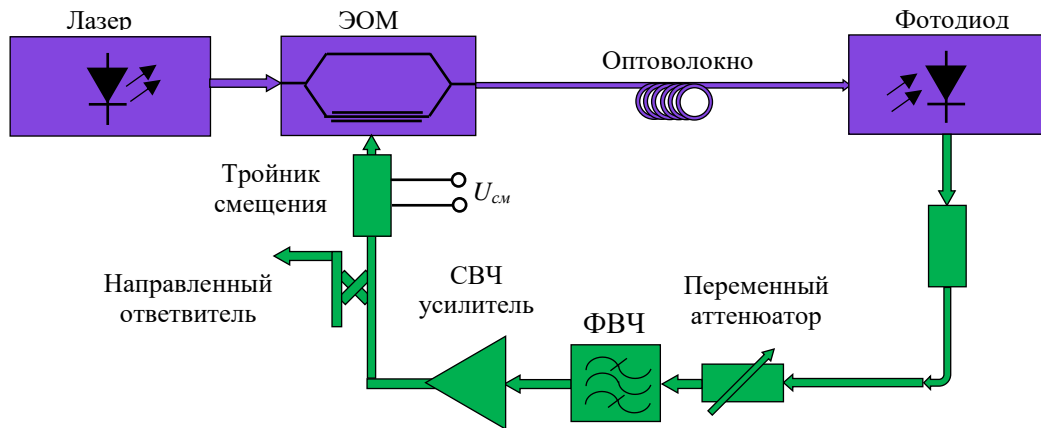


Рисунок 1. Блок-схема экспериментального макета радиофотонного кольцевого генератора

Алгоритм проведения эксперимента был следующим. На тройник смещения подавалось фиксированное напряжение $U_{см}$. Это напряжение задавало положение рабочей точки на передаточной характеристике электрооптического модулятора. Далее с помощью переменного аттенуатора изменялась величина коэффициента усиления кольца и исследовалось развитие генерации динамического хаоса. После этого исследование повторялось для других значений напряжения смещения.

На рисунке 2 показана диаграмма характеризующая режим автогенерации в зависимости от коэффициента усиления кольца и напряжения смещения. Наибольшее разнообразие режимов генерации сигнала наблюдалось при нулевом напряжении смещения. Так в кольце последовательно наблюдалось возникновение монохроматической генерации, генерации периодической последовательности прямоугольных импульсов, удвоение периода прямоугольных импульсов, хаотическая модуляция амплитуды прямоугольных импульсов и импульсов с удвоенным периодом, генерация динамического хаоса с различными спектральными характеристиками, переход к шумовой генерации и возврат к генерации хаоса.

При изменении напряжения смещения электрооптического модулятора рабочая точка смещалась в нелинейную область. В результате этого сначала снижались пороги возникновения нелинейной генерации, а также из сценария развития хаотической генерации начинали исчезать некоторые режимы работы. Первыми исчезали режимы генерации монохроматического сигнала, прямоугольных импульсов, импульсов с удвоенным периодом и прямоугольных импульсов с хаотической модуляцией амплитуды. Затем пропадает монохроматическая генерация, в кольце сразу реализуется генерация хаотического сигнала.

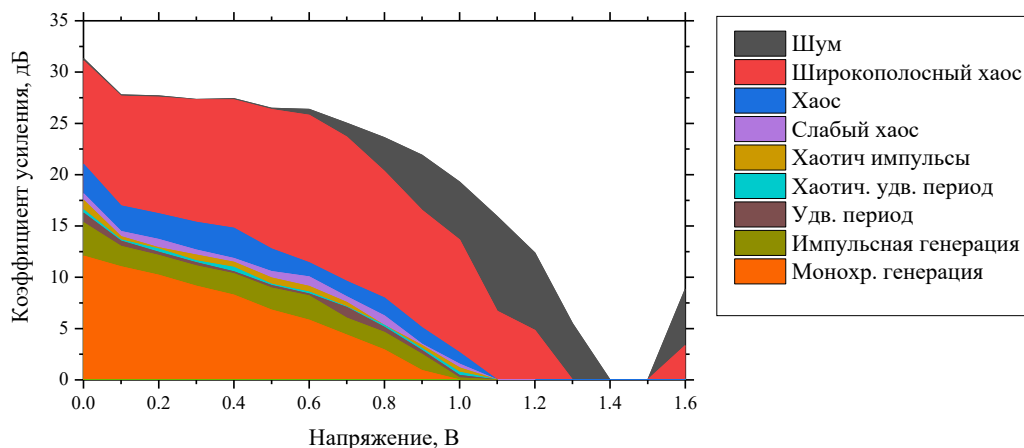


Рисунок 2. Диаграмма возможные режимы автогенерации радиофотонного кольцевого генератора

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 (проект «Госзадание»).

Список литературы

1. Дмитриев, А. С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А. С. Дмитриев, А. И. Панас. — М.: Физматлит, 2002. — 252 с.
2. Nijssure, Y. Cognitive chaotic UWB-MIMO radar based on nonparametric Bayesian technique / Y. Nijssure, G. Kaddoum, H. Leung // IEEE Trans. Aero Electron. Syst. — 2015. — Vol. 51. — P. 2360–2378.
3. Akgul, A. Chaos-based engineering applications with a 3D chaotic system without equilibrium points / A.Akgul, [et al.] // Nonlinear Dynamics. — 2016. — Vol. 84. — P. 481–495.
4. Dmitriev, A. S. Radio lighting based on ultrawideband dynamic chaos generators / A. S. Dmitriev, [et al.] // Journal of Communications Technology and Electronics. — 2016. — Vol. 61. — P 1259–1268.
5. Matthews, R.A. The use of genetic algorithms in cryptanalysis // Cryptologia. — 1993. — Vol. 17. — P. 187–201.
6. Белкин, М.Е. Новое направление фотоники -сверхвысокочастотная оптоэлектроника / М.Е. Белкин, А.С. Сигов // Радиотехн. и электрон. — 2009. — Т. 54. — №. 8. — С. 901–914.
7. Larger, L. Nonlinear dynamics: Optoelectronic chaos / L. Larger, J. M. Dudley // Nature. — 2010. — Vol 465. — P. 41-42.
8. Кондрашов, А.В. Динамические режимы автогенерации сверхвысокочастотного сигнала в радиофотонном кольцевом генераторе / А.В. Кондрашов, А.Б. Устинов, Б.А. Калиникос // ЖТФ. — 2017. — Т. 87. — №. 2. — P. 259-265.