

Многопараметрическое управление хаосом в каскадных полупроводниковых лазерах с инъекцией оптической гребёнки для глубоких фотонных резервуарных вычислений

© Najm M. Al-Hosiny

Department of Physics, College of Science,
Taif University, Saudi Arabia

e-mail: najm@tu.edu.sa

Поступила в редакцию 16.04.2026 г.

В окончательной редакции 28.06.2026 г.

Принята к публикации 28.06.2026 г.

Мы предлагаем использовать каскадную архитектуру инъекции оптического частотного гребня для генерации управляемого многомерного хаоса в полупроводниковых лазерах. Иерархическая система включает в себя ведущий лазер, генерирующий оптический частотный гребень, который управляет первым ведомым лазером, выходной сигнал которого впоследствии инжектируется во второй ведомый лазер. С помощью всестороннего анализа бифуркаций мы установили, что следующие три независимые параметры управления действуют совместно, формируя динамику выходного сигнала: общая интенсивность инъекции контролирует размер хаотических областей, расстройка ведущего лазера обеспечивает точное позиционирование динамических режимов, а расстояние между гребенками регулирует спектральную насыщенность и размерность. Анализ временных рядов и спектров мощности показывает резкие переходы между стабильными, квазипериодическими и хаотическими состояниями, демонстрируя независимое управление полосой пропускания хаоса, размерностью и режимами стабильности. Такая архитектура естественным образом реализует структуру глубоких резервуарных вычислений, обеспечивая повышенную вычислительную мощность, регулируемую емкость памяти и прогнозируемое повышение производительности по сравнению с одноступенчатыми системами при сохранении полностью оптического режима работы. Все параметры системы соответствуют коммерчески доступным компонентам, а прогнозируемая динамика демонстрирует структурную стабильность в диапазонах параметров, типичных для экспериментальных условий. Полученные численные результаты подтверждают возможность использования каскадной инъекции гребенчатого спектра в качестве перспективной теоретической основы для будущей экспериментальной реализации в фотонных резервуарных вычислениях, защищенной связи на основе хаоса и высокоскоростной генерации случайных битов.

Ключевые слова: инъекция оптической частотной гребенки, каскадная оптическая инъекция, фотонные резервуарные вычисления, хаотическая динамика.

DOI: 10.61011/OS.2026.10.63942.9467-26