

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРОВ С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ ПРИ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Г. И. Рутковский

Белорусский государственный университет, г. Минск;

h.rutkowski@gmail.com;

науч. рук. – А. А. Афоненко, д-р физ.-мат. наук, доц.

Разработана схема лазера с насыщающимся поглотителем при оптоэлектронной обратной связи в программном пакете VPI Transmission Maker, проведено моделирование и анализ фазовых шумов на основе временных реализаций полученного оптоэлектронного СВЧ-генератора. Анализ полученных результатов моделирования позволяет определить, что обратная связь снижает уровень фазового шума.

Ключевые слова: лазер; насыщающийся поглотитель; модуляция добротности; фазовый шум; VPI Transmission Maker;

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что насыщающийся поглотитель, помещенный в резонатор полупроводникового лазера играет важную роль в его динамике генерации излучения. Увеличение энергии насыщения с ростом концентрации носителей является одним из свойств полупроводниковой лазерной среды, что позволяет формировать область насыщающегося поглотителя и усиливающую область в полупроводниковом лазере из одного материала. Лазеры с такой конструкцией резонатора имеют импульсный характер излучения, который не связан непосредственно с внешним управлением. В работе [1] был проведен анализ условий для возникновения автопульсаций связанных с модуляцией добротности в лазерах с насыщающимся поглотителем. Известно, что режим модуляции добротности может быть достигнут только при определенных отношениях времени жизни τ_g/τ_a и дифференциального усиления $\partial g_a/\partial n, \partial g_g/\partial n$ в областях поглощения и усиления соответственно. Частота следования импульсов может принимать значения от единиц до сотен ГГц и перестраиваться в зависимости от тока накачки как было продемонстрировано в работе [2].

Фазовый шум является одной из важных характеристик оптоэлектронного СВЧ-генератора, так как такие приборы находят широкое применение в СВЧ измерительных системах, в системах радиосвязи и в системах радиолокации, т. е. где решаются проблемы, связанные с генерацией, несущей с низким уровнем фазового шума, а также детектирова-

ния слабых СВЧ-сигналов. Соответственно уменьшение фазового шума является актуальной проблемой и может достигаться введением оптоэлектронной обратной связи.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРА В ПАКЕТЕ VPI TRANSMISSION MAKER

VPI Transmission Maker – программный пакет для моделирования и проектирования различных фотонных систем, поддерживает моделирование дискретных сигналов, параметризованных сигналов, шумов и искажений. С его помощью происходило моделирование работы лазера с насыщающимся поглотителем в режиме модуляции добротности, а также работы лазера с насыщающимся поглотителем в режиме модуляции добротности с обратной оптоэлектронной связью.

В настоящей статье моделировалась работа трехсекционного одномодового лазера, который состоит из двух линейно сужающихся секций усиления и секции с насыщающимся поглотителем между ними. Благодаря своей геометрии, лазер способен генерировать короткие пикосекундные импульсы, с высокой пиковой мощностью и частотой пульсаций 1–5 ГГц. Структура лазера, а также размеры секций изображены на рис. 1.

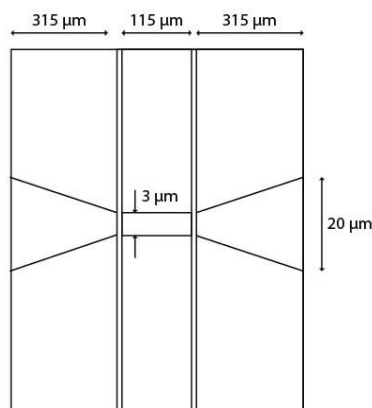


Рис. 1. Структурная схема лазера

В схеме используются два независимых источника питания, первый с током $I_1 = 0,45\text{A}$ для секций усиления, а второй с током $I_2 = 0.25\text{ A}$ для секции поглотителя. Моделирование обратной связи производилось за счёт последовательно соединенных оптоволоконной линии задержки, время задержки 20 нс, фотодиода, усилителя, полосового СВЧ-фильтра использующего передаточную функцию Бесселя 2-го порядка, ширина фильтра составляет 3 % (рис. 2, б).

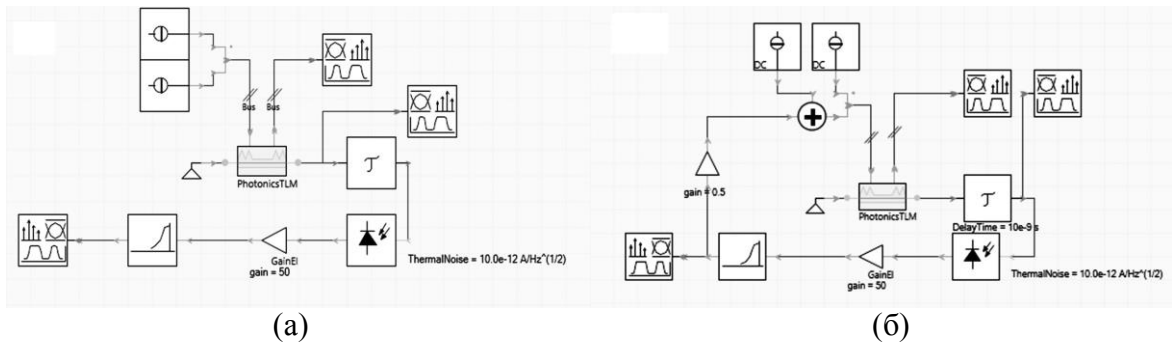


Рис. 2. Схема лазера, смоделированная в пакете VPI Transmission Maker, без обратной связи (а) и схема с обратной связью (б)

Период следования импульсов, полученных в ходе моделирования, равняется 315 пс (рис. 3), средняя пиковая мощность 145 мВт, что согласуется с другими работами [2, 3].

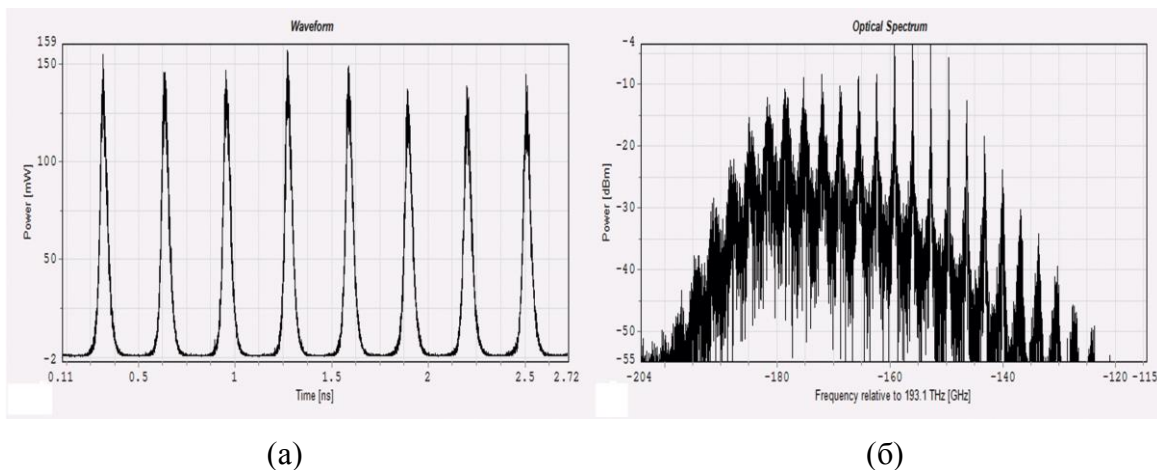


Рис. 3. Временная зависимость амплитуды от времени (а), спектр лазера (б)

АНАЛИЗ ФАЗОВОГО ШУМА

Фазовый шум в данной системе формируется за счёт квантовых шумов спонтанного излучения и впоследствии “передается” в СВЧ-диапазон в пульсациях лазера. В данной работе под понятием фазовый шум, следует понимать половину односторонней спектральной плотности мощности флуктуаций фазы.

Для получения оценки спектральной плотности мощности флуктуаций фазы использовалась последовательность отсчётов комплексной амплитуды. Комплексная амплитуда в свою очередь получалась из результатов моделирования сигнала во временной области с помощью прямого преобразования Фурье, выделения гармоник с положительными частотами и последующего обратного преобразования Фурье. Расчеты прово-

дились для временных зависимостей сигнала, полученных без обратной связи и при наличии обратной связи.

Проведенное моделирование показало, что при введении оптоэлектронной обратной связи низкочастотный фазовый шум излучения снижается. Например, при времени задержки в цепи обратной связи 20 нс снижение фазового шума составляет около 30 дБ (рис. 4).

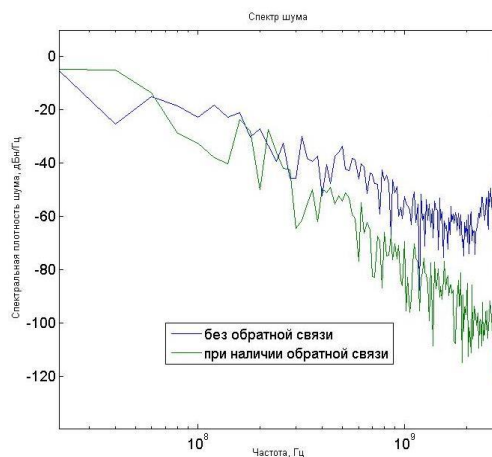


Рис. 4. Спектральная плотность мощности фазового шума для системы без обратной связи и при наличии обратной связи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы:

- разработана схема лазера с насыщающимся поглотителем при оптоэлектронной обратной связи в программном пакете VPI Transmission Maker;
- проведено моделирование временных и спектральных характеристик лазера в режиме генерации автопульсаций излучения;
- выполнен анализ фазовых шумов исследуемого оптоэлектронного СВЧ-генератора и установлено, что при наличии обратной связи с задержкой 20 нс снижение фазового шума составляет около 30 дБ.

Библиографические ссылки

1. Ueno M., Lang R. Conditions for self-sustained pulsation and bistability in semiconductor lasers // Journal Appl. Phys. 1985. Vol. 58, № 4. P. 1689–1692. DOI: 10.1063/336085.
2. Mohrle M. Gigahertz self-pulsation in 1.5 μm wavelength multisection DFB lasers // IEEE Photonics Technology Letters. 1992. Vol. 4, № 9. P. 976–978. DOI: 10.1109/68.157120.
3. Cakmak B. Experimental investigation of a Q-switched triple contact InGaAs bow-tie diode laser // IEE Proceedings – Optoelectronics. 1999. Vol. 146, № 6. P. 259–262. DOI: 10.1049/ip-opt:19990840.