

# ЯВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ШУМ В ВОЛНОВОДНЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРАХ С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*В.Л.Дербов, М.А.Кон, Э.М.Рабинович*

## Введение

Необходимость исследования шумов в полупроводниковых волноводных лазерах с запаздывающей оптической обратной связью (300С), обусловленных переключением системы из одного стационарного состояния в другое, обсуждалась в ряде работ (см., например, [1,2]). Это связано, с одной стороны, с интересом к изучению физических явлений в указанных системах, с другой — с перспективой широкого применения лазеров с оптической обратной связью в качестве оптических логических устройств, автодинных измерительных систем и др. В работе [3] представлены результаты экспериментальных исследований низкочастотных шумов интенсивности излучения инжекционных лазеров с внешним зеркалом. При этом было установлено, что переключение системы между различными состояниями обусловлено флуктуациями длины оптической обратной связи. В настоящей работе предпринята попытка адекватного описания низкочастотных шумов интенсивности излучения в результате выбора соответствующего закона распределения флуктуаций длины обратной связи. Данные численных экспериментов сопоставляются с шумами интенсивности излучения реальной физической системы.

## Основные соотношения. Методика расчета низкочастотных шумов интенсивности излучения

Известно, что зависимость интенсивности и частоты генерации полупроводникового лазера от времени задержки оптического сигнала в цепи обратной связи может быть описана с использованием теоретической модели Lang и Kobayashi [4], при этом могут быть получены следующие соотношения [1]:

$$\Delta\omega\tau = C \sin[\varphi_0 - (\omega_0 + \Delta\omega)\tau], \quad (1)$$

$$P = P_0 = \frac{2\gamma P_0}{\Gamma_0} \frac{\frac{J}{J_n}}{\left(\frac{J}{J_n} - 1\right)} \cos[(\omega_0 + \Delta\omega)\tau], \quad (2)$$

где

$$C = \frac{\gamma\tau}{\cos\varphi_0}, \quad \text{tg } \varphi_0 = \frac{\eta}{\xi} \left(-\frac{\pi}{2} < \varphi_0 < \frac{\pi}{2}\right),$$

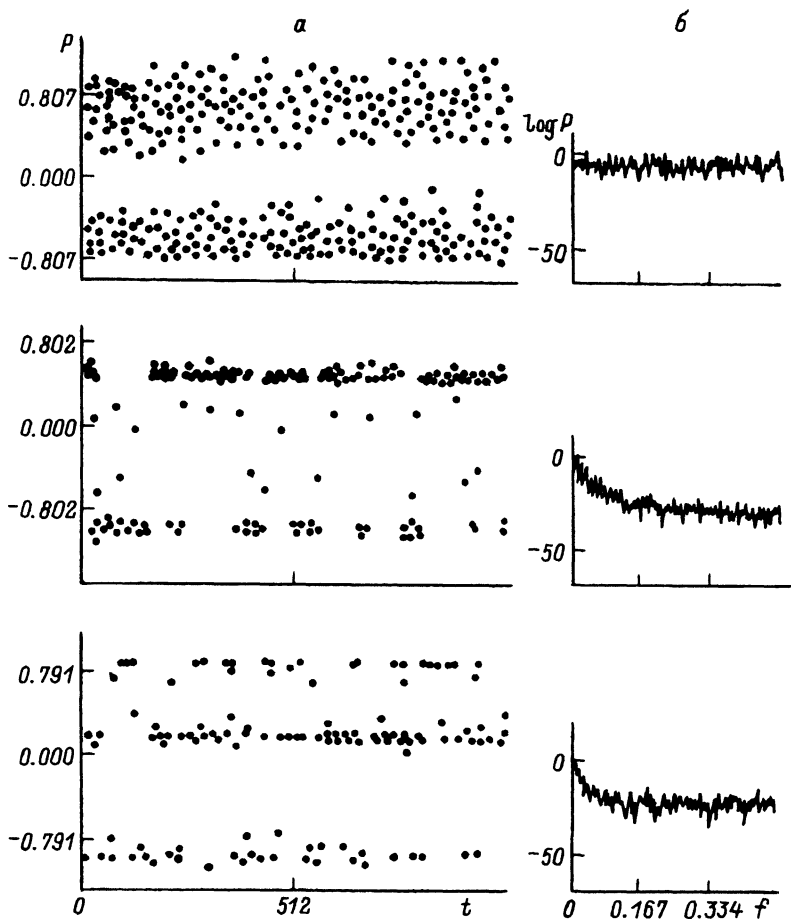
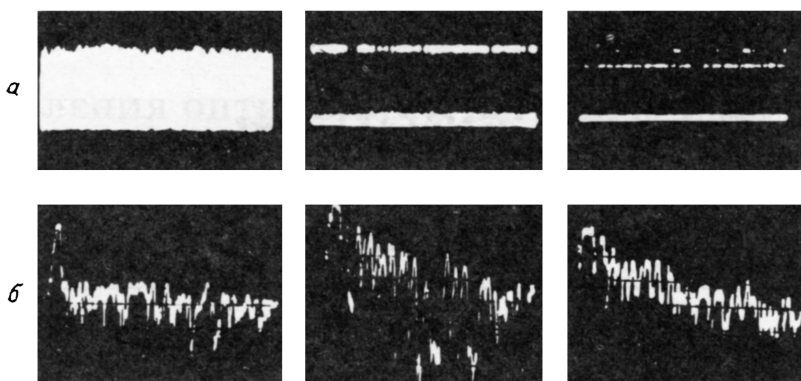


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения от времени (а) и спектр интенсивности излучения (б). Результаты математического моделирования.

$\omega_0$  — частота генерации лазера без обратной связи;  $\Delta\omega$  — сдвиг частоты, вызванный обратной связью;  $C$  — коэффициент обратной связи;  $\tau$  — время задержки в цепи обратной связи;  $\Gamma_0$  — потери резонатора диода;  $\gamma$  — параметр, описывающий увеличение амплитуды, вызванное обратной связью;  $\frac{J}{J_{\text{п}}}$  — параметр накачки.

Результаты экспериментальных исследований, полученные при выполнении работы [3], свидетельствуют о том, что минимальные наблюдаемые времена переключения системы из одного стационарного состояния в другое составили  $10^{-6} - 10^{-7}$  с. С другой стороны, характерные времена задержки сигнала в реальных системах составляют величины  $10^{-9} - 10^{-10}$  с [2]. Это обстоятельство позволяет считать, что переключения системы между различными стационарными состояниями происходят при неизменной статической характеристике, описываемой с помощью соотношений (1) и (2).



**Рис. 2.** Результаты эксперимента. Зависимость интенсивности излучения от времени (а) и спектр флуктуаций интенсивности (б).  
 1 —  $C \approx 1$ , 2 —  $C > 1$ , 3 —  $C = 4 - 5$ .

Для математического описания низкочастотных шумов интенсивности излучения применялся метод Монте-Карло, заключающийся в использовании случайных чисел для моделирования различных ситуаций. Предполагалось, что амплитуда флуктуаций длины обратной связи (времени задержки сигнала) подчиняется различным статистическим законам распределения. С помощью генератора случайных чисел осуществлялось формирование случайных параметров  $\tau$  с равномерным распределением, затем производилось преобразование законов распределения.

### Результаты численных расчетов. Сравнение с экспериментом

На рис. 1 представлены результаты расчета зависимости интенсивности излучения инжекционного лазера с 300С от времени (а) и спектра интенсивности (б) для различных значений параметра обратной связи  $C$  [1] при предположении, что распределение флуктуаций времени задержки  $\tau$  может быть представлено в виде суперпозиции двух кривых, соответствующих нормальным законам с различной дисперсией. Рис. 2 иллюстрирует флуктуации интенсивности излучения (а) и спектр сигнала (б) в реальной физической системе, выполненной с использованием волноводного инжекционного лазера на зарощенных гетероструктурах ( $\lambda = 1.3$  мкм) [3]. Сравнение рис. 1 и 2 свидетельствует о хорошем качественном соответствии результатов теоретического расчета и эксперимента в случае принятого закона распределения флуктуаций времени задержки.

Аналогичные расчеты были выполнены с использованием других законов распределения флуктуаций длины линии задержки. При этом, однако, не было получено удовлетворительного качественного соответствия теоретических и экспериментальных результатов.

### Заключение

Моделирование низкочастотного шумового сигнала в полупроводниковых лазерах с 300С, обусловленного оптическими переключениями системы между различными состояниями, может быть выполнено в резуль-

тате выбора соответствующего закона распределения флуктуаций времени задержки  $\tau$  сигнала в цепи обратной связи. Показано, что для рассмотренной экспериментальной системы закон распределения флуктуаций наилучшим образом может быть описан с помощью суперпозиции двух кривых, соответствующих нормальным законам распределения с различной дисперсией.

#### Список литературы

- [1] *Acket A.G., Lenstra D., Boef A.J.D., Verbeek B.H.* // IEEE J. Quant. Electr. 1984. Vol. 20. N 10. P. 1163-1169.
- [2] *Mork J., Tromborg B., Christiansen P.L.* // IEEE J. Quant. Electr. 1988. Vol. 24. N 2. P. 123-133.
- [3] *Кон М.А., Рабинович Э.М.* // ЖТФ. 1990. Вып. 11. С. 178-182.
- [4] *Lang R., Kobayashi.* // IEEE J. Quant. Electr. 1980. Vol. 16. P. 347-355.

Саратовский университет им.Н.Г.Чернышевского  
Научно-исследовательский институт  
механики и физики

Поступило в Редакцию  
17 октября 1991 г.  
В окончательной редакции  
29 июня 1992 г.