

ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МИКРО- И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.378.325

А. К. Комаров, А. С. Кучьянов

(Новосибирск)

БИСТАБИЛЬНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

На основе численного моделирования свободной генерации твердотельных лазеров с дополнительными внутриврезонаторными нелинейными элементами установлено, что при определенных параметрах исследуемой системы многомодовая лазерная генерация оказывается бистабильной: при начальных условиях генерации, близких к стационарным, возникает режим затухающих пульсаций интенсивности излучения с последующим выходом на стационарный режим; если же начальные интенсивности отдельных мод находятся на уровне спонтанного шума, реализуется режим незатухающих пиков.

Численное моделирование проводилось на основе балансных уравнений для интенсивностей I_i и коэффициентов усиления Q_i отдельных мод [1, 2]:

$$\frac{dI_i}{dt} = \left[Q_i + (c - b)I_i + b \sum_k I_k \right] I_i, \quad (1)$$

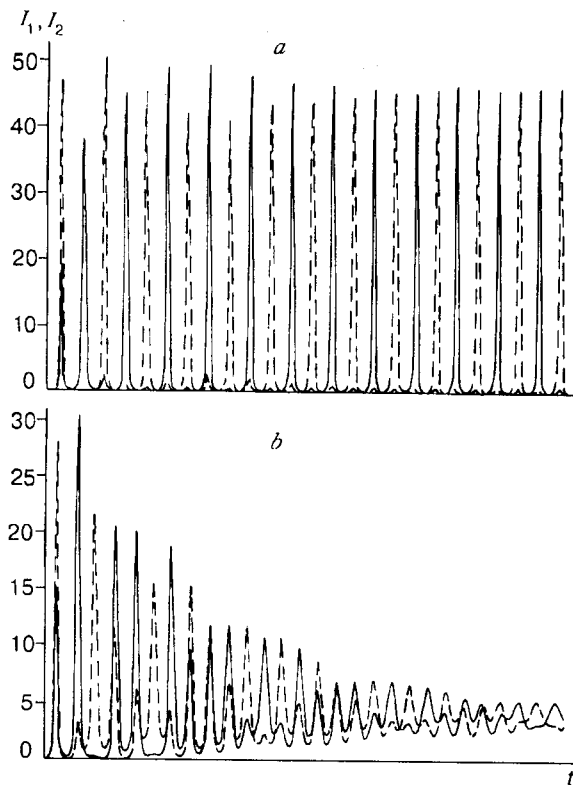
$$\frac{dQ_i}{dt} + \left(\gamma + \frac{D}{V} \sum_k I_k \right) Q_i = a\gamma\sigma - \frac{D\sigma}{2V} I_i - \frac{D\sigma}{V} \sum_k I_k. \quad (2)$$

Здесь γ — обратное время релаксации усиливающей среды; σ — резонаторные потери; D — коэффициент Эйнштейна для индуцированного излучения; V — объем резонатора; a — относительное превышение накачки над порогом. Величины и знаки параметров b и c определяются механизмами дополнительного нелинейного самовоздействия внутриврезонаторного излучения, не связанного с рабочим переходом в активной среде. За такое самовоздействие могут отвечать дополнительные внутриврезонаторные нелинейные элементы и неконтролируемые нелинейности усиливающей среды, связанные с ее матрицей либо с негенерационными уровнями примесных активных центров [1]. Параметр c определяет нелинейное самовоздействие моды, параметр b — нелинейное воздействие данной моды на другие типы колебаний.

Как известно [1, 2], при отсутствии дополнительного нелинейного самовоздействия излучения ($b = 0$, $c = 0$) все решения системы уравнений (1), (2) носят характер затухающих колебаний интенсивностей отдельных мод с последующим выходом на стационарный режим генерации. В случае $b \neq 0$, $c \neq 0$ из аналитических расчетов удалось выявить характер решений этих уравнений лишь вблизи стационарного состояния [1]. Выполненное нами численное моделирование лазерной генерации, описываемой уравнениями (1), (2), позволило определить основные свойства решений этих уравнений и вдали от стационарного состояния. На основе проведенного численного счета продемонстрировано существование при определенных параметрах b и c сле-

дующих особенностей динамики лазерной генерации: 1) при одномодовой генерации наблюдаются затухающие пички и устанавливается стационарный режим; 2) при генерации нескольких мод наблюдаются незатухающие пульсации; 3) при генерации большого числа мод также устанавливается стационарная генерация. Эти свойства решений уравнений (1), (2) были известны и ранее из анализа поведения системы вблизи стационарного состояния [1], и проведенный нами численный счет подтвердил существование этих особенностей. Принципиально новым результатом проведенного нами исследования является получение численными методами решений, описывающих работу лазера вдали от стационарного состояния и демонстрирующих бистабильность генерации изучаемой лазерной системы при значениях параметров нелинейностей b и c , примыкающих к граничным, при которых стационарный режим становится неустойчивым [3].

Существование такой бистабильности показано на примере двухмодовой генерации: вблизи стационарного состояния наблюдаются затухающие пульсации интенсивности излучения с выходом после переходного процесса на стационарный режим; вдали от стационарного режима наблюдаются незатухающие пички, связанные с чередованием генерирующих мод. Такая бистабильность реализуется в широкой области изменения параметров лазерной системы: $\sigma/\gamma = 10^3 - 10^6$, $a \sim 1 - 10$. Бистабильность наблюдалась при изменении величин b, c на 20—30%. На рисунке представлена описываемая зависимость характера решений от начальных условий генерации для конкретных



Зависимость режима генерации твердотельных лазеров от начальных условий:
 $\sigma/\gamma = 10^{3.5}$, $a = 10$, $b = -1$, $c = 1$; интенсивности I_1, I_2 (сплошная и штриховая кривые соответственно) представлены в единицах $\gamma V/D$, нелинейности b и c — в единицах $D/\gamma V$. Длительность временной развертки равна γ^{-1} . Для обоих случаев начальные коэффициенты усиления $Q_i = 0$:
 a — начальные интенсивности далеки от стационарных и находятся на уровне спонтанного шума: $y_1 = -8$, $y_2 = -7$ ($y_i = \ln(I_i/I_{si})$, I_{si} — стационарное значение интенсивности); b — начальные значения интенсивностей более близки к стационарным: $y_1 = -5$, $y_2 = -4.5$

параметров лазера. Выбранные значения параметров b , c по порядку величины соответствуют значениям нелинейностей, нарушающих устойчивость стационарной генерации и обсуждавшихся в [1]. При численном счете использовался метод Рунге — Кутты второго порядка точности. Переход к тому или иному устанавливаемому режиму зависит не только от того, насколько далеки от начальных условий — так называемую «инерцию режима» [1]. Таким образом, полученные в настоящей работе результаты подтверждают высказанную ранее гипотезу о возможности интерпретации этого явления в рамках уравнений (1), (2) [1].

Проведенный численный эксперимент дополняет существующие теоретические и экспериментальные исследования по соответствующему кругу вопросов и позволяет выявить ряд особенностей динамики свободной генерации твердотельных лазеров вдали от стационарного состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фолин К. Г., Гайнер А. В.** Динамика свободной генерации твердотельных лазеров. Новосибирск: Наука, 1979.
2. **Khanin Y. I.** Principles of Laser Dynamics. North-Holland: Elsevier, 1995.
3. **Комаров А. К.** Численное моделирование генерационных неустойчивостей твердотельных лазеров // Мат-лы XXXV Междунар. научн.-студ. конф. «Студент и научно-технический прогресс»: Физика. Новосибирск: НГУ, 1997.

Поступила в редакцию 10 сентября 1997 г.