

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников А. Г., Боголюбов А. Н., Минаев Д. В., Сычкова А. В. // Радиотехн. и электроника. 1993. 36, № 5. С. 804.
2. Hano M. // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1984. MTT-32. P. 1275.
3. Lee J. F., Sun D. K., Cendes Z. J. // Ibid. 1991. MTT-39. P. 1262.

Поступила в редакцию  
24.10.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 2

## РАДИОФИЗИКА

УДК 621.373

### ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМОДУЛЯЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДВУХ ОПТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ

Д. А. Грибков, В. В. Грибкова, Ю. И. Кузнецов

(кафедра физики колебаний)

Численными методами исследованы процессы автомодуляции излучения в системе двух оптически связанных инжекционных лазеров, в каждом из которых возможна хаотическая автомодуляция. Приводятся бифуркационные диаграммы динамических процессов в зависимости от связи и тока накачки.

Автомодуляция (АМ) излучения инжекционных лазеров (ИЛ) является весьма распространенным явлением [1—7]. К настоящему времени автомодуляционные процессы в ИЛ, в том числе хаотические, изучались в следующих случаях: а) при модуляции добротности резонатора ИЛ внешним периодическим воздействием [2], б) при наличии запаздывающей обратной связи по току накачки [3], в) при учете явления диффузии носителей в область, обедненную ими после выжигания [4], г) в системах связанных ИЛ [5—7]. В работах [5—7] рассматривались системы связанных ИЛ, каждый из которых в отдельности находится в режиме стационарной генерации излучения, хотя известно, что хаотическая АМ возможна и в отдельном ИЛ [3, 4]. Кроме того, при исследовании нерегулярных режимов АМ излучения в работах [5—7] не использовались методы нелинейной динамики и не изучались бифуркационные явления.

В данной работе численными методами исследуются динамические процессы АМ излучения в системе двух оптически связанных ИЛ, в каждом из которых может существовать хаотическая АМ [4]. В качестве базовой модели взята модель ИЛ, учитывающая явление диффузии носителей в область, обедненную ими после выжигания [4]. Система дифференциальных уравнений, описывающая два оптически связанных ИЛ, в этом случае имеет вид

$$dX_1/dt = R(Y_1 - 1)X_1 - \theta X_1 + \beta Y_1 + S_1 X_2,$$

$$dY_1/dt = I_1 - \gamma Y_1 - R(Y_1 - 1)X_1 + kR(Y_{1r} - 1)X_{1r},$$

$$dX_2/dt = R(Y_2 - 1)X_2 - \theta X_2 + \beta Y_2 + S_2 X_1,$$

$$dY_2/dt = I_2 - \gamma Y_2 - R(Y_2 - 1)X_2 + kR(Y_{2r} - 1)X_{2r}.$$

Здесь  $X_{1,2}$  — средние нормированные концентрации фотонов в каждом ИЛ,  $Y_{1,2}$  — средние нормированные концентрации носителей в этих

ИЛ,  $X_{1\tau} = X_1(t - \tau)$ ,  $X_{2\tau} = (t - \tau)$ ,  $Y_{1\tau} = Y_1(t - \tau)$ ,  $Y_{2\tau} = Y_2(t - \tau)$ ,  $\tau$  — характерное время запаздывания,  $I_{1,2}$  — нормированные токи накачки,  $S_{1,2}$  — нормированные коэффициенты оптической связи между ИЛ,  $R, \theta, \beta, k$  — безразмерные параметры ИЛ,  $\nu = k + 1$ .

Эти уравнения в первом приближении описывают одномодовое взаимодействие двух ИЛ с шириной контакта не более  $2L$  ( $L$  — длина диффузии носителей), в каждом из которых учитывается влияние диффузии при заполнении носителями обедненной области после процесса выжигания.

Исследование модели проводилось численными методами при различных токах накачки и коэффициентах связи. Остальные безразмерные параметры системы имели следующие значения:  $R=800$ ,  $\theta=1500$ ,  $\beta=0,001$ ,  $k=0,4$ ,  $\tau=0,2$ .

При слабой связи между ИЛ ( $S_1, S_2 < S_{lim} \sim 0,1$ ) каждый лазер ведет себя независимо от другого. При увеличении тока накачки стационарная генерация излучения становится неустойчивой и наблюдается переход к регулярному пиковому режиму ( $I_i=4,55=1,1 I_{lim}$ ,  $i=1,2$ ,  $I_{lim}$  — ток, соответствующий порогу генерации). При дальнейшем увеличении тока накачки регулярный пиковый режим испытывает модуляцию и система переходит в режим хаотической АМ излучения ( $I_i=5,3$ ,  $i=1,2$ ). Переход к хаосу каждого из ИЛ при слабой связи осуществляется через перемежаемость [8]. Переход к хаосу идентифицировался, когда вычисленный старший ляпуновский показатель процесса становился больше нуля.

Ситуация резко изменяется в случае достаточно большой связи между ИЛ. В этом случае переход к хаосу осуществляется через разрушение режима биений, т. е. через разрушение поверхности инвариантного тора в фазовом пространстве системы [8]. Кроме этого появляется ряд новых динамических явлений.

Рассмотрим случай, когда первый ИЛ находится в состоянии регулярного пикового режима ( $I_1=4,55=1,1 I_{lim}$ ). На рис. 1 представ-

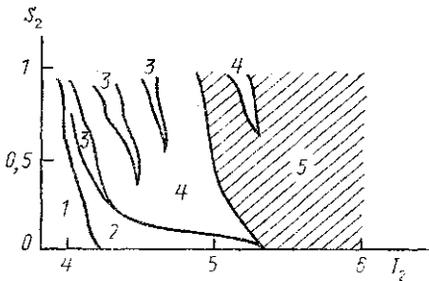


Рис. 1

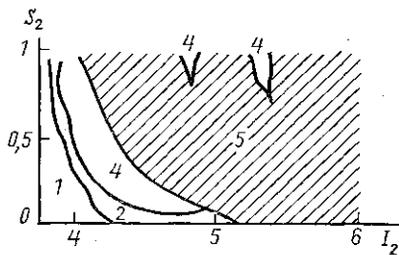


Рис. 2

лена бифуркационная диаграмма режимов второго ИЛ на плоскости параметров ( $I_2, S_2$ ) при  $S_1=0,55$ . Здесь область 1 соответствует стационарной генерации; 2 — регулярному пиковому режиму; области 3 — режиму взаимной синхронизации процессов АМ двух ИЛ; области 4 — существованию инвариантного тора в фазовом пространстве системы, т. е. режиму биений; область 5 (на рисунке заштрихована) — режиму хаотической АМ. Из этой диаграммы видно, что увеличение связи  $S_2$  расширяет область хаоса и сужает область стационарной генерации.

На рис. 2 показана бифуркационная диаграмма режимов второго ИЛ для случая, когда первый ИЛ находится в состоянии хаотической АМ ( $I_1=5,35$ ) при  $S_1=0,55$ . Обозначения областей на этой диаграмме

такие же, как на рис. 1. В отличие от первого случая здесь отсутствуют режимы, соответствующие взаимной синхронизации процессов АМ.

Отметим следующую особенность бифуркационных диаграмм: как в первом, так и во втором случае при достаточно большой связи в областях хаоса существуют узкие зоны регулярной АМ (области 4 на рис. 1 и 2). Особый интерес представляет второй случай, когда первый ИЛ, находящийся в состоянии хаотической АМ, стимулирует возникновение регулярного режима во втором ИЛ, который также находился в состоянии хаоса.

Наличие зон регулярной АМ в областях хаоса можно понять, если учесть, что внешнее воздействие на динамическую систему может осуществлять эквивалентный сдвиг по энергоемкому параметру. В тех случаях, когда в системе существуют области притяжения обычных аттракторов, внешнее воздействие (регулярное и даже нерегулярное), которое не нарушает грубой структуры фазового пространства, может «вытолкнуть» систему в область значений энергоемкого параметра, при котором фазовая траектория попадает в область обычного, нехаотического аттрактора. Для исследуемой системы связанных ИЛ действие каждого из лазеров на соседний грубо можно интерпретировать как внешнее воздействие. Исследуемая нами система связанных ИЛ имеет фазовое пространство с размерностью не менее 6, поэтому в нем возможно одновременное существование как странного, так и простых аттракторов и фазовая траектория системы может попадать в область притяжения как странного, так и простого аттрактора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М., 1983.
2. Самсон А. Н., Туровец С. И. //Препринт № 438 Ин-та физики АН БССР. Минск, 1986.
3. Григорьева Е. Н., Кашенко С. А. //ДАН СССР. 1991. 316, № 2. С. 327.
4. Грибков Д. А., Кузнецов Ю. И. //Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 6. С. 16.
5. Логгинов А. С., Ржанов А. Г. //ДАН СССР. 1989. 309, № 6. С. 1351.
6. Wang S. S., Winful H. G. //Appl. Phys. Lett. 1988. 52, N 21. P. 1774.
7. Buus J. //IEEE. J. Quant. Electron. 1983. QE-19, N 6. P. 953.
8. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах. М., 1990.

Поступила в редакцию  
20.05.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 2

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.312.8:539.293

### ГИГАНТСКОЕ ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ШИРИНУ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ

И. К. Больных, А. В. Головин, Г. Н. Север

(кафедра общей физики)

Изучено влияние внешнего магнитного поля  $H$  (до 14 кЭ) на ширину запрещенной зоны  $E_g$  ферромагнитного полупроводника  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  ( $T_c \approx 108$  К). Величина  $E_g$  определялась с помощью исследований спектральных зависимостей фотопроводимости. Наблюдалось гигантское уменьшение ширины запрещенной зоны при увеличении магнитного поля, достигающее 15% в области магнитного фазового перехода.