

Препринт № I

Ю.И. Зайцев, Д.П. Степанов

О ЕСТЕСТВЕННЫХ ФЛУКТУАЦИЯХ ЧАСТОТЫ  
ДВУХМОДОВОГО ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА

ИИРФИ

Серия Электроника СВЧ  
и квантовая  
радиофизика

г. Горький,  
1969 г.

В работах [1,2] были приведены результаты измерений естественных частотных флуктуаций He - Ne лазера, генерирующего лишь один аксиальный тип колебаний при различных настройках его частоты по отношению к центру линии оптического перехода. В данном сообщении приводятся результаты измерений частотных флуктуаций отдельного типа колебания при одновременной генерации лазером двух аксиальных мод на оптическом переходе  $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ .

При двухмодовом режиме генерации, как известно, наблюдается взаимодействие типов колебаний, приводящее к ряду своеобразных динамических эффектов. Это же взаимодействие вызывает в общем случае и ряд особенностей в характере флуктуаций излучения отдельных типов колебаний лазера. Проведенные измерения флуктуаций интенсивности двухмодового лазера показали (в согласии с расчетами), что спектр флуктуаций интенсивности существенно изменяется: при прочих равных условиях уровень флуктуаций на низких частотах значительно увеличивается, а протяженность спектра резко уменьшается по сравнению со случаем генерации одного типа колебаний [3].

Отмеченные обстоятельства при двухмодовой генерации в силу неизохронности лазера могут проявиться и в естественных частотных флуктуациях. Расчет показывает, однако, что последние не должны претерпевать существенных изменений подобно флуктуациям интенсивности. Дело в том, что частотные флуктуации отдельной моды зависят от флуктуаций

интенсивности обеих мод одновременно; воздействие последних нейтрализуется в силу их значительной отрицательной корреляции в широком интервале частот наблюдения.

Остановимся на случае генерации лазером двух мод с приблизительно одинаковыми мощностями. В этом случае для каждого типа колебания спектральная плотность флуктуаций частоты  $\overline{\delta_{\Omega}^2}$  может быть представлена в виде

$$\overline{\delta_{\Omega}^2} = \overline{\delta_{\Omega}^2} + \rho_{nm}^r \rho_{nd}^r \overline{M_{\Omega}^2} + 0,25(\rho_{nm}^r - \rho_{nd}^r)^2 \overline{M_{\Omega}^2} \quad (I)$$

Здесь  $\overline{\delta_{\Omega}^2}$  - спектральная плотность частотных флуктуаций излучения лазера в центре перехода, если бы лазер генерировал лишь одно колебание, параметры  $\rho_{nm}^r$  и  $\rho_{nd}^r$  - коэффициенты неэкзотности данного типа колебания,  $\overline{M_{\Omega}^2}$  и  $\overline{M_{\Omega}^2}$  - спектральные плотности коэффициента глубины модуляции интенсивности полного излучения лазера и излучения одной из мод соответственно.

Анализ выражения (I) показывает, что форма и значения спектральной плотности  $\overline{\delta_{\Omega}^2}$ , определяемые лишь первыми двумя слагаемыми, практически совпадает (для He-Ne лазера обычно с точностью до двойки) с теми, которые имеют место при генерации того же лазера в одночастотном режиме. Из сказанного выше относительно спектра флуктуаций  $\overline{M_{\Omega}^2}$  каждой моды следует, что появляющееся при двухчастотном режиме генерации третье слагаемое в (I) обуславливает качественную специфику спектра  $\overline{\delta_{\Omega}^2}$ . Действительно, форма спектра частотных флуктуаций каждой моды (тем самым и форма ее спектральной линии), зависит от формы спектра флуктуаций интенсивности  $\overline{M_{\Omega}^2}$  отдельной моды. Однако, влияние этой зависимости, по-видимому, в случае He-Ne лазера мало, так как оно определяется разностью близких по величине коэффициентов  $\rho_{nm}^r - \rho_{nd}^r$ .

С целью проверки высказанных выше соображений нами были проведены эксперименты по измерению спектров флуктуаций частот аксимальных типов колебаний лазера при одночастотной и двухчастотной генерации.

Схема и методика измерений частотных флуктуаций в основных чертах совпадает с описанной в [1]. В опытах использовались два лазера на естественной смеси изотопов  $^{85}\text{Kr}$  с приблизительно одинаковыми механическими и электрическими параметрами (многократные расстояния были около 675 и  $\approx 15$  МГц). При этих условиях спектральные плотности флуктуаций частот обоих лазеров были приблизительно одинаковыми и независимыми; поэтому измерение на опыте значения спектральной плотности  $W_f$  флуктуаций частоты разностного колебания, обусловленного обоими лазерами, приблизительно вдове больше значений спектральной плотности флуктуаций частоты каждого типа колебаний в отдельном лазере. Параметры установки позволили обеспечить значительное отношение сигнал/шум вплоть до частоты наблюдения  $F = 300$  кГц, где чувствительность установки достигала значения  $W_f (2 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ кГц}^2 / \text{Гц}$ .

Отметим также, что схема наблюдения оптических спектров лазеров позволяла наблюдать их как совместно, так и отдельно.

Измерения проводились вначале при настройке частот обоих лазеров на центр линии перехода (точнее говоря, на провал Ламба в кривой зависимости мощности от частоты). Затем путем изменения лишь длины резонатора лазеры были переведены в двухмодовый режим генерации с приблизительно одинаковой мощностью в каждой моде. При этом в обоих режимах полные мощности излучения отличались не более, чем на 15%.

Результаты одного из циклов измерений представлены на рис. 1. Кривыми 1 и 2 представлены спектральные плотности флуктуаций частот разностного колебания соответственно для одночастот-

ного и двухчастотного режимов генерации. (Вертикальные отрезки указывают границы наблюдавшегося от цикла к циклу измерений разброса экспериментальных точек). Интервал частот наблюдения  $F$  был выбран от 40 до 300 кгц. В указанном интервале значения  $W_1(F)$  на кривой 1 в диапазоне от 80 до 300 кгц практически постоянны, что является характерным для естественных флуктуаций; значения же  $W_1(F)$  на частотах до 80 кгц обусловлены техническими причинами.

В двухчастотном режиме генерации, когда мощность каждой моды приблизительно удваивалась и частота генерации уже не совпадала с центром ласки периода, спектр  $W_1(F)$  изменился. Как видно из кривой 2 на участке спектра от 80 до 300 кгц произошло в основном лишь увеличение  $W_1(F)$  несколько более чем в два раза. Такое изменение спектральной плотности вполне согласуется с указанным увеличением мощности генерации в моде и расстройкой частоты. Кроме того, на кривой 2 в отличие от 1 наблюдается небольшое непостоянство значений величины  $W_1(F)$  в интервале  $F$  от 80 до 200-240 кгц, что, как показали опыты, не связано с техническими флуктуациями.

По нашему мнению, этот эффект непостоянства  $W_1(F)$  можно отнести за счет воздействия амплитудных флуктуаций на частоту в силу нелинейности лазера. (речь идет о влиянии третьего слагаемого в соотношении (I)). Однако различие значений  $W_1(F)$  на частотах 100 и 300 кгц относительно мало, что свидетельствует о близости значений коэффициентов  $\beta_{nn}^r$  и  $\beta_{nn}^i$ .

Наблюдаемое различие в ходе кривых 1 и 2 в интервале частот от 80 до 240 кгц, по-видимому, могло бы проявиться наиболее полно на частотах наблюдения до 80 и 100 кгц; но, к сожалению, эта область замаскирована техническими флуктуациями. Это не позволяет в наших опы-

I) Мы не исключаем, что указанный эффект в какой-то мере связан с происходящим флуктуацией интенсивности мод на выход частотного дискриминатора (хотя при контрольных опытах этого обнаружено не было).

тах при двухмодовом режиме генерации провести строгого сопоставления форм спектра естественных частотных и амплитудных флуктуаций в районе низких частот наблюдения.

Таким образом, проведенные измерения показывают, что при двухчастотной генерации характер спектра флуктуаций частоты отдельного типа колебаний не претерпевает существенного изменения по сравнению со случаем генерации лишь одного типа колебания лазера. Аналогичная ситуация в He-Ne лазере имеет место и при неравных мощностях типов колебаний.

Очевидно также, что имеет место корреляция частотных флуктуаций различных мод в силу корреляции флуктуаций их интенсивностей, но соответствующих экспериментов нами не проводилось.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт  
при ИГУ

И Н Т Е Р А Т У Р А

1. Д.Н.Савва, Д.Н.Степанов. ЖЭТФ, информ., 6, 733 (1967).  
ЖЭТФ, 55, 1645, (1968); ЖЭТФ, 56, 718  
(1969).
2. A.E.Siegman, R.Arrothoon. Phys.Rev.Lett., 20, 901 (1968).
3. R.Arrothoon, A.E.Siegman. J.Appl.Phys., 40, 910 (1969).
4. Д.Н.Савва. Изв.ВУЗов - Радиофизика (направлено в печать).

## ПОДПИСЬ К РИС. I

Рис. I Экспериментальные зависимости спектральной плотности флуктуаций частоты биений (8,4 МГц) от частоты наблюдения; 1 - оба лазера в одномодовом режиме; 2 - оба лазера в двухмодовом режиме генерации.



