

ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТЫ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

Ю.И.Зайцев, Д.П.Степанов

В работе [1] получены выражения для спектральных плотностей естественных флуктуаций интенсивности и частоты излучения непрерывно работающего одномодового лазера. Экспериментальная проверка флук-

туаций интенсивности была проведена ранее [2]. Здесь сообщаются результаты экспериментального исследования флуктуаций частоты гелий-неонового лазера на волне 0,63 мк и определения естественной ширины его спектральной линии излучения.

Согласно теории [1], спектральная плотность флуктуаций частоты ν лазера, при настройке резонатора на середину линии перехода активной среды, равна приблизительно

$$w_\nu = \frac{(\Delta\nu)^2 h\nu}{P} a \tilde{\beta} \frac{\kappa^{\circ 2}_2}{\kappa^{\circ 2}} (\nu^2/\nu), \quad (1)$$

где $\Delta\nu$ — полоса резонатора, P — мощность, генерируемая активной средой. Из проведенных ранее опытов [2] следует, что для нашего случая можно принять $a \tilde{\beta} \kappa^{\circ 2}_2 / \kappa^{\circ 2} \approx 2$.

Если положить для примера в (1) $P = 1 \text{ мвт}$, $\Delta\nu = 6 \text{ Мгц}$, то получим $w_\nu \approx 0,02 \nu^2/\nu$. Естественная ширина линии излучения в π раз

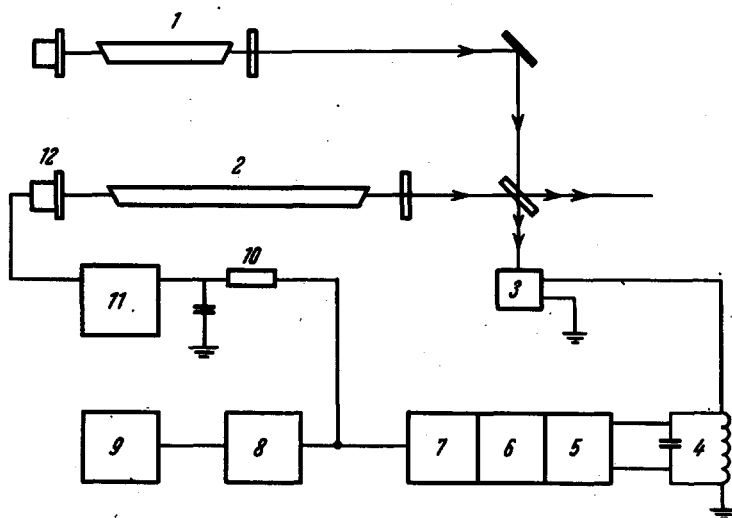


Рис.1.

больше, т.е. в данном примере $\approx 0,06 \nu$. Хорошо известно, что реальная (техническая) нестабильность частоты лазера на много порядков превышает это значение. Причиной расхождения являются разнообразные технические факторы, приводящие к непостоянству параметров лазера, что и вызывает значительное размывание частоты излучения. Возможность выделения естественных флуктуаций основана на том, что значение w_ν согласно теории от частоты наблюдения F не зависит, а спектр флуктуаций частоты, вызванных техническими причинами, быстро спадает с ростом значений F . Такая же проблема имела место и при исследовании флуктуаций частоты радиогенераторов, и она также была решена путем изучения спектра флуктуаций частоты (см. [3-5]). Однако примененные там методы для нашего случая не пригодны: оценки показали, что по ряду причин соотношение сигнал/шум не будет достаточным для надежного определения значений w_ν излучения лазера.

По предложению И.Л.Берштейна была применена установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Излучение исследуемого лазера 1 интерферирует с излучением вспомогательного лазера 2 (гетеродина) и поступает на фотодиод 3, нагрузкой которого является LC-контур 4, настроенный на частоту 8,4 МГц; далее следует усилитель 5, амплитудный ограничитель 6 и частотный дискриминатор 7. Выходное напряжение последнего, определяемое, таким образом, лишь флуктуациями разностной частоты 8,4 МГц, после усилителя 8 поступает на спектр-анализатор 9. Кроме того, это напряжение через RC-цепь 10 с постоянной времени $\sim 0,3$ сек подается на усилитель 11 и затем на пьезоэлектрический элемент 12, управляющий частотой гетеродина. Такая система автоматически

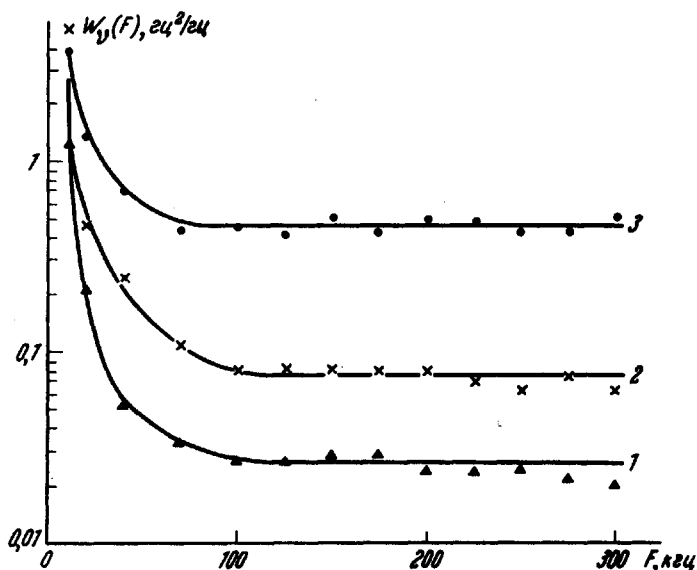


Рис.2.

поддерживает среднее значение разностной частоты (8,4 МГц) постоянным, не оказывая влияния на флуктуации частоты в исследуемом диапазоне ($F = 10 \div 300$ кГц)*.

Параметры гетеродина взяты такими (большая мощность, меньшая полоса его резонатора), чтобы флуктуации его частоты были существенно меньше флуктуаций частоты исследуемого лазера; при этом можно приближенно считать, что флуктуации разностной частоты 8,4 МГц обязаны флуктуациям лишь частоты исследуемого лазера.

Покажем, что примененный метод обнаружения естественных флуктуаций частоты лазера имеет достаточную чувствительность. Полезным эффектом является искомая величина w_u . Вредный эффект вызывается шумовым напряжением на входе радиосхемы, спектральная плотность которого равна приближенно

$$w_u \approx 4zkT + 2ez^2(I_\Gamma + I_\Delta), \quad (2)$$

где z — импеданс контура на 8,4 МГц, k — постоянная Больцмана, $T \approx 290^\circ$, e — заряд электрона, I_Γ и I_Δ — постоянные составляющие.

фототока от гетеродина и лазера. Напряжение разностной частоты на входе схемы равно $U \approx \sqrt{I_{\Gamma} I_{\Delta}} z$. Наличие, наряду с U шумового напряжения (2) дает хаотическую частотную девиацию, спектральная плотность которой на частоте наблюдения F равна

$$w_b(F) = \frac{F^2}{U^2} w_u$$

Для соотношения полезного и вредного эффектов получаем

$$\frac{S}{N} = \frac{w_{\nu}}{w_b(F)} = \frac{w_{\nu} I_{\Gamma} I_{\Delta}}{F^2 \left[\frac{4kT}{z} + 2e(I_{\Gamma} + I_{\Delta}) \right]} \quad (3)$$

Подставив сюда $w_{\nu} = 0,02 \text{ мк}^2/\text{Гц}$, $z = 2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $I_{\Gamma} = 30 \text{ мкА}$, $I_{\Delta} = 15 \text{ мкА}$, получим для значений $F = 10, 50$ и 300 кГц , $S/N \approx 4000$; 160 и 4,5 соответственно.

Для определения экспериментальных значений спектральной плотности частоты $w_{\nu}(F)$ применялся метод калибровки аппаратуры, позволивший надежно и просто обрабатывать данные наблюдений.

Исследовался одночастотный лазер с питанием разряда постоянным током и длиной резонатора $\sim 23 \text{ см}$; частота генерации устанавливалась в центре оптического перехода. Многочисленные измерения величины $w_{\nu}(F)$ показали, что уверенно выделяется техническая компонента спектра, обусловленная в первую очередь механическими и акустическими помехами; этот участок спектра находился в районе частот F до $40 \div 60 \text{ кГц}$.* Спектральная плотность $w_{\nu}(F)$, начиная с $60 \div 100 \text{ кГц}$, практически не зависела от F и была постоянной (в пределах точности измерений) при разных уровнях помех. Этот участок спектра можно отнести к флуктуациям, вызванным естественными причинами. Были проведены опыты при максимально возможном в обычных лабораторных условиях снижении технических помех в вечернее время.

Типичные результаты проведенных измерений $w_{\nu}(F)$ для трех значений мощности P представлены на рис. 2, кривые 1, 2, 3 соответствуют мощностям $P = 1060, 296, 82 \text{ мкВт}$.*** Заметим, что выходная мощность лазера составляла $\sim 20\%$ от P .

Сопоставим значения w_{ν} , полученные из расчета по формуле (1), с экспериментальными значениями этой величины (значения усреднялись в диапазоне F от 100 до 300 кГц).

Т а б л и ц а

$P, \text{ мкВт}$	82	148	296	555	1060
эксперимент $w_{\nu}, \text{ мк}^2/\text{Гц}$	0,456	0,186	0,076	0,057	0,026
теория $w_{\nu}, \text{ мк}^2/\text{Гц}$	0,379	0,206	0,098	0,048	0,021

Расхождение опытных данных с теоретическими не превышает погрешностей измерений.

Резюмируя проделанную работу, можно сказать, что разработана методика и проведены измерения естественных флуктуаций частоты (и естественной ширины линии) газового лазера. Как показывает сравнение, опытные данные вполне удовлетворительно согласуются с результатами теоретического рассмотрения.

Авторы выражают благодарность И.Л.Берштейну, под руководством которого выполнялась эта работа.

Научно-исследовательский
радиофизический институт
при Горьковском государственном
университете

Поступило в редакцию
12 июля 1967 г.

Литература

- [1] И.Л.Берштейн, И.А.Андропова, Ю.И.Зайцев, Изв. высш.уч.зав., Радиофизика, 10, 59, 1967.
- [2] И.А.Андропова, Ю.И.Зайцев. Экспериментальное исследование флуктуаций интенсивности $He - Ne$ лазеров на волнах 0,63 и 3,39 мк. Изв. высш.уч.зав., Радиофизика (в печати).
- [3] И.Л.Берштейн. Изв. АН СССР, сер. физическая, 14, 145, 1950.
- [4] В.С.Троицкий. Радиотехника и электроника, 1, 818, 1956.
- [5] А.Н.Малахов, В.Н.Никонов, Т.Д.Разина. Изв. высш. уч. зав., 4, 1052, 1961.

* Авторы признательны Л.А.Хуртину за помощь при постройке радиоаппаратуры.

** Были обнаружены частотные флуктуации, вызванные шумами газового разряда в полосе частот до 100-150 кГц. Подбор режима разряда позволил устранить этот эффект.

*** Заметим, что в некоторых опытах наблюдались узкие всплески величины $w_p(F)$, соответствующие механическим резонансам лазерной системы; соответствующие меры позволили их устранить.