ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА

УДК 621.373: 535

ИССЛЕДОВАНИЕ He–Ne/I_2^{127}-ЛАЗЕРОВ С УЗКОЙ ЛИНИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ

© **2007 г.** **П. С. Крылов**; **В. Е. Привалов**, доктор физ.-мат. наук

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург

E-mail: VEP-57@yandex.ru

Сообщается об исследовании He–Ne/J_2^{127}-лазеров с узкой спектральной линией, в выходном излучении которых отсутствует девиация частоты. В результате монохроматичность излучения улучшается, ширина линии излучения составляет 30 кГц. Исследуется нестабильность частоты излучения лазера. Приводятся вариации Аллана для различных стабилизированных лазеров.

Коды OCIS: 140.0140.

Поступила в редакцию 07.11.2006.

Введение

Основными метрологическими параметрами стабилизированных по частоте лазеров являются относительная стабильность и воспроизводимость частоты излучения. Традиционные He–Ne/I_2^{127}-лазеры [1–4] имеют рекордные для видимого диапазона метрологические параметры, но их выходное излучение является частотно-модулированным, поэтому ширина линии излучения достигает 4–6 МГц. Для спектроскопии иногда нужны более узкие линии. Промышленность выпускает He–Ne-лазеры, стабилизированные без девиации частоты. Ширина их линии излучения составляет десятки килогерц [5], но стабильность и воспроизводимость частоты промышленных лазеров на порядки хуже, чем у He–Ne/I_2^{127}-лазеров. Нужны приборы, совмещающие высокую воспроизводимость частоты с узкой линией излучения.

Идея такого устройства была предложена нами достаточно давно [6–7], но это были громоздкие лабораторные установки. Для создания прибора с узкой линией излучения были проведены дополнительные физические исследования, и их результаты кратко изложены в данной статье.

Общий вид излучателя и блока электроники приведен на рис. 1.

Принцип работы лазера понятен из функциональной схемы (рис. 2). В основу работы лазера положен метод автоматической привязки оптической частоты излучения мощного He–Ne-лазера *2* с внутренними зеркалами к центру оптической частоты излучения стабилизированного He–Ne/I_2^{127}-лазера *1*. Часть излучения от He–Ne/I_2^{127}-лазера *1* и излучение мощного лазера *2* после глухого зеркала совмещаются светоделителями *3* и *4*. Фотоприемное устройство *5* преобразует разность оптических частот в электрический сигнал. Схема привязки *6* воздействует на частоту генерации мощного лазера таким образом, чтобы отклонение его частоты

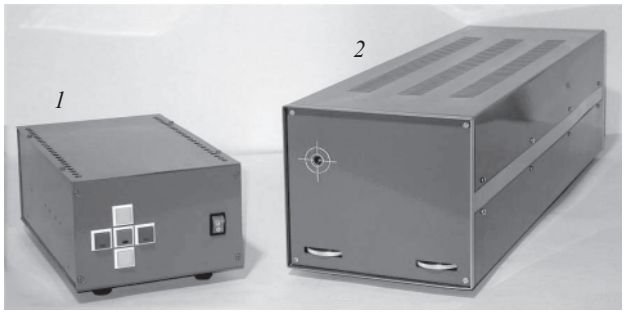


Рис. 1. Общий вид лазера “Стандарт-2005”. *1* – блок электроники, *2* – излучатель.

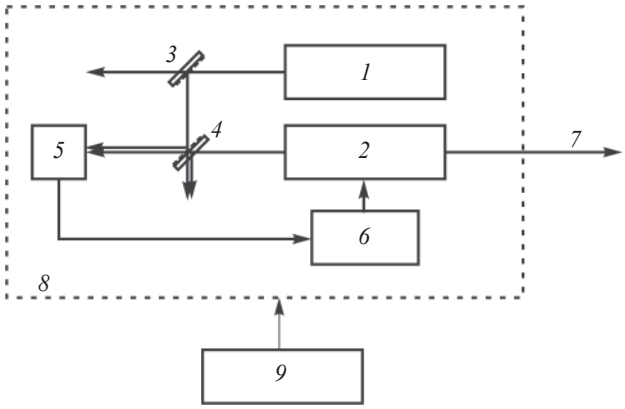


Рис. 2. Функциональная схема лазера “Стандарт-2005”. *1* – стабилизированный He–Ne/I_2^{127}-лазер, *2* – He–Ne-лазер (1,5–8 мВт), *3* и *4* – светоделители, *5* – фотоприемное устройство, *6* – схема привязки, *7* – выходное излучение, *8* – излучатель, *9* – блок питания и управления.

генерации от средней частоты He–Ne/I_2^{127}-лазера стремилось к нулю. В качестве опорного He–Ne/I_2^{127}-лазера использовалась одна из последних моделей лазера “Стандарт-2000”. С нее мы и начнем рассмотрение.

Опорный лазер

Лазер “Стандарт-2000” представляет собой одну из наших моделей He–Ne/I_2^{127}-лазера, стабилизированных традиционным способом: девиация частоты составляла 4 МГц. Для определения нестабильности частоты излучения опорного лазера методом оптического гетеродинирования сравнивались частоты двух однотипных приборов. Лазеры стабилизировались по пикам *e* и *d* линии *R*(127) электронного перехода *B*–*X* молекулярного йода-127. При включении лазеров дрейф частоты биений составлял до 10 Мгц/с. После 4 ч прогрева дрейф снижался до 200 кГц/с. Было снято 696 точек при времени усреднения 10 с, т. е. время непрерывного измерения составляло около 2 ч. Результат за вычетом дрейфа представлен на рис. 3. По оси ординат в обозначениях частоты биений оставлены только значащие разряды. Как видно из рисунка, основная масса точек лежит в диапазоне ± 10 кГц.

На рис. 4 показаны исходные данные, усредненные по методу скользящего среднего. Эта зависимость характеризует дрейф разностной частоты лазеров за время наблюдения. Его максимальное значение не превысило 7 кГц.

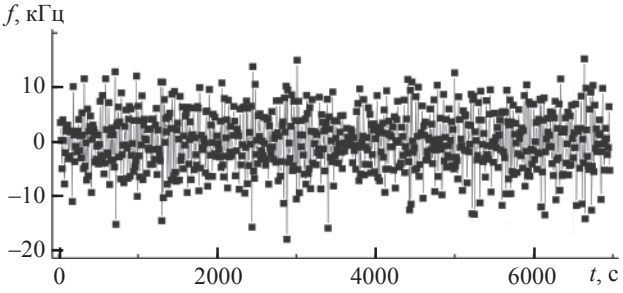


Рис. 3. Зависимость частоты биений лазеров “Стандарт-2000” от времени при τ = 10 с за вычетом дрейфа.

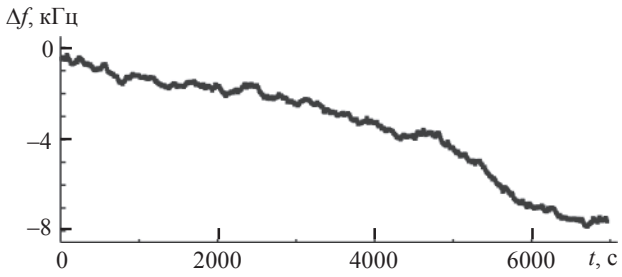


Рис. 4. Зависимость частоты биений лазеров “Стандарт-2000” от времени при усреднении методом скользящего среднего по 100 точкам.

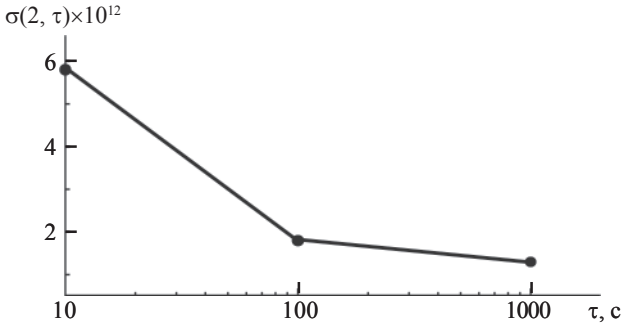


Рис. 5. Зависимость вариации Аллана лазеров “Стандарт-2000” от времени усреднения.

На рис. 5 приведена зависимость вариации Аллана от времени усреднения. Приведенные зависимости (рис. 4, 5) позволяют утверждать, что опорный лазер уверенно обеспечивает нестабильность частоты излучения в двенадцатом знаке, приближаясь к 1×10^{-12}.

Исследования прибора в целом

Длина резонатора, а следовательно, и частота генерации мощного лазера зависят от температуры стенок излучателя. Для управления частотой генерации лазера используется нагреватель стенок излучателя, как в промышленных лазерах ЛГН-302 и ЛГН-303. Температура стенок излучателя в установившемся режиме равна 55 ± 5 °C при температуре окружающей среды 20 °C и определяется тепловыми процессами в газовом разряде. Для обеспечения необходимого запаса регулирования по частоте вводится дополнительный перегрев в 10–15 °C с помощью фиксированного напряжения, подаваемого на усилитель мощности, управляющий нагревателем стенок излучателя. В замкнутой системе регулирования температура стенок излучателя изменяется таким образом, чтобы сигнал ошибки на выходе схемы привязки *6* и, следовательно, отклонение частоты мощного He–Ne-лазера от частоты He–Ne/I_2^{127}-лазера стали равными 0.

Исследование стабильности и воспроизводимости лазеров “Стандарт-2005” проводилось на установке оптического гетеродинирования, на которой находились лазеры “Стандарт-2005”, “Стандарт-2000” и ЛГН-303. На рис. 6 приведены для сравнения вариации Аллана для этих лазеров.

Заключение

Таким образом, разработан новый лазер “Стандарт-2005” с узкой линией излучения (по результа-

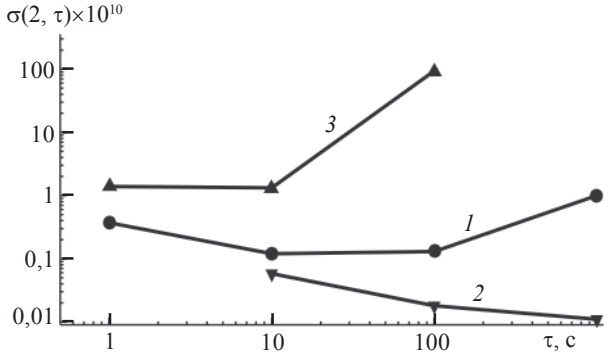


Рис. 6. Вариации Аллана для лазеров “Стандарт-2005” (*1*), “Стандарт-2000” (*2*) и ЛГН-303 (*3*).

там измерений менее 30 кГц) без девиации частоты. Изготовлена установочная партия. Исследования показали, что по стабильности и воспроизводимости частоты новый лазер уступает классическому He–Ne/I_2^{127}-лазеру “Стандарт-2000”, но существенно превосходит промышленный лазер ЛГН-303, особенно для больших времен усреднения. Основными причинами недостаточной стабильности частоты излучения лазера “Стандарт-2005” являются большая инерционность процесса терморегулирования длины резонатора мощного лазера, высокая крутизна преобразования температура–удлинение резонатора (порядка 1000 МГц/°С) , а также наличие мощного (порядка 10 Вт) и нестабильного источника тепла – тлеющего разряда, приводящего к нагреву стенок резонатора до 40–50 °С в стационарном режиме при температуре окружающей среды 20 °С. Перестройку частоты мощного лазера эффективнее проводить с помощью пьезокорректора. Для этого будут продолжены работы по совершенствованию активного элемента и конструкции всего резонатора лазера. Есть основания считать, что по параметрам стабильности и воспроизводимости частоты лазер “Стандарт-2005” в ближайшее время будет приближаться к опорному He–Ne/I_2^{127}-лазеру.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крылов П.С., Перебякин В.А., Привалов В.Е.* He–Ne-лазеры, стабилизированные по поглощению в йоде // Обзоры по электронной технике. Сер. 11. 1985. В. 5(1122). 44 с.
2. *Привалов В.Е.* Газоразрядные лазеры в измерительных комплексах. Л., 1989. 260 с.
3. *Иванов В.А., Привалов В.Е.* Применение лазеров в приборах точной механики. СПб., 1993. 216 с.
4. *Крылов П.С., Привалов В.Е.* He–Ne/I_2^{127}-лазер на виброзащитном основании // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 5. С. 7–14.
5. *Власов А.Н., Перебякин В.А., Привалов В.Е.* Стабилизированные He–Ne-лазеры с внутренними зеркалами // Обзоры по электронной технике. Сер. 11. 1986. В. 7(1206). 50 с.
6. *Пак П.Е., Привалов В.Е., Фофанов Я.А.* He–Ne-лазер, стабилизированный без девиации частоты // Опт. и спектр. 1981. Т. 51. В. 1. С. 10–12.
7. *Крылов П.С., Миронов А.В., Привалов В.Е.* He–Ne-лазер “Стандарт 5М” // ПТЭ. 1989. В. 4. С. 197–201.