

СИСТЕМА СОГЛАСОВАНИЯ СПЕКТРА ИНЖЕКТИРУЕМОГО ОДНОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С СОБСТВЕННЫМИ ЧАСТОТАМИ РЕЗОНАТОРА ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА

© 2013 г. Е. А. Лоншаков* **; Н. Л. Квашнин*; Д. С. Бордзиловский*; С. Г. Струц*;
В. М. Тарасов*; А. П. Майоров*; А. К. Дмитриев**, доктор физ.-мат. наук

* Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск

** Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

E-mail: lonshakov.evgenii@mail.ru

Разработан и исследован способ автоподстройки собственных частот резонатора импульсного лазера к частоте излучения непрерывного одночастотного задающего генератора. Изложен принцип работы данной системы, а также приведены результаты исследования ее влияния на характеристики излучения импульсного лазера. С помощью описанной системы удалось стабилизировать процесс одночастотной генерации импульсного лазера с инъекцией внешнего сигнала, уменьшить джиттер световых импульсов в два раза, а флуктуации их амплитуд более чем в три раза.

Ключевые слова: подстройка резонатора, одночастотный лазер, лазер с внешним сигналом, согласование резонаторов.

Коды OCIS: 140.3570, 140.4780

Поступила в редакцию 06.12.2012

Введение

Для ряда прикладных задач требуются источники мощного лазерного излучения с узким спектром. В лазерной технике для получения мощного импульсного излучения с малой спектральной шириной наиболее часто применяется способ инъекции излучения слабого непрерывного одночастотного генератора (задающего) в резонатор мощного (исполнительного) импульсного лазера [1–4]. В этом случае развитие генерации в резонаторе импульсного лазера происходит на частоте внешнего сигнала, и спектр генерируемого импульса достаточно точно воспроизводит спектр излучения инъекционного лазера. Одним из необходимых условий захвата спектра инжeksiруемого излучения импульсным лазером является согласование частоты генератора с одной из собственных частот резонатора импульсного лазера. Если такое согласование не обеспечено, то добротность резонатора по отношению к инжeksiруемому излучению будет слишком низкой и требуемые характеристики излучения не будут получены.

Авторами статьи разработана автоматическая система согласования частот резонаторов задающего и исполнительного лазеров за счет подстройки длины резонатора одного из них для стабилизации работы лазера с инъекцией внешнего сигнала. Используется информация об интерференционном биении излучения задающего генератора в резонаторе исполнительного лазера для формирования сигнала ошибки.

В работе [5] описан способ активной подстройки частот излучения, в котором их согласование осуществляется путем достижения минимума времени развития моноимпульса. Обсуждение достоинств и недостатков обоих способов приведено ниже.

Описание экспериментальной установки

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки генерации одночастотного импульсного излучения с длиной волны 1064 нм. Задающий генератор разработан в Институте лазерной физики СО РАН (Новосибирск) [6]

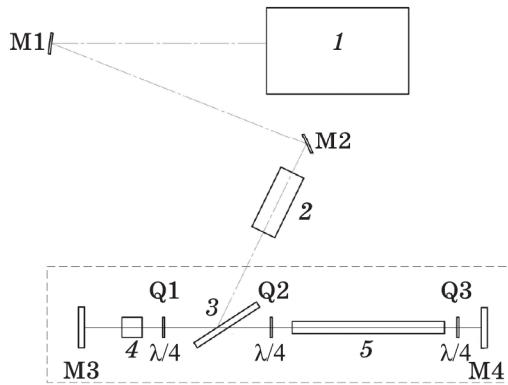


Рис. 1. Оптическая схема импульсного лазера с инъекцией внешнего сигнала. 1 – задающий генератор, M1, M2 – поворотные зеркала, 2 – оптический диод (изолятор Фарадея), 3 – поляризатор, 4 – электрооптический модулятор, M3 – глухое зеркало, 5 – активный элемент YAG:Nd, M4 – выходное зеркало, Q1, Q2, Q3 – фазовые пластины.

и имеет следующие характеристики: активный элемент YAG:Nd, длина волны генерации 1064 нм, диапазон перестройки 0,55 нм, модовый состав TEM_{00q}, ширина линии порядка 10 кГц, мощность излучения ≥ 200 мВт.

Непрерывное излучение задающего генератора проходит через изолятор Фарадея и с помощью системы зеркал подается на поляризатор. При отсутствии напряжения на модуляторе инжектируемое излучение проходит через четвертьволновую пластину Q1, модулятор, отражается от плотного зеркала, проходит модулятор, фазовую пластину Q1, поляризатор, активный элемент, частично отражается от выходного зеркала, вновь проходит активный элемент, поляризатор, четвертьволновую пластину Q1, модулятор, отражается от глухого зеркала, и, после прохождения фазовой пластины Q1, выводится поляризатором из резонатора. Фазовые пластины Q2 и Q3 необходимы для поддержания режима твистующей моды и к работе системы автоподстройки отношения не имеют. Формирование спектра мощного импульсного излучения на частоте инжектируемой затравки происходит во время переходного процесса на модуляторе.

Принцип работы системы

На рис. 2 приведена упрощенная схема, поясняющая принцип работы системы согласования частот.

Излучение задающего генератора присутствует в резонаторе в промежутке времени

между лазерными импульсами. Луч, проходя через фазовую пластину, приобретает круговую (правовинтовую) поляризацию, и, отражаясь от глухого зеркала, совершает обход по резонатору. В конце цикла обхода, при повторном прохождении через четвертьволновую пластину, этот луч приобретает левовинтовую поляризацию. За счет остаточного пропускания, составляющего десятые доли процента, части инжектируемого излучения с правовинтовой и левовинтовой поляризациями через глухое зеркало попадают на расположенный за ним поляризатор, выделяющий у каждого луча компоненту с линейной поляризацией. Эти оба луча, прошедшие сквозь поляризатор, интерферируют на фотодетекторе. Его фототок является функцией разности фаз интерферирующих лучей и образует сигнал рассогласования. Поляризатор также предотвращает попадание на фотодетектор паразитного сигнала от мощного импульсного излучения. Интерференционный максимум на фотоприемнике и, как следствие, максимальное значение фототока являются признаками совпадения частоты инжектируемого излучения с собственными частотами резонатора.

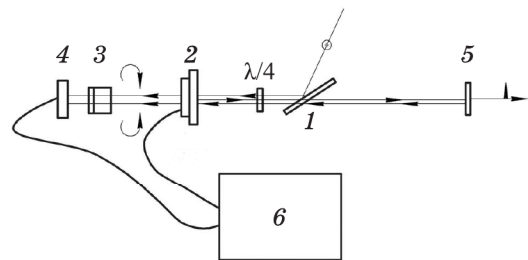


Рис. 2. Принцип действия системы согласования частот. 1 – поляризатор, 2 – зеркало, наклеенное на пьезокерамку, 3 – призма Гланна, 4 – фотодетектор, 5 – выходное зеркало, 6 – система согласования.

Возможны два способа согласования частоты внешнего сигнала с собственными частотами резонатора исполнительного лазера. Первый – подстройка длины резонатора исполнительного лазера, например, путем перемещения одного из зеркал вдоль оси резонатора с помощью пьезокерамики (данный принцип проиллюстрирован на рис. 2). Второй способ – подстройка частоты инжектируемого излучения таким образом, чтобы скомпенсировать флуктуации оптической длины резонатора исполнительного лазера.

В работе был выбран способ подстройки частоты инжектируемого излучения.

Перестройка частоты излучения задающего лазера осуществлялась путем изменения длины его резонатора. Регулирующими элементами служат два пьезокерамических привода, на которых закреплены зеркала резонатора. На один привод подается переменное (частотой 20325 Гц) низковольтное (амплитудой не более 10 В) напряжение, вызывающее небольшие колебания частоты генерации задающего лазера и, как следствие, появление переменной составляющей в сигнале фотодиода. Сигнал с фотодиода поступает на один из входов синхронного детектора, на другой подается синусоидальное напряжение с опорной частотой 20325 Гц. На выходе синхронного детектора формируется сигнал ошибки, по которому можно судить о наличии или отсутствии расстройки между частотами излучения задающего лазера и ближайшей продольной моды резонатора исполнительного лазера. При наличии расстройки на второй пьезокерамический привод подается напряжение, компенсирующее отклонение от резонанса частоты излучения задающего лазера с одной из собственных частот резонатора.

При достижении согласования частот осуществлялся устойчивый одночастотный режим работы импульсного лазера. В случае расстройки согласования частот резонатора с инжектируемым излучением в генерируемом излучении присутствовали поперечные моды высших порядков. По всей видимости это связано с тем, что инжектируемое излучение полностью подавляет развитие генерации из спонтанных шумов, но при случайном совпадении частоты затравочного излучения с частотой некоторых поперечных мод, которое возникает из-за флуктуаций длины резонатора, генерация импульса происходит на модах высшего порядка.

На рис. 3 приведены фотографии поперечного распределения энергии излучения в дальней зоне и интерферограмма, полученная с помощью интерферометра Фабри–Перо с базой 30 мм. При фоторегистрации частота исследуемого излучения предварительно удваивалась с помощью кристалла титанил-фосфата калия KTiOPO_4 .

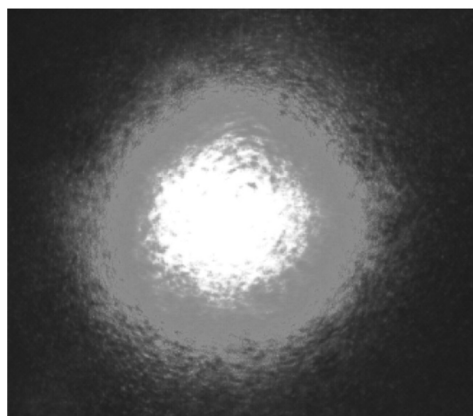
На рис. 4 представлены осциллограммы импульсов генерации без согласования и с согласованием частот. Продолжительность измерений достигала 1 мин при частоте следования лазерных импульсов 200 Гц. При отсутствии стабилизации наблюдалась сдвоенность некоторых импульсов. Это связано с выходом в генерацию нескольких поперечных мод.

Выводы

Описанная система с хорошей точностью обрабатывает низкочастотные возмущения резонатора исполнительного лазера, вызываемые температурными дрейфом и низкочастотными механическими шумами. В предложенном способе автоподстройки и динамической перестройке частоты излучения задающего генератора исполнительный лазер будет автоматически подстраиваться под инжектируемое излучение без ухудшения временных и амплитудных характеристик светового импульса.

Способ, предложенный в работе [5], проще в реализации, но, в отличие от изложенной выше, ее быстрдействие зависит от частоты повторения импульсов генерации. Преимущество предложенного в настоящей статье метода состоит в том, что подстройка осуществляется

(а)



(б)



Рис. 3. Фотография (а) поперечного распределения энергии излучения в дальней зоне и интерферограмма (б) излучения исполнительного лазера.

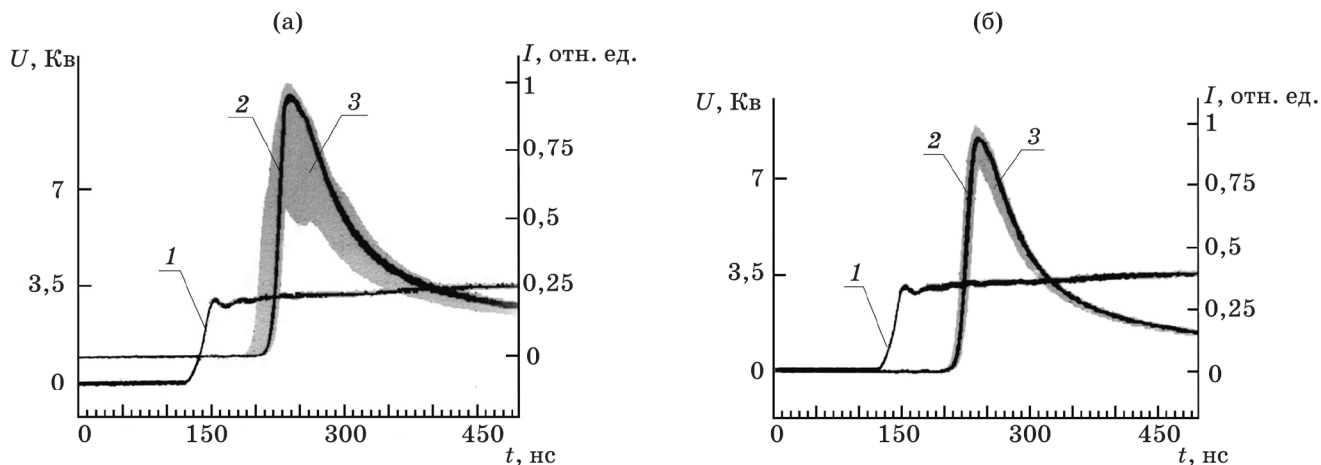


Рис. 4. Осциллограммы импульсов генерации без согласования частот (а) и с согласованием частот (б). 1 – высоковольтный импульс электрооптического затвора, 2 – световой импульс, регистрируемый фотоприемником, область 3 – статистический разброс амплитуд световых импульсов, набираемый за все время измерения.

между импульсами генерации, что приводит к увеличению стабильности времени развития генерации светового импульса и уменьшению его джиттера.

С помощью системы стабилизации удалось добиться следующих характеристик импульс-

ного излучения: модовый состав TEM_{00q} , частота повторения импульсов 200 Гц, энергия в импульсе 15 мДж, спектральная ширина линии около 0,5 нм, джиттер порядка 10 нс (без стабилизации > 20 нс), нестабильность амплитуды 15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Park Y.K., Giuliani G., Bayer R.L. Stable single-axial-mode operation of an unstable-resonator Nd:YAG oscillator by injection locking // Opt. Lett. 1980. V. 5. № 3. P. 96–98.
2. Zhishen Liu, Songhua Wu, Bingyi Liu. Seed injection and frequency-locked Nd:YAG laser for direct detection wind lidar // Optics & Laser Technology. 2007. V. 39. P. 541–545.
3. Kawahara T.D., Kitahara T., Kobayashi F., Saito Y., Nomura A. Sodium temperature lidar based on injection seeded Nd:YAG pulse lasers using a sum-frequency generation technique // Opt. Exp. 2011. V. 19. № 4. P. 3553–3561.
4. Анциферов В.В., Ерохин Н.С., Фадеев А.П. Мощные одночастотные перестраиваемые лазеры на рубине и на неодиме с электрооптической модуляцией добротности / Ротапринт ИКИ АН СССР № 987. М., 1984. 50 с.
5. Скворцов М.Н., Охалкин М.В., Невский А.Ю., Багаев С.Н. Оптический стандарт частоты на основе Nd:YAG-лазера, стабилизированного по резонансам насыщенного поглощения в молекулярном йоде с использованием второй гармоники излучения // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 12. С. 1101–1106.
6. Koechnerl W. Solid-State laser engineering // 5.2.3 Axial Mode Control Injection-Seeded Oscillator / Ed. by Schawlow A.L., Siegman A.E., Tamir T. London: Springer Limited, 1999. P. 257–259.