

В.А. Капитанов, Г.Э. Куликов, В.И. Тырышкин

ОДНОЧАСТОТНЫЙ ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЯХ С ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Разработан непрерывный одночастотный лазер на красителях с системой автоматической настройки на заданную частоту (погрешность 500 МГц) и автоматической перестройки частоты излучения. Одночастотный режим генерации достигается за счет использования системы автоматической подстройки частоты. Измерение частоты осуществляется прибором «Спектрон-ИВ». Для управления частотой излучения лазера применяются ЭВМ и аппаратура КАМАК. Разработанный лазер предназначен для использования в составе лазерных оптико-акустического спектрометра и спектрофотометра.

Методы лазерной спектроскопии, оптико-акустический, спектрофотометрический с использованием многоходовых кювет, регистрации производной как методы исследования спектральных характеристик атмосферных и загрязняющих атмосферу газов и паров позволяют одновременно реализовать высокое спектральное разрешение и высокую чувствительность в широкой спектральной области от видимого до ИК-диапазонов длин волн [1–3]. Это достигается за счет использования перестраиваемых по частоте узкополосных лазеров, таких как лазеры на красителях, лазеры на сапфире с Ti, CO, CO₂-лазеры и т.п. [4–9].

Большинство существующих на сегодняшний день перестраиваемых лазеров наряду с достоинствами: узкой шириной спектра генерации и широким (несколько десятков нанометров) спектральным диапазоном работы, имеют принципиальные недостатки – узкий диапазон непрерывной линейной перестройки частоты излучения (несколько десятков гигагерц) и в связи с этим необходимость настройки частоты генерации на начальное значение и измерение его абсолютной величины, а также сложность реализации синхронного управления несколькими селекторами.

В настоящей статье рассмотрены вопросы разработки и создания непрерывно действующего лазера на красителях с системой автоматической настройки его на заданную частоту и автоматической перестройки частоты излучения (с помощью ЭВМ) для последующего использования лазера в составе лазерных оптико-акустического спектрометра и спектрофотометра.

Блок-схема разрабатываемого лазера приведена на рисунке.

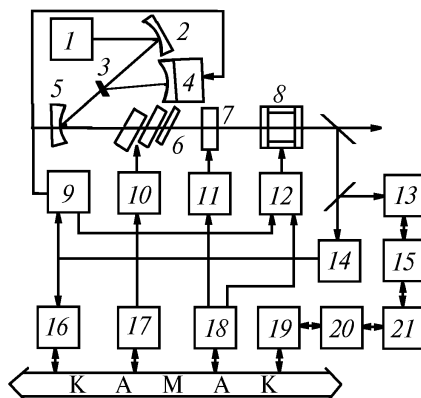
Лазер состоит из трех основных частей.

1. Непрерывно действующий лазер на красителях. Конструкция и параметры лазера подробно описаны в [8, 9]. В качестве элементов реализующих одночастотный режим генерации и перестройку частоты в лазере используются: фильтр Лио, тонкий эталон Фабри–Перо и селективный отражатель.

2. Система автоматической подстройки частоты (АПЧ) генерации лазера к максимуму отражения селективного отражателя. Использование подобной системы обеспечивает устойчивую одномодовую генерацию и упрощает процесс перестройки частоты излучения лазера.

3. Система автоматического управления частотой излучения лазера. Для осуществления перестройки частоты все элементы, селекционирующие моды резонатора, снабжены электромеханическими приводами. Фильтр Лио имеет привод от шагового двигателя, который позволяет перестраивать частоту излучения лазера в области генерации используемого красителя R6G 580–610 нм. Шаг перестройки 210 ГГц, в случае если не перестраиваются более высокоразрешающие селекторы (происходят «скачки» частоты излучения по модам тонкого эталона), и 24 ГГц, если перестраиваются тонкий эталон и селективный отражатель (в этом случае величина шага определяется характеристикой системы «шаговый двигатель–фильтр Лио»). Электромеханическим приводом тонкого эталона Фабри–Перо является двигатель постоянного тока, который позволяет плавно поворачивать тонкий эталон на $\pm 2,5^\circ$. Напряжение на привод подается через линеаризующий усилитель с десятичного цифроаналогового преобразователя.

Диапазон перестройки 210 ГГц (одна область свободной дисперсии эталона), шаг перестройки 7,5 ГГц, если другие селекторы не перестраиваются («скачки» генерации по модам селективного отражателя), и 0,21 ГГц, если они перестраиваются (значение шага задается диапазоном перестройки тонкого эталона и разрядностью используемого ЦАП). Электромеханический привод селективного отражателя (СО) – пьезокерамика.



Одночастотный лазер на красителях с системой автоматического управления частотой излучения: 1 – аргоновый лазер накачки; 2 – зеркало накачки; 3 – струя красителя; 4 – концевое зеркало резонатора; 5 – поворотное зеркало лазера; 6 – фильтр Лио; 7 – тонкий эталон Фабри–Перо; 8 – селективный отражатель; 9 – система АПЧ; 10 – электромеханический привод фильтра Лио; 11 – электромеханический привод тонкого эталона; 12 – высоковольтный усилитель; 13 – измеритель длины волны; 14 – фотоприемник; 15 – интерфейс измерителя длины волны; 16 – АЦП; 17 – МУШД; 18 – ЦАП; 19 – контроллер крейта КАМАК; 20 – интерфейс контроллера крейта КАМАК; 21 – ЭВМ

Изменение базы селективного отражателя обеспечивает диапазон перестройки 22,5 ГГц (три области дисперсии СО). Шаг перестройки СО 0,345 или 0,030 ГГц, если одновременно изменяется длина резонатора. Управляющее напряжение поступает на пьезокерамику СО через высоковольтный усилитель с 10-разрядного ЦАП. Пьезокерамический привод заднего зеркала резонатора определяет область непрерывной линейной перестройки частоты излучения лазера, составляющую 3 ГГц. Непрерывная перестройка частоты обеспечивается системой АПЧ. При достижении максимального значения напряжения для пьезокерамического привода заднего зеркала резонатора устройством в составе системы АПЧ производится возвращение данного привода в исходное состояние (при этом частота излучения не изменяется), после чего возможна дальнейшая перестройка частоты излучения лазера.

Для измерения частоты излучения лазера используется измеритель длины волны «Спектрон-ИВ», разработанный в Институте физики АН Белоруси. Спектральный диапазон 440–1060 нм, относительная погрешность измерения длины волны анализируемого излучения 0,0004%, длительность цикла измерения 0,25 с.

Система КАМАК используется для формирования необходимого вида управляющих приводами селекторов частоты лазера сигналов и для сбора экспериментальной информации об исследуемых спектрах. Используются стандартные блоки КАМАК: цифроаналоговые преобразователи, модуль управления шаговым двигателем (МУШД) и аналогоцифровые преобразователи.

Взаимосвязь между всеми блоками системы управления частотой и собственно автоматическое управление частотой генерации лазера по специальной программе осуществляется ЭВМ. Обмен информацией между измерителем длины волны, контроллером крейта КАМАК и ЭВМ производится с помощью двух интерфейсов связи.

Управление частотой излучения лазера осуществляется двояко.

1. По алгоритму настройки лазера на заданную частоту с помощью прибора «Спектрон-ИВ», используемого для измерений частоты излучения лазера (погрешность в измерении частоты порядка 500 МГц). В качестве входных данных используются значения констант электромеханических приводов (минимальный шаг перестройки селектора), фильтра Лио, тонкого эталона Фабри–Перо, селективного отражателя, области свободной дисперсии тонкого эталона и селективного отражателя, значение начальной частоты настройки.

Далее производится измерение текущей частоты генерации лазера, и посредством математических вычислений определяются направление и число шагов перестройки всех селекторов. По-

сле перестройки селекторов на заданное число шагов производится еще одно измерение частоты излучения лазера, на основании которого выбирается одно из решений – окончить настройку частоты, если измеренная частота отличается от заданной частоты настройки не больше чем на погрешность измерения, либо продолжить настройку на заданное значение частоты.

2. По алгоритму перестройки частоты излучения лазера в пределах области генерации красителя, реализующему следующие этапы:

а) пошаговую перестройку частоты излучения лазера, значение шага перестройки может меняться при решении конкретных задач, минимальный размер шага определяется шириной линии излучения лазера;

б) сбор экспериментальной информации после каждого шага и ее статистическую обработку; число измерений может быть изменено в зависимости от условий эксперимента.

В алгоритме осуществляется пошаговая перестройка селективного отражателя (СО) лазера, а остальные селекторы подстраиваются к СО для сохранения совмещенности центров полос пропускания всех селекторов. Причем для фильтра Лио и тонкого эталона Фабри–Перо предусмотрена программная подстройка, а резонатор лазера подстраивается к СО с помощью специально изготовленного электронного блока – системы автоматической подстройки частоты. Диапазон перестройки СО ограничен возможностями его пьезокерамического привода и составляет величину 22,5 ГГц (3 области свободной дисперсии). После перестройки лазера на 22,5 ГГц производится возвращение СО в исходное состояние, при этом частота генерации лазера не изменяется, т.к. теперь частоту генерации определяет мода СО, отстоящая от исходной на три области свободной дисперсии, т.е. на 22,5 ГГц.

Подобный подход применяется и к тонкому эталону. Когда возможности электромеханического привода исчерпаны (эталон перестроился на одну область дисперсии 210 ГГц), осуществляется возвращение привода в исходное состояние, и частота генерации лазера определяется соседней с исходной модой тонкого эталона. Измерение частоты излучения лазера производится с минимально возможным интервалом, который определяется погрешностью используемого измерителя длины волны и кратен значению шага перестройки.

В заключение приведем основные технические характеристики лазера на красителях.

Ширина излучения за 3 мин не более, МГц	30
Минимальный шаг перестройки частоты, МГц	30
Диапазон непрерывной перестройки частоты, ГГц	3
Мощность излучения (мощность накачки 3 Вт), мВт	80
Спектральный диапазон работы, нм	580–610

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 95-05-15119-а).

1. Жаров В. П., Летохов В. С. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия. М.: Наука, 1984. 319 с.
2. Антипов А. Б., Капитанов В. А., Пономарев Ю. Н., Сапожникова В. А. Оптико-акустический метод в лазерной спектроскопии молекулярных газов. Новосибирск: Наука, 1984. 127 с.
3. Демтредер В. Лазерная спектроскопия. М.: Наука, 1985. 608 с.
4. Герасимчук А. Г., Ермаченко В. М., Корнилов С. Т., Проценко Е. Д. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 3. С. 477–479.
5. Балькин В. И., Овчинников Ю. Б., Сидоров А. И. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 12. С. 2414–2419.
6. Бондарев Б. В., Караблев А. В., Кобцев С. М. // Оптика атмосферы. 1989. № 12. С. 1319–1324.
7. Нестерук И. Н., Компанец О. Н., Мишин В. И. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 5. С. 965–967.
8. Бондарев Б. В., Кобцев С. М., Сорокин В. Б. // ПТЭ. 1986. № 3. С. 245–250.
9. Бондарев Б. В., Кобцев С. М., Сорокин В. Б. // ПТЭ. 1986. № 1. С. 176–178.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
19 апреля 1995 г.

V. A. Kapitanov, G. E. Kulikov, V. I. Tyryshkin. **One-Frequency Dye Laser with Computer-Controlled Retuning of Radiation Frequency.**

One-frequency cw dye laser with computer-controlled tuning to the given frequency and its retuning is designed and produced. One-frequency mode of generation is reachable due to use of an automated system of frequency trimming. Measurement of the frequency is performed by «Spectron-IV» device. The КАМАК instrumentation is a part of the computer-controlled system. The designed laser is meant to be used in laser opto-acoustic spectrometers and spectrophotometers.