

УДК 681.785

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СЛОЖЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В КОЛЬЦЕВОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Зарипов М.Р.¹, Алексеев В.А.², Калугин А.И.¹, Куприянов А.А.², Антропова В.С.²¹Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН²Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. Поднимается проблема повышения энергетических характеристик автономных лазерных систем без увеличения потребляемой ими энергии питания. Рассматривается возможность решения этой проблемы путем синхронного сложения пучков от одиночного лазерного источника. Описываются структура и принцип действия экспериментальной установки, предназначенной для исследования синхронного сложения пучков в системе с кольцевой волоконно-оптической линией задержки.

Ключевые слова: синхронное сложение пучков, кольцевая линия задержки, экспериментальная установка, автономная лазерная система.

EXPERIMENTAL SETUP FOR LASER BEAM COMBINING IN RING FIBER DELAY LINE

Zaripov M.¹, Alekseev V.², Kalugin A.¹, Kuprijanov A.², Antropova V.²¹Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS²Kalashnikov Izhevsk State Technical University
Izhevsk, Russian Federation

Abstract. The problem of increasing the energy characteristics of autonomous laser systems without increasing the consumed power supply is raised. The possibility of solving this problem by synchronous beam combining for single laser source is considered. The structure and the principle of operation of an experimental setup designed to study the synchronous beam combining in a system with a ring fiber delay line are described.

Key words: synchronous beam combining, ring delay line, experimental setup, autonomous laser system.

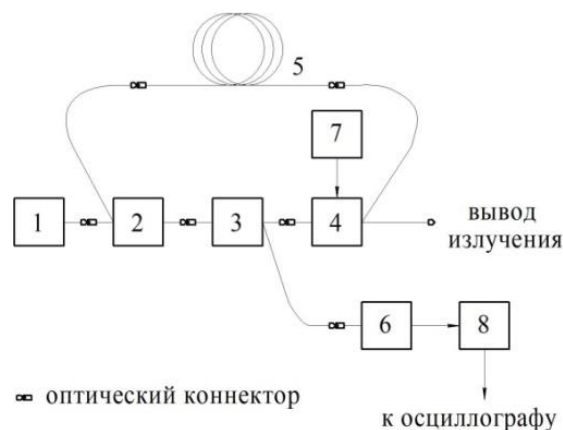
Адрес для переписки: Зарипов М.Р., ул. Школьная, 38-9, г. Ижевск, Российская Федерация
e-mail: zaripov.istu@gmail.com

В настоящее время остро встает задача расширения функций автономных лазерных систем, находящихся свое применение в геодезии, строительстве, медицине, экологическом мониторинге, освоении космоса и т.д. Ее решение предполагает увеличение выходной мощности или выходной энергии импульса лазерного излучения с сохранением прежней степени автономности всей системы в целом без возрастания потребляемой энергии.

К настоящему моменту известно несколько групп способов увеличения выходных энергетических параметров лазерных источников: использование методов компрессии лазерных импульсов [1], введение в состав лазера оптических усилителей [2], а также применение различных схем некогерентного [3] и когерентного [4] сложения лазерных пучков. Однако практическая реализация перечисленных решений сопряжена с возрастанием числа лазерных источников, с увеличением потребления энергии от внешнего источника питания, а также с ухудшением массогабаритных характеристик разрабатываемых лазерных изделий, что отрицательно сказывается на степени их автономности.

Эти недостатки могут быть устранены за счет применения предложенных авторами способов синхронного сложения лазерных пучков [5, 6], которые предполагают использование в составе своих схем одного лазерного источника и

включают необходимость увеличения энергии внешнего источника питания. При этом одной из наиболее простых в реализации является рассмотренная в [6] система с кольцевой волоконной линией задержки, не требующая, в отличие от системы [5], множества волоконно-оптических линий задержки, длины которых должны точно подгоняться для обеспечения синхронного суммирования лазерных пучков.



- 1 – лазерный источник; 2 – 2x1 волоконно-оптический сумматор; 3 – волоконный сплиттер 99:1;
4 – 1x2 волоконно-оптический коммутатор; 5 – отрезок волокна задержки; 6 – фотоприемное устройство;
7 – блок управления; 8 – блок приема

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

В настоящем сообщении предлагается рассмотреть построение экспериментальной установки для исследования возможности сложения лазерных пучков в кольцевой волоконно-оптической линии задержки.

Изготовленная установка (рис. 1) по своему конструктивному исполнению соответствует варианту исполнения системы с кольцевой волоконной задержки, формируемой на основе 2x1 волоконно-оптического сумматора (далее – ВОС) и 1x2 волоконно-оптического коммутатора (далее – ВОК). Действие таких систем заключается в последовательном синхронном наложении пучков лазерного излучения, поступающих на вход кольцевой линии задержки. При этом пучок, совершивший обход, накапливает в себе за счет сложения энергию излучения с каждым обходом в линии задержки.

Установка действует следующим образом. Лазерный источник с волоконным выходом 1 соединен с первым входом ВОС 2, через который сформированный лазером исходный пучок излучения вводится в кольцевую волоконно-оптическую линию задержки. При этом ВОС в отличие от исходного конструктивного исполнения исследуемой системы подключается к входу ВОК 4 не напрямую, а через волоконный сплиттер 1x2 3. Сплиттер выполняет в установке функцию светоделительного элемента и разделяет пучок, поступивший на его вход, в соотношении 99:1. Причем 1% энергии пучка, вошедшего в сплиттер, отводится на фотоприемное устройство с волоконным вводом (далее – ФПУ) 6, а основная доля энергии остается в рабочей части установки. Выход сплиттера, выводящий 99 % энергии пучка, подключен к входу ВОК, вместе с тем лазерный пучок, поступивший в волоконное «кольцо», через первый выход ВОК проходит в отрезок волокна задержки 5 определенной длины, а затем вновь вводится в кольцевую волоконно-оптический элемент задержки через второй вход ВОС. Процесс накопления энергии излучения идет до тех пор, пока суммарный пучок в «кольце» не будет выведен через второй выход ВОК при его переключении по сигналу с блока управления 7. При этом ФПУ преобразует оптическое излучение в электрический сигнал, который после обработки и усиления в блоке приема 8 поступает на осциллограф для его измерения и последующего анализа. Причем при переключении ВОК на вывод излучения наружу из установки через его второй выход ФПУ позволит зарегистрировать сигнал, пропор-

циональный мощности излучения исходного пучка (далее – сигнал вывода). Вместе с тем переключение ВОК на циркуляцию излучения в волоконном «кольце» через его первый выход обеспечит регистрацию ФПУ сигнала, пропорционального мощности суммарного пучка (далее – сигнал циркуляции). Сравнение величин этих сигналов с помощью осциллографа позволит сделать вывод о возможности сложения лазерных пучков в кольцевой волоконно-оптической линии задержки.

В ходе проведения экспериментов на установке было замечено, что сигнал циркуляции случайным образом изменяет свою амплитуду за время, в течение которого происходит циркуляция пучка в кольцевой задержке. При этом сигнал вывода остается постоянным. Случайно изменяющаяся амплитуда сигнала циркуляции превышает амплитуду сигнала вывода, что уже может свидетельствовать о сложении мощностей исходных пучков в волоконном «кольце» при формировании суммарного пучка. Но, несмотря на это, необходимо обеспечить постоянство во времени амплитуды регистрируемого сигнала циркуляции для повышения достоверности проводимых на установке измерений. Для этого дальнейшая доработка установки должна пойти по пути, связанном с заменой одномодовых волоконных элементов циркуляции и вывода излучения на многомодовые. Такой способ доработки не потребует применения сложной аппаратуры контроля и согласования фаз полей исходного и суммарного пучков в случае обеспечения их когерентного сложения.

Литература

1. Exawatt-Zettawatt pulse generation and applications / G. A. Mourou [et al.] // *Optics Communications*, 2012. – Vol. 285. – P. 720–724.
2. Solid-state Yb: YAG amplifier pumped by a single-mode laser at 920 nm / I. V. Obionov [et al.] // *Quantum Electronics*, 2018. – Vol. 48, № 3. – P. 212–214.
3. Motes, A. Laser beam combining / A. Motes. – Rio-Rancho : AM Photonics, 2015. – 132 p.
4. Brignon, A. Coherent laser beam combining / A. Brignon. – Weinheim : Wiley-VCH, 2013. – 509 p.
5. Alekseev, V. A. Increasing the peak power of a pulsed laser source using optical delay lines / V. A. Alekseev, A. S. Perminov, S. I. Yuran // *J. Opt. Technol.* – 2018. – Vol. 85, iss. 12. – P. 746–751.
6. Energy-efficient source of pulsed laser radiation based on a ring delay line / V. A. Alekseev [et al.] // *J. Opt. Technol.* – 2021. – Vol. 88, iss. 7. – P. 360–363.