

УДК 53.08:004

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-08-01004)

Автоматическая юстировка резонатора твердотельного лазера

Бондаренко Д.С., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

Савкин С.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

Суукаев Т.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

Титов И.Е., аспирант

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы и сети»*

*Научный руководитель: А.Н. Глотов, старший преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

[*glotovan@bmstu.ru*](mailto:glotovan@bmstu.ru)

Для проведения лабораторных и исследовательских работ по лазерной тематике на кафедре «Радиоэлектронные системы и устройства» разработан и внедрен в учебный процесс автоматизированный лазерный стенд с дистанционным управлением. Его особенностью является возможность удаленного управления параметрами лазера и проведения измерений. Доступ к системе управления может осуществляться с любого информационного устройства (персональный компьютер, планшет, смартфон), подключенного к сети Интернет, посредством любого современного веб-браузера.

В условиях постановки эксперимента в режиме удаленного доступа возникла потребность в системе автоматической юстировки резонатора с дистанционным управлением. В качестве критерия юстировки выбран максимум энергии импульса излучения лазера. Система юстировки построена по классической схеме системы автоматического регулирования с обратной связью. Функциональная схема системы юстировки показана на рис. 1.

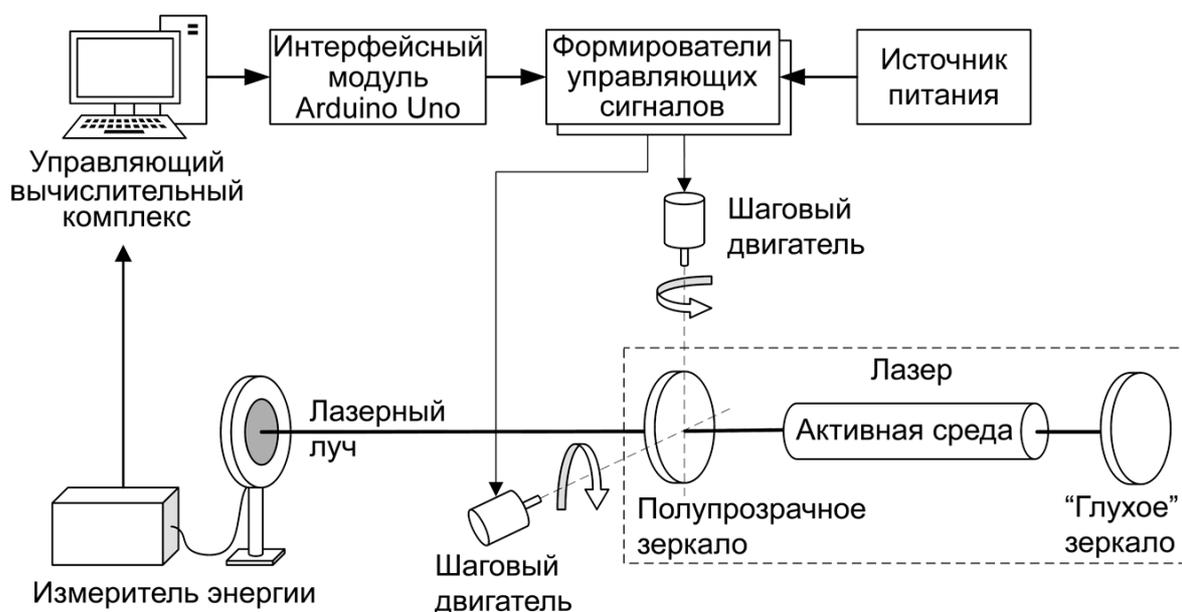


Рис. 1. Функциональная схема системы юстировки

К разрабатываемому устройству предъявлялись следующие требования:

1. возможность проводить юстировку оптических элементов различных форм и размеров, поворачивая их двух плоскостях — азимутальной и угломестной;
2. оценка качества юстировки должна выполняться по максимуму выходной энергии излучения, которая определяется измерителем энергии лазерного излучения;
3. юстировка должна осуществляться по заданному алгоритму в автоматическом режиме без участия оператора;
4. устройство должно управляться с помощью персонального компьютера. Управляющая программа должна быть реализована в среде программирования LabVIEW и иметь возможность интеграции в общую систему управления лазерным стендом.

Механическая часть устройства была разработана на основе юстировочного столика с ручным приводом. Конструкция показана на рис. 2. Устройство представляет собой карданный подвес, на внутреннем кольце которого расположены тисочки с V-образными губками для удержания зеркала 1. Углы поворота задаются с помощью двух регулировочных винтов, размещенных на задней части внешнего кольца. Регулировочные винты вращаются с помощью двух шаговых электродвигателей 3, закрепленных на опорном кольце 4. Вращение валов двигателей передается регулировочным винтам через скользящие муфты 2.

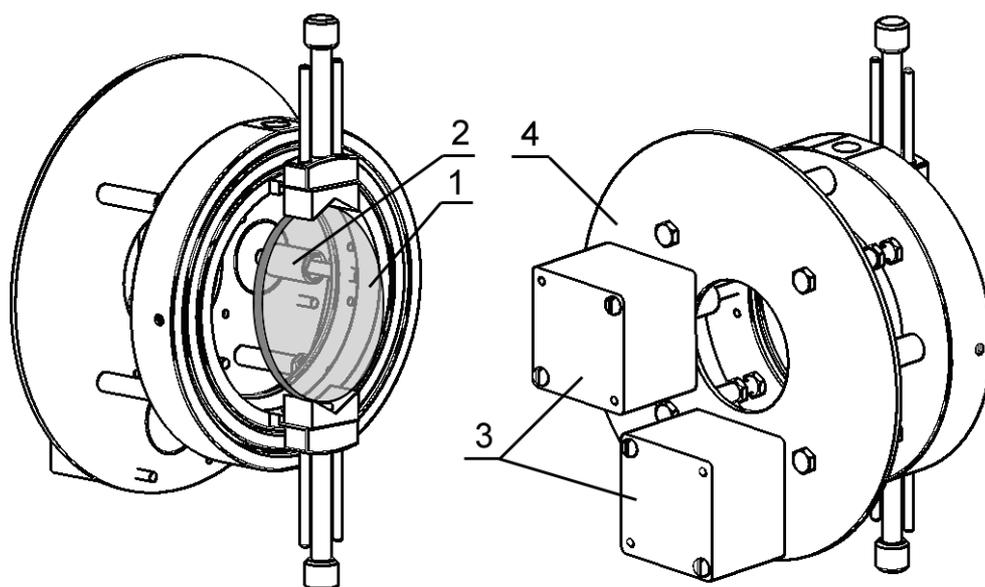


Рис. 2. Конструкция юстировочного устройства

Программная часть системы юстировки разработана в среде визуального программирования LabVIEW. Эта среда использует технологию виртуальных приборов и хорошо приспособлена для создания автоматизированных систем управления. Виртуальный прибор формирует управляющие команды в соответствии с требуемыми параметрами и посылает их на соответствующий вход реального прибора.

Система управления шаговыми двигателями состоит из двух частей: контроллера Arduino Uno и генераторов управляющих импульсов, к которым непосредственно подключаются двигатели и внешний источник питания (рис. 1). Программная часть может быть интегрирована в общую систему управления лазерным стендом в виде набора подпрограмм (subVI). Программа посылает команды через интерфейс USB на устройство Arduino Uno, которое через цифровые выходы пересылает сообщения на генераторы управляющих импульсов. В каждом сообщении содержится номер устройства, которому предназначена команда, направление вращения двигателя, количество шагов, которое нужно совершить, и длительность задержки между шагами. Использование контроллера Arduino позволяет реализовать управление большим количеством шаговых двигателей, чего нельзя добиться, используя стандартные порты персонального компьютера.

Оценка качества юстировки производится по максимуму энергии лазерного излучения. Юстировка осуществляется в два этапа. Вначале производится так называемая грубая юстировка в результате которой определяется точка максимума грубой юстировки. Разработано несколько вариантов алгоритмов грубой юстировки. В режиме секторного поиска проводится серия измерений, при которых оптический элемент последовательно

поворачивается в двух плоскостях с заданным шагом в относительно широком диапазоне углов (рис. 3,а). После каждого шага измеряется энергия лазерного излучения и производится запись результатов измерений. Затем определяется максимальное значение энергии излучения, координаты точки, в которой было проведено это измерение и количество шагов двигателей, необходимое для того, чтобы вернуться в эту точку. Точность определения координат точки тем выше, чем меньше интервал между измерениями. Однако при сканировании в широком диапазоне с достаточно высокой точностью, требуется проведение очень большого количества измерений, что занимает много времени и негативно сказывается на ресурсе лазера, и в частности на ресурсе лампы накачки.

В режиме последовательного приближения вначале производится поиск локального максимума энергии в азимутальной плоскости. При этом анализ результата производится сразу после очередного измерения и поворот зеркала производится в сторону роста показаний. После нахождения максимума грубой юстировки в азимутальной плоскости производятся аналогичные действия в угломестной плоскости (рис. 3,б). Преимущество данного алгоритма заключается в значительной экономии количества измерений, а значит ресурсов и времени. Однако, выполнение алгоритма последовательного приближения может быть начато только при наличии генерации в исходной точке. В случае отсутствия генерации должен быть применен алгоритм секторного поиска.

Затем производится точная юстировка. Алгоритм точной юстировки в значительной степени повторяет процесс юстировки в режиме последовательного приближения, но с уменьшенным шагом. Проводится серия измерений, при которых оптический элемент поворачивается в одной плоскости, после чего он возвращается в положение, соответствующее максимуму энергии излучения. После этого процедура выполняется в другой плоскости вращения. Эти действия повторяются несколько раз, причем угол поворота элемента после каждого повторения может постепенно уменьшаться для обеспечения лучшей точности. Точность юстировки определяется величиной шага двигателя. Минимальный шаг составляет около 14 угл. сек.

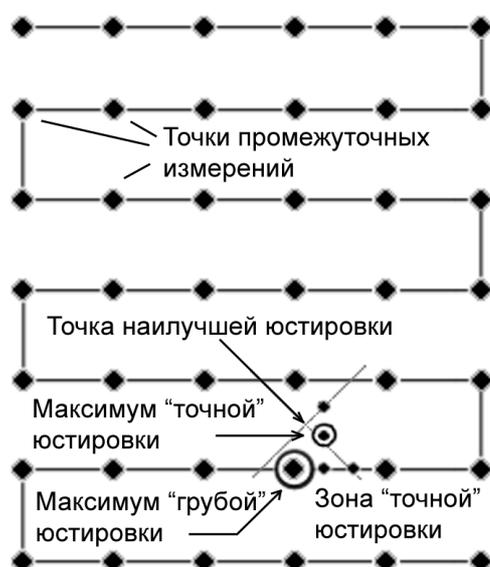


Рис. 3,а. Последовательность действий в режиме секторного поиска

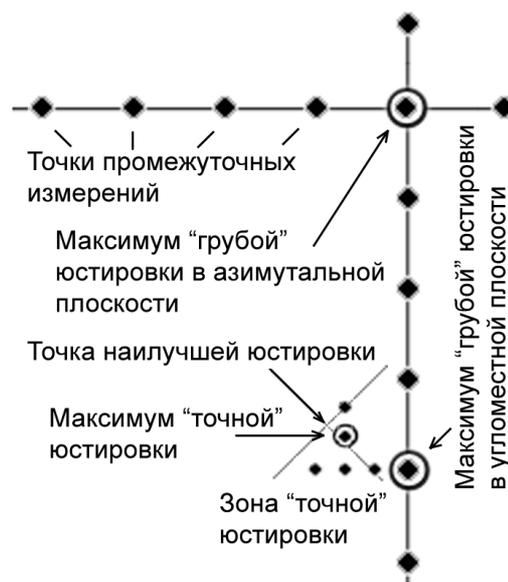


Рис. 3,б. Последовательность действий в режиме последовательного приближения

Разработанное устройство успешно решает задачу автоматической юстировки лазерного стенда, обеспечивая максимальную выходную энергию излучения. Оно также позволяет изучать влияние угла разъюстировки на характеристики лазера. На рис. 4. показана экспериментальная зависимость энергии лазерного излучения от угла разъюстировки выходного зеркала, из которой следует, что при разъюстировке в 2 угл. мин. энергия излучения падает в ~5 раз. Энергия излучения регистрировалась цифровым измерителем энергии Pulsar-2 фирмы Ophir. АИГ:Nd –лазер работал в режиме свободной генерации с превышением порога в 3 раза. Использовался активный элемент ГП-6,3х65, длина резонатора $L = 40$ см, коэффициент отражения выходного зеркала $R = 21$ %, диаметр внутрирезонаторной диафрагмы $d = 5$ мм. График на рис. 4. также показывает, что для работы в режиме точной юстировки необходимо предварительное выставление параллельности зеркал с точностью до 10 угл. мин.

Энергия импульса излучения, отн. ед.

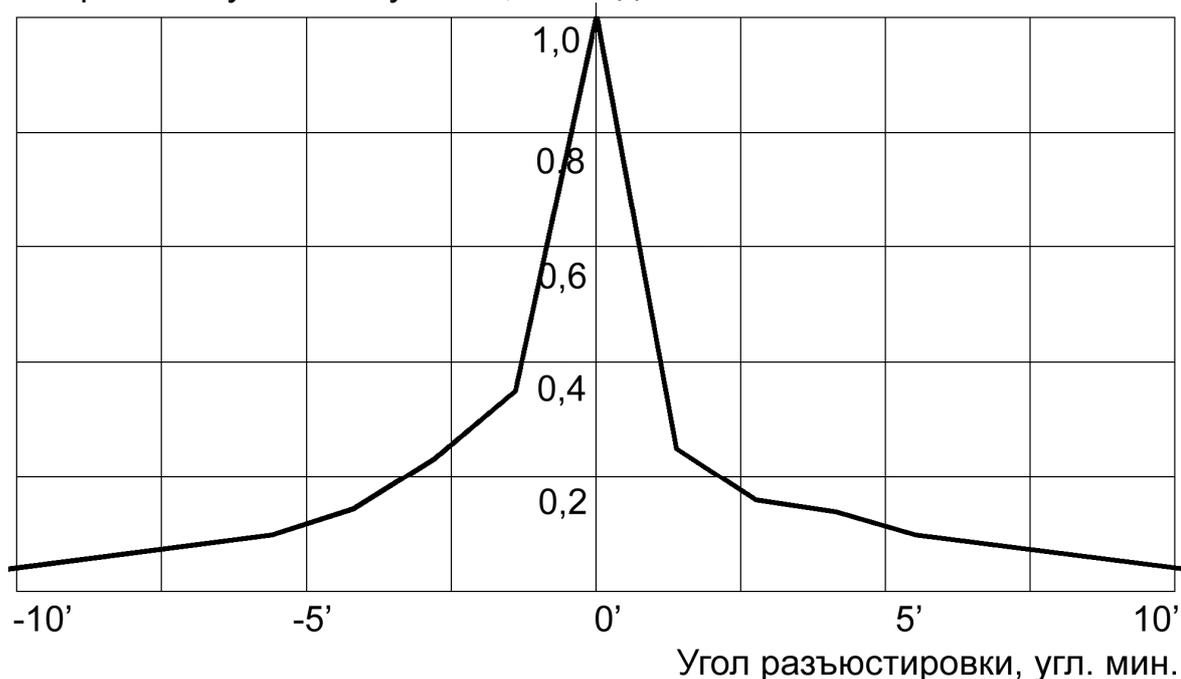


Рис. 4. Зависимость энергии излучения от угла разъюстировки выходного зеркала

Список литературы

1. Бондаренко Д.С., Воробьев А.А., Костина М.В., Лобко И.В., Савкин С.А., Титов И.Е. Разработка автоматизированного юстировочного устройства // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 2. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/550893.html> (дата обращения 12.03.14).
2. Иванов В.А., Привалов В.Е. Применение лазеров в приборах точной механики. СПб : Политехника, 1993. 216 с.
3. Лазеры в науке, технике, медицине: сборник научных трудов. В 24 т. Т. 24. Твердотельный лазер с автоматической юстировкой резонатора / ред. В.А.Петров. М.:МНТОРЭС им .А.С. Попова, 2013. С. 37-44.
4. Titov Igor, Smirnova Olga, Glotov Alexander, Golovin Alexander Remote Laser Laboratory: Lifebuoy for Laser Engineering Curriculum // International Journal of Online Engineering (iJOE). 2012. Vol 8. No 2. Available at: <http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v8i2.1761>, accessed 15.03.2014.