

УДК 53.05

Учебно–исследовательский дистанционно управляемый лазерный стенд

03, март 2012

Бондаренко Д.С., Воробьев А.А.

Студенты,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Готов А.Н.,
ст. преподаватель кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
aglotov@mail.ru
probodis@gmail.com

В целях выполнения учебно-образовательного проекта, реализации концепции дистанционного образования и обеспечения безопасности при проведении лабораторно-исследовательских работ в области лазерной техники в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Радиоэлектронные системы и устройства» разработан аппаратно - программный комплекс (АПК), представляющий собой учебно-исследовательский дистанционно-управляемый лазерный стенд, структура которого показана на рисунке 1.

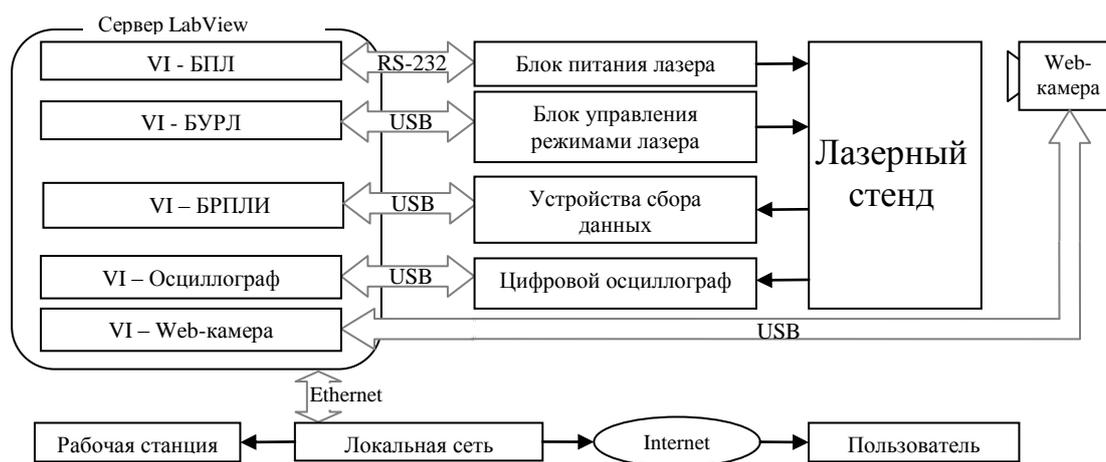


Рис. 1. Структура учебно-исследовательского дистанционно-управляемого лазерного стенда

В основе лазерного стенда лежит лазерный излучатель на основе алюмоиттриевого граната с импульсной оптической ламповой накачкой. Возможно проведение исследований параметров лазерного излучения в следующих режимах:
- свободной генерации на длине волны основной гармоники 1,064 мкм;

- модуляции добротности резонатора с генерацией моноимпульса на длине волны основной гармоники 1,064 мкм;

- генерации моноимпульсов на длине волны второй гармоники 0,532 мкм.

Управление режимами работы лазера осуществляется изменением параметров накачки и состава лазерного излучателя. Со стороны компьютера управляющие и регистрирующие устройства лазерного стенда представлены виртуальными приборами (VI), созданными в среде графического программирования LabView фирмы National Instruments. Виртуальные приборы формируют управляющие команды в соответствии с введенными сигналами и посылают их на соответствующие входы реальных приборов. Регистрация параметров лазерного излучения производится устройствами, имеющими цифровой интерфейс и возможность передачи результатов измерений в рабочую станцию с помощью виртуального прибора блока регистрации параметров лазерного излучения (VI – БРПЛИ). К тому же, виртуальные приборы управляют блоком питания лазера PS701TC (БПЛ), блоком управления режимами лазера (БУРЛ), блоком регистрации параметров лазерного излучения (БРПЛИ), цифровым осциллографом и Web-камерой, которая необходима для визуализации процесса выполнения лабораторной работы.

Архитектура программ LabView позволяет объединить несколько виртуальных приборов с различными алгоритмами формирования управляющих команд в один измерительный комплекс, предоставляя пользователям доступ сразу ко всем элементам управления параметрами лазерного излучения.

В лазерном стенде реализована возможность удаленного управления с использованием различных интерфейсов передачи данных, как показано на рисунке 1. Удаленное управление организовано по принципу клиент-серверной технологии. Возможен доступ по локальной сети или через интернет. Реализован контроль доступа – управление виртуальным прибором возможно лишь после авторизации пользователя.

Виртуальная панель управления лазерным стендом, объединяющая работу всех VI, представлена на рисунке 2. На данной приборной панели представлены элементы управления входным параметром лазерного излучения (энергией накачки) и составом излучателя (нелинейным кристаллом, блоком смены диафрагм и пассивных затворов). Также панель демонстрирует оптическую схему лазерного излучателя, осциллограмму лазерного импульса и импульса накачки, а также информационное поле, описывающее параметры и текущее состояние лазерного стенда.

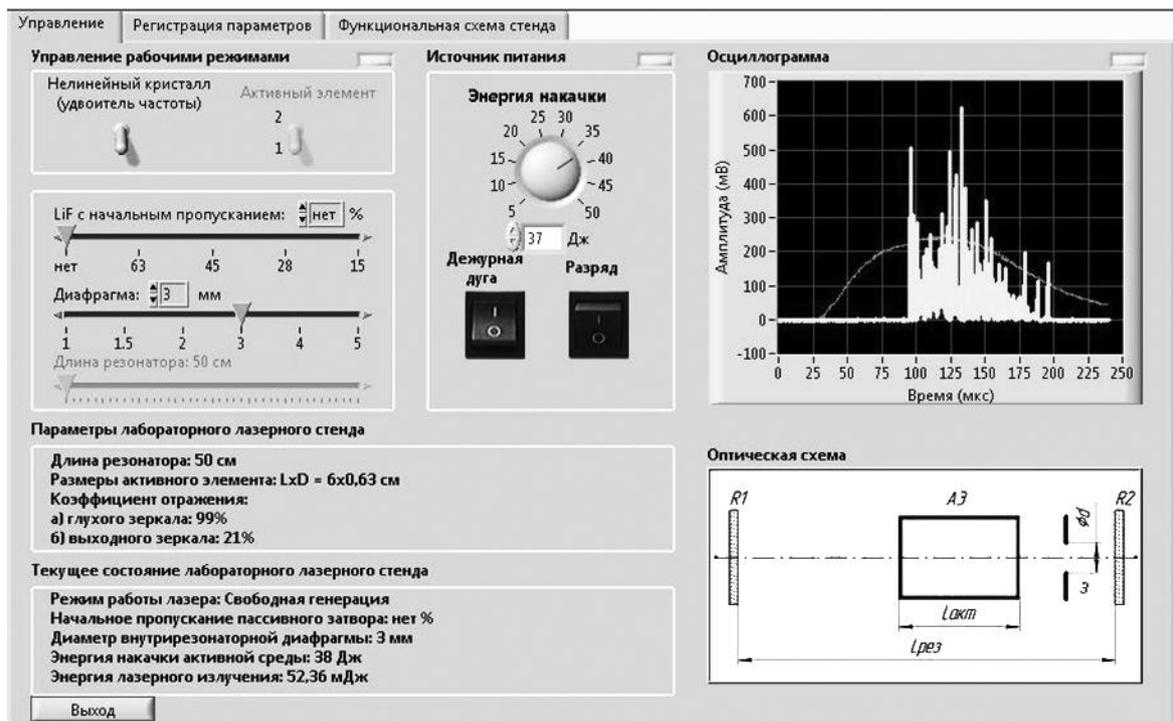


Рис. 2. Виртуальная панель управления лазерным стендом

Для успешного решения ряда задач в области прикладной квантовой электроники, лазерной локации и навигации и требуется обеспечивать измерение энергии как последовательности импульсов импульсно-периодического лазера в целом, так и каждого из составляющих ее импульсов в отдельности. Из всего многообразия методов измерения энергии лазерного излучения только фотоэлектрические методы могут обеспечить измерение энергии отдельных импульсов в пачке. Это обусловлено инерционностью механизмов работы большинства первичных измерительных преобразователей (ПИП), основанных на методах отличных от фотоэлектрического [1].

Фотоэлектрический метод измерения энергетических параметров лазерного излучения основан на переходе носителей заряда под действием фотонов измеряемого излучения на более высокие энергетические уровни. В качестве фотоэлектрических ПИП используют фотоприемники (ФП) как с внешним, так и внутренним фотоэффектом. Внешний фотоэффект заключается в испускании электронов под действием фотонов в вакуум, внутренний — в переходе электронов из связанного состояния под действием фотонов в свободное, т.е. в возбужденное состояние внутри материала. В обоих случаях переход происходит при поглощении веществом отдельных квантов излучения, поэтому ФП являются квантовыми приборами. Энергия электромагнитного излучения в них непосредственно превращается в электрическую, которая затем подвергается измерению. Выходной электрический сигнал ФП зависит от количества квантов излучения и энергии каждого кванта в единицу времени или от мощности падающего излучения.

Общее выражение преобразования входного оптического сигнала в выходной электрический сигнал, осуществляемого фотоэлектрическим ПИП, можно записать в следующем виде:

$$I(t) = I_{\text{ФП}}(t) + I_T = S_{\lambda} \cdot P(t) + I_T,$$

где I — полный ток, создаваемый ФП, A ;

$I_{\text{ФП}}$ — ток ФП, вызванный падающим потоком излучения, A ;
 I_T — темновой ток, A ;
 S_λ — спектральный коэффициент преобразования, или абсолютная спектральная чувствительность ФП, A/Bm ;
 $P(t)$ — полная мощность падающего на ФП излучения, Bm .

Абсолютная спектральная чувствительность S_λ ФП определяется выражением $S_\lambda = Q_{\text{эф}} \cdot \lambda / 1.24$ где $Q_{\text{эф}}$ — эффективный квантовый выход, λ — длина волны излучения, мкм. S_λ меняется в зависимости от типа и конструкции ФП ($10^{-3} \dots 10^{-1}$ мА/Вт).

Величина энергии E падающего на ФП излучения определяется интегралом полной мощности излучения $P(t)$ за время измерения Tu энергии одного импульса или полной последовательности импульсов, в то время как полная мощность излучения $P(t)$ описывается интегралом распределения меняющейся во времени плотности мощности $\rho_\lambda(r, t)$ по апертуре S ФП.

$$E = k_\lambda \int_{Tu} \left(\int_S \rho_\lambda(r, t) S_\lambda dr \right) dt = k_\lambda \int_{Tu} I_{\text{ФП}}(t) dt$$

Спектральный диапазон S_λ ФП зависит от применяемых технологий, вида взаимодействия лазерного поля со средой. В настоящее время выпускаемые промышленностью ФП перекрывают диапазон от ультрафиолетового ($\lambda = 0,16$ мкм), ближнего ИК излучения до 1,2 мкм (для серебряно-кислородно-цезиевого катода) и широкого диапазона ИК (от 0,4 до 25 мкм) с использованием в качестве ФП фоторезисторов.

Важным для обеспечения измерений отдельных импульсов в пачке является быстродействие ФП: инерционность обычных полупроводниковых фотодиодов (ФД) составляет от 10^{-6} до 10^{-8} с, а временное разрешение Ge и Si лавинных ФД достигает от 1 до 10 нс. ФД изготавливают с размерами фоточувствительной площадки примерно от долей миллиметра до 10 мм, а лавинные ФД — до 1 мм. Достоинством вакуумных фотоэлементов ФЭ и фотоумножителей ФЭУ для применения их в качестве ПИП фотоэлектрических измерителей энергии лазерного излучения являются высокое быстродействие достигающее 50 пс (200 пс для ФЭУ) и большая площадь фотокатода, позволяющая производить прием лазерного излучения на всю площадь фотокатода и тем самым снизить плотности мощности излучения и расширить область линейности ПИП. Динамический диапазон, в котором сохраняется линейность преобразования оптического сигнала в электрический, для ФЭ сравнительно большой. Для измерения относительно больших уровней мощности и энергии целесообразно применять ПИП с невысокой чувствительностью, т.е. ФЭ.

Учитывая, что длительность моноимпульса исследуемого лазера составляет единицы наносекунд, постоянная времени интегрирования не могла быть выбрана слишком большой. С другой стороны, необходимо обеспечить приемлемое время сохранения заряда интегрирующего конденсатора в пределах точности измерительной системы достаточное для работы АЦП [2]. Оценим уровень сигнала на выходе интегрирующей цепи:

$$U_{\text{вых}} = U_E e^{-t/RC},$$

где U_E – напряжение на конденсаторе, соответствующее полной энергии импульса. Установив постоянную времени интегрирования 380 мкс получим, что для потери не более 1 % заряда потребуется около 2,5 мкс. Для обеспечения соответствующей точности преобразования такого сигнала в цифровую форму достаточно восьми разрядов. Исходя из полученных значений, можно определить алгоритм аналого-цифрового преобразования.

АЦП последовательного приближения обеспечивают достаточную разрядность (8 – 12 разрядов) и малое время преобразования (единицы микросекунд). Кроме того, параллельный интерфейс таких АЦП наиболее удобен при интеграции в микропроцессорную систему. Для практической реализации выбрана микросхема AD7813 фирмы Analog Devices.

В качестве первичного преобразователя используется вакуумный ФЭ типа ФК-19. Ток на выходе ФЭ пропорционален интенсивности лазерного излучения. Следовательно, напряжение на выходе интегратора пропорционально энергии импульса.

Как видно из рисунка 3 блок регистрации параметров лазерного излучения (БРПЛИ) состоит из следующих функциональных блоков:

- Микроконтроллер AT89C5131, на котором реализована логика взаимодействия с ЭВМ пользователя, логика обработки сигналов с АЦП и синхроимпульсов от блока управления накачкой.
- АЦП – 10 битный, аналого-цифровой преобразователь типа AD7813 с максимальной частотой дискретизации $F_{max}=400$ кГц.
- Интегратор – выполняет интегрирование сигнала с ФЭК.
- ФЭК – первичный преобразователь интенсивности лазерного излучения в электрический сигнал. Тип преобразователя - коаксиальный ф/э серии ФК.
- ЭВМ – любой персональный компьютер с портом USB – осуществляет индикацию текущей энергии импульса.

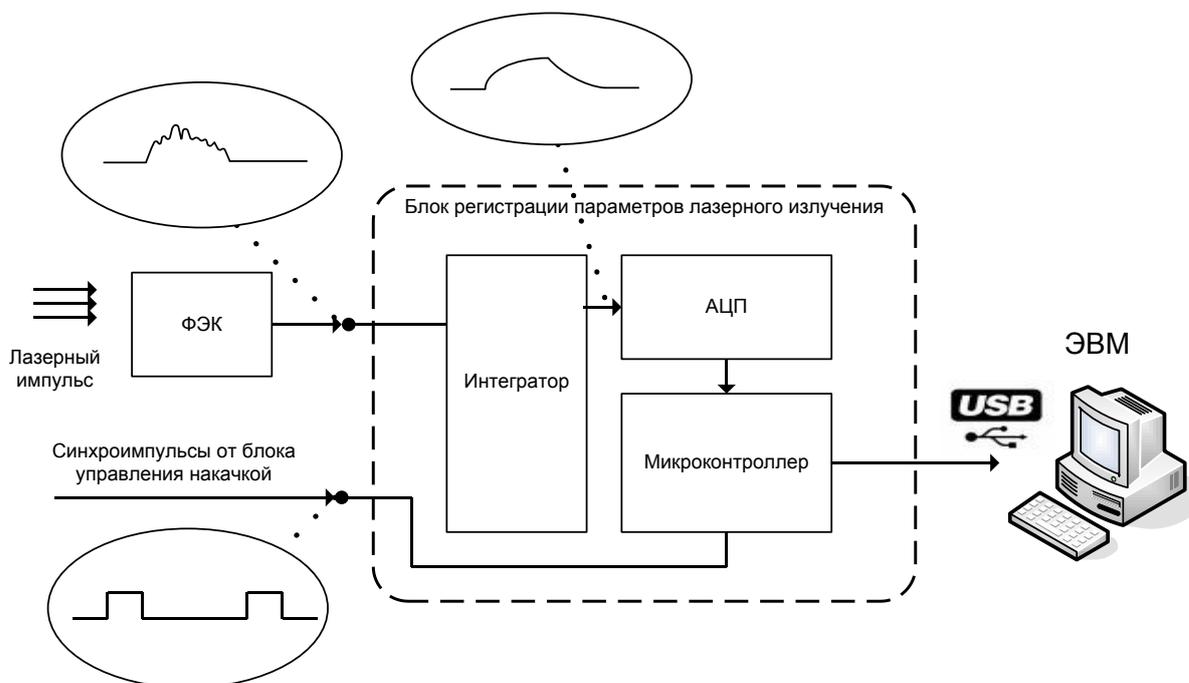


Рис. 3. Функциональная схема устройства

Устройство работает следующим образом. Блок управления накачкой, в момент начала накачки активного элемента лазера подает синхроимпульс на вход устройства. По заднему фронту синхроимпульса микроконтроллер инициирует прерывание, по которому происходит инициация процедуры обработки импульса с АЦП. Микроконтроллер начинает процедуру получения данных с АЦП с интервалом от 2,5 до 3 мкс с последующим накоплением данных во внутренней памяти микроконтроллера. После получения заданного количества отсчетов, микроконтроллер инициирует передачу полученной выборки данных на ПК посредством шины USB. Пользовательская программа, запущенная на ПК, осуществляет окончательные преобразования и вычисления с последующим сохранением данных в служебный файл, который служит буфером для обмена данными между пользовательской программой и виртуальным прибором LabView.

Части блок-диаграммы виртуального прибора изображены на рисунке 4. Этот подприбор производит считывание результатов АЦП из служебного файла, затем на их основе производит вычисление энергии импульса.

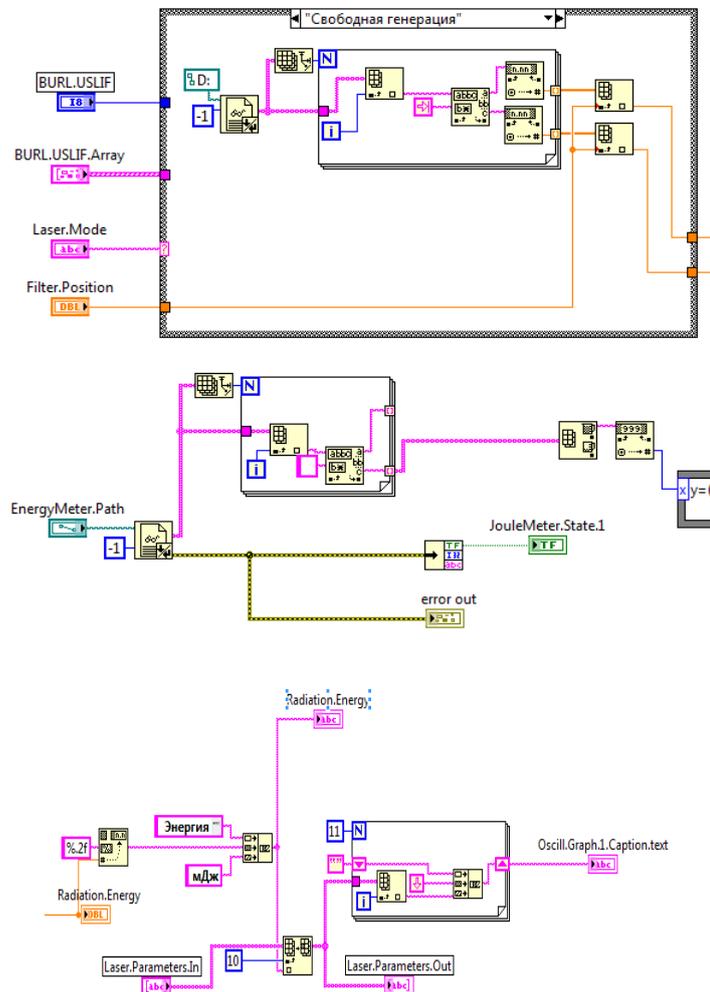


Рис. 4. Блок-диаграмма виртуального прибора

Литература

1. Глотов А.Н., Головин А.Д., Лаговиер А.И., Смирнова О.А., Сайташев И.А. Организация лабораторных работ по лазерной технике в режиме удаленного

доступа. "Лазеры в науке, технике, медицине": Сборник научных трудов. Том 18
Под ред. В.А.Петрова - М.:МНТОРЭС им.А.С. Попова, 2007, с.27-31.

2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения./ под ред. А.Ф.Котюка. – М.: Радио и связь, 1981, 288 с.

3. Глотов А.Н., Головин А.Д. Фотометр импульсно – периодического излучения с выходом в канал общего пользования // Сборник тезисов докладов II Всесоюзной научно – технической конференции. 19-21 апреля 1988 г. Актуальные проблемы современного приборостроения.