

*д. т. н., проф. Денищик Ю.С.,  
студенты Зыбин Д.И., Олейник А.Н.  
(ГМЦ «Орион» и кафедра радиофизики ДонГТУ,  
г. Алчевск, Украина)*

## **БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЛС**

*Запропонований швидкодіючий вимірювач енергії вихідних імпульсів передавачів супутникових лазерно-локаційних станцій (ЛЛС). Цей пристрій, на відміну від інших, не змінює параметрів ЛЛС, може працювати разом зі станцією в реальному часі та вводить результати вимірювань в комп'ютер.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Известно, что важнейшие характеристики лазерных локационных станций (ЛЛС) – предельная дальность действия и точность измерения дальности – сильно зависят от параметров передающего устройства – лазера и потерь излучения в оптических трактах станции [1]. Кроме этого, передатчик является самым энергонагруженным устройством ЛЛС и его время безотказной работы определяет надежность всей системы. Поэтому необходимы устройства, позволяющие измерять и регистрировать при помощи вычислительных средств энергию оптических импульсов лазерного передатчика до и после телескопа. Это дает возможность прогнозировать отказы при работе оборудования и вовремя принимать меры по их предотвращению, а также следить за состоянием оптических элементов телескопа, вносящих ощутимые потери лазерного излучения.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

В существующих ЛЛС энергия лазерных импульсов измеряется периодически после ремонтов передатчика или при выполнении профилактических работ с помощью приборов «ИКТ» или «ИМО» серийного изготовления. Контроль параметров передатчика при работе станции в условиях астрономических наблюдений с помощью этих приборов невозможен. Они содержат калориметры, время остывания которых достигает нескольких минут, а период следования оптических импульсов передатчиков ЛЛС составляет десятые и сотые доли секунды. Приемлемым быстродействием обладают полупроводниковые фотоэлектронные устройства с регистрацией света путем измерения

напряжения на эквивалентном конденсаторе (емкости) обратно смещенного p-n перехода. На практике предварительно заряжают обратно смещенный фотодиод до напряжения, близкого к максимально допустимому, а потом измеряют это напряжение до и после засветки фотодиода определенной долей излучения лазера. Затем вычитают результат первого измерения из результата второго, и полученную разность ставят в соответствие значению энергии излучения лазера после предварительной калибровки с использованием стандартных (калориметрических) средств измерений. При фоновой засветке фотодиода, которая практически всегда имеет место, сначала таким же способом измеряют интенсивность фона, а потом – излучения лазера. Затем из второй вычисленной разности вычитают первую. В этом случае измерение энергии лазерного импульса выполняется в четыре этапа. Устройство для реализации такого принципа измерений описано в работе [2]. Однако оно мало приемлемо для использования в составе ЛЛС, т.к. для четырех указанных выше этапов измерений половина импульсов, запускающих передатчик от телескопа, будет использоваться в приборе и не подаваться на лазер. Данный фактор приводит к пропускам посылок зондирующих импульсов на космический объект, что снижает эффективность астрономических наблюдений и может быть отнесено к потере данных. К тому же прибор не имеет внутреннего калибратора, что затрудняет его использование. В состав калориметрических измерителей энергии такие калибраторы входят.

#### **Постановка задачи**

Создать прибор, свободный от указанных недостатков.

#### **Изложение материала с обоснованием полученных результатов.**

В ГМЦ «Орион» было разработано устройство, свободное от указанных выше недостатков, функциональная схема которого показана на рисунке 1.

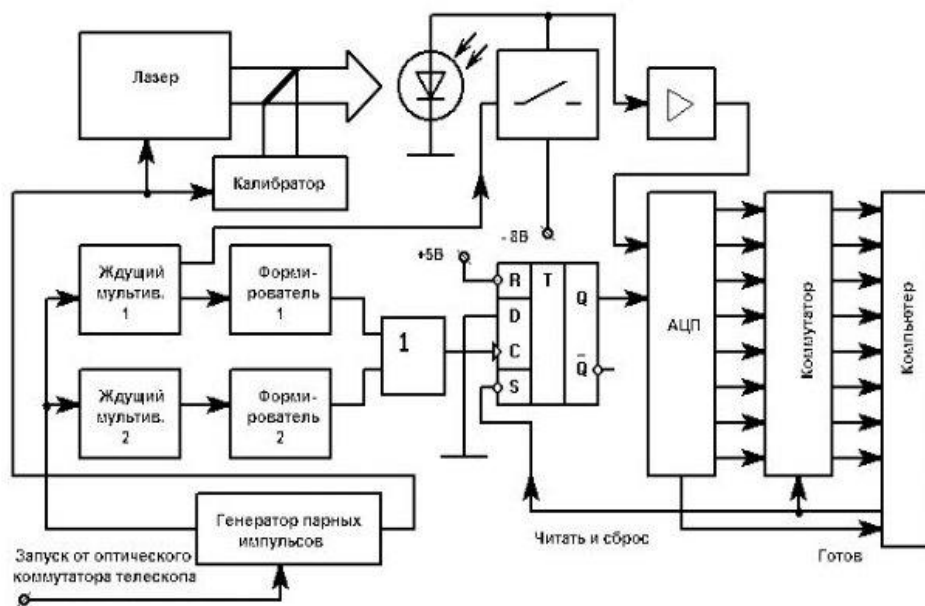


Рисунок 1- Функциональная схема измерителя энергии лазерного излучения

Основным управляющим устройством прибора является генератор парных импульсов, который по каждому сигналу запуска от телескопа ЛЛС выдает два импульса длительностью по 600 мкс с временным интервалом 1 мс по передним фронтам. Первый импульс пары запускает ждущие мультивибраторы 1 и 2. Выходной импульс мультивибратора 1 через аналоговый ключ заряжает эквивалентную емкость фотодиода до обратного напряжения 8 В и по заднему фронту переводит триггер в активное состояние через формирователь 1 и схему «ИЛИ» для запуска 30 мкс цикла преобразования АЦП. По сигналу от АЦП «Готов» компьютер запускает коммутатор, происходит считывание усиленного и оцифрованного напряжения на фотодиоде, а также сброс триггера в исходное состояние. Это первый байт данных, соответствующий исходному напряжению на фотодиоде до засветки его фоном или лазерным излучением. Далее ждущий мультивибратор 2 выдает импульс длительностью 300 мкс, по заднему фронту которого формирователь 2 через схему «или» второй раз переводит триггер в активное состояние, и происходит считывание интенсивности фона за эти 300 мкс, что соответствует его энергии. Это второй байт данных. После этого генерируется второй импульс пары, по приходу которого на мультивибраторы 1 и 2 выполняются те же действия, только теперь дополнительно запускается лазер после измерения исходного напряжения на фотодиоде (третий и четвертый байты данных). Четвертый байт соответствует напряжению на фотодиоде после засветки излучением лазера и фоном. Дальше в компьютере

выполняется вычисление энергии излучения лазера по следующей формуле:

$$E_{\text{л}} = (E_{\text{л+ф}} - E_{\text{и}}) - (E_{\text{ф}} - E_{\text{и}}) = E_{\text{л+ф}} - E_{\text{ф}},$$

где  $E_{\text{л}}$  – значение энергии излучения лазера;  $E_{\text{л+ф}}$  – значение суммарной энергии излучения лазера и излучения фона;  $E_{\text{ф}}$  – значение энергии излучения фона;  $E_{\text{и}}$  – значение энергии, соответствующее исходному напряжению на фотодиоде.

При этом энергия фона отсчитывается при одном и том же времени засветки фотодиода, соответствующем интервалу накопления, что обеспечивается выбором длительностей импульсов мультивибраторов 1 и 2. Вместо лазера может запускаться введенный в устройство калибратор со светодионом, который выдает оптический импульс длительностью 1 мкс с достаточной для работы прибора интенсивностью. Для этого электрический импульс, подаваемый на светодиод, имеет амплитуду 50В, что значительно больше максимально допустимого постоянного напряжения. Однако ввиду незначительной длительности этого импульса светодиод надежно работает в этом режиме.

Принцип измерения энергии лазерного импульса с помощью измерения напряжения на обратном смещенном фотодиоде иллюстрируется осциллограммами, показанными на рисунках 2...5. На фотодиод подавалось излучение светодиода, который «зажигался» электрическими импульсами от наносекундного формирователя с длинной линией И1-7. На всех рисунках «а» - электрический импульс от формирователя, «б» - разность напряжений до и после засветки фотодиода, снимаемая с усилителя (рисунок 1). Приняты сокращения:  $M_{\text{г}}$  – масштаб по горизонтали для обеих разверток;  $M_{\text{в}}$  – масштаб по вертикали для нижней развертки (б);  $U_{\text{фл}}$  – напряжение заряда формирующей линии прибора И1-7;  $t$  – длительность электрического импульса от И1-7 и оптического импульса от светодиода.

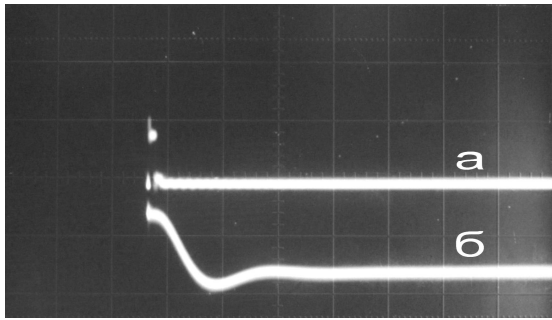


Рисунок 2 – Осциллограммы указанных параметров.  $M_{\Gamma} - 1 \text{ мкс/дел.}$   $M_{\text{В}} - 0,05 \text{ В/дел.}$   $U_{\text{ф.л}} = 200\text{В}; t = 100 \text{ нс}$

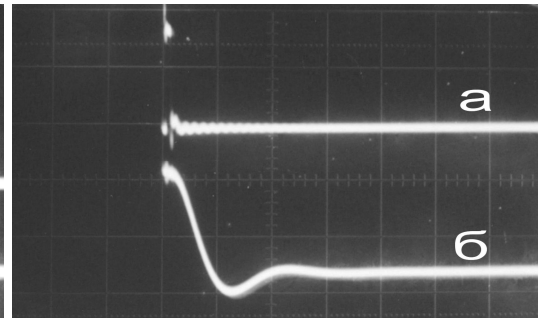


Рисунок 3 – Осциллограммы тех же параметров.  $M_{\Gamma} - 1 \text{ мкс/дел.}$   $M_{\text{В}} - 0,05 \text{ В/дел.}$   $U_{\text{ф.л}} = 100\text{В}; t = 100 \text{ нс.}$

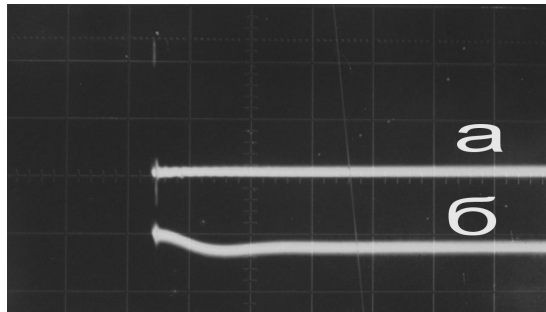


Рисунок 4 – Осциллограммы тех же параметров.  $M_{\Gamma} - 1 \text{ мкс/дел.}$   $M_{\text{В}} - 0,05 \text{ В/дел.}$   $U_{\text{ф.л}} = 200\text{В}; t = 10 \text{ нс.}$

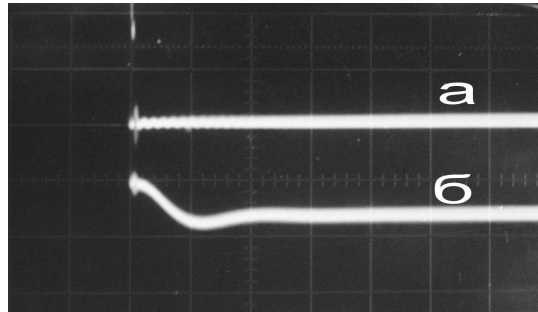


Рисунок 5 – Осциллограммы тех же параметров.  $M_{\Gamma} - 1 \text{ мкс/дел.}$   $M_{\text{В}} 0,05 \text{ В/дел.}$   $U_{\text{ф.л}} = 200\text{В}; t = 30 \text{ нс.}$

На рисунках 2...5 видно, что разность напряжений на фотодиоде, определяемая разрядом эквивалентного конденсатора, прямо пропорциональна напряжению заряда формирующей линии (амплитуде интенсивности оптического импульса светодиода) и длительности этого оптического импульса. Произведение указанных величин является энергией для прямоугольного импульса света, который имеет место в нашем случае. Отсюда можно сделать вывод о линейности измерителя энергии, которая экспериментально наблюдалась в динамическом диапазоне до 100 относительных единиц. При облучении фотодиода частью лазерного излучения для внесения минимальных потерь в оптический тракт ЛЛС разность напряжений на выходе усилителя до и после засветки фотодиода составляет единицы вольт, что соответствует номинальным значениям для АЦП.

#### **Выводы и перспективы развития данного направления**

Таким образом, измерение энергии лазерного излучения для описываемого устройства выполняется полностью в промежутках

между импульсами, поступающими для запуска лазера от телескопа. Каждому запускающему передатчик ЛЛС импульсу соответствует выходной импульс лазера, без пропусков облучения космического объекта. Максимально допустимая частота запускающих импульсов составляет величину не менее 500 Гц, т.к. полное время одного измерения энергии лазерного импульса не превышает 2 мс. Обычно ЛЛС работают с лазерами, имеющими частоты следования выходных импульсов до 100 Гц. Введенный в устройство калибратор позволяет выполнять поверку прибора перед эксплуатацией с записью результатов в компьютер наряду с результатами измерений энергии лазерных импульсов во время работы станции.

В перспективе прибор будет являться частью измерительного комплекса для контроля функционирования всей системы, что приблизит ее по составу и возможностям к хорошо развитым в данном направлении радиолокационным станциям.

*Предложен быстродействующий измеритель энергии выходных импульсов передатчиков спутниковых лазерно-локационных станций (ЛЛС). Этот прибор, в отличие от других, не изменяет параметров ЛЛС, может работать вместе со станцией в реальном времени и вводить результаты измерений в компьютер.*

*The fast-acting energy measuring device of transmitters' output impulses of the satellite laser-locating stations (LLS) is offered. This device, unlike other, does not change the parameters of LLS, can work together with the station in real time and enter the results of measurements in a computer.*

#### **Библиографический список.**

1. Денищик Ю.С., Дрюченко А.М., Нагай И.В. Лазерная локация спутников // Вісник астрономічної школи. – К.: Видавництво Національного авіаційного університету. – 2002. – Т.3, №2. – С. 58-69.
2. Шургалін М.В. Измеритель энергии импульсов оптического излучения // Приборы и техника эксперимента. – М.: Издательство Академии наук СССР. – 1992. – № 5. – С. 175 – 177.

*Рекомендовано к печати  
д. т. н., проф. Зеленовым А.Б.*