

УДК 681.78

DOI:10.17586/1023-5086-2018-85-06-53-57

Стенд для исследования возможности использования матричных фотоприёмников видимого диапазона в составе активно-импульсных приборов наблюдения

© 2018 г. **Д. В. Алантьев; А. А. Голицын; А. В. Голицын; Н. А. Сейфи**

Филиал Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

E-mail: aag-09@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.02.2018

Сообщается о разработке прибора-стенда для исследования возможностей матричных ПЗС- и КМОП-фотоприёмников. Стенд позволяет управлять фотоприёмниками при помощи сигналов произвольной формы, синхронизировать фотоприёмники с лазерным излучателем, получать изображения с фотоприёмников и передавать его на внешние устройства. Проведённые на стенде эксперименты показали, что в составе активно-импульсных приборов наблюдения могут быть использованы ПЗС-фотоприёмники со строчным переносом без использования электронно-оптического преобразователя в качестве затвора.

Ключевые слова: активно-импульсные приборы, ПЗС-фотоприёмник, лазерный излучатель, прибор-стенд, реконфигурируемая система.

Коды OCIS: 040.1490, 110.0115.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных элементов конструкции активно-импульсных приборов наблюдения является быстродействующий затвор, позволяющий точно синхронизировать работу фотоприёмника с импульсным излучателем. Необходимость быстрого срабатывания с точностью до десятков наносекунд обусловлена малой длительностью импульсов подсветки, которая значительно меньше времени распространения света от прибора наблюдения до наблюдаемых объектов и обратно. Традиционно в качестве быстродействующего затвора используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП) [1–3], одновременно являющийся усилителем яркости.

В то же время, функцией «электронного затвора», предназначенной для управления временем экспозиции, обладают и многие современные матричные фотоприёмники видимого диапазона. Его использование для реализации активно-импульсного метода наблюдения может позволить отказаться от внешнего затвора на основе ЭОП, что, в свою очередь, приведёт к уменьшению массогабаритных характеристик прибора, т.к. в этом слу-

чае помимо самого ЭОП из конструкции прибора исключается также проекционная оптическая система, необходимая для согласования экрана ЭОП с фотоприёмником. Кроме того, при отказе от ЭОП появляется возможность использования фотоприёмников с большим разрешением и возможность наблюдения цветного изображения.

Для исследования возможности использования ПЗС- или КМОП-фотоприёмников в составе активно-импульсного прибора наблюдения без ЭОП был спроектирован прибор-стенд. Основная цель исследований на стенде — выяснить, можно ли, и если можно, то каким способом, управлять фотоприёмником, чтобы с его помощью получать изображение синхронно с лазерным излучателем, подсвечивающим сцену, и при этом обеспечить необходимую задержку, равную времени распространения света до объектов наблюдения и обратно.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Схема прибора-стенда показана на рис. 1. Механически устройство состоит из жёсткого основания 1 и трёх печатных плат, соединённых друг

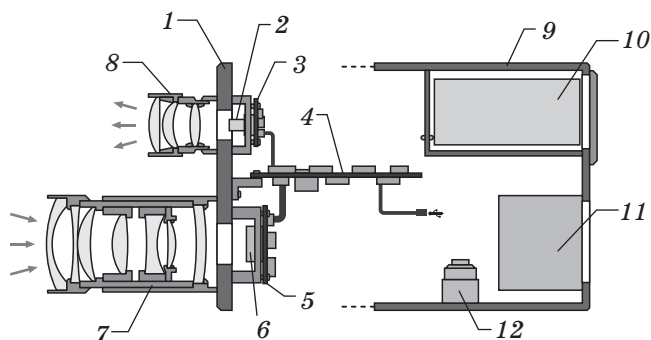


Рис. 1. Схема прибора-стенда. Обозначения в тексте.

с другим кабелями-шлейфами: платы излучателя 3 с установленным на ней лазерным излучателем 2, платы видеобработки 4, платы фотоприёмника 5 с установленным на ней фотоприёмником. На этом же основании закреплены два объектива 7 и 8, один из которых предназначен для фотоприёмника, другой для лазерного излучателя. Для проведения экспериментов в полигонных условиях также предусмотрен кожух 9 с устанавливаемой в нём аккумуляторной батареей 10, модулем микромонитора 11, герметичными разъёмами 12, через которые осуществляется передача изображения на персональный компьютер, и кнопки управления (на рисунке не показаны).

В лабораторных условиях кожух не используется, управление стендом осуществляется при помощи персонального компьютера, а вывод изображения осуществляется только на компьютер без использования микромонитора. При этом подключение компьютера и источника питания к стенду осуществляется напрямую к платам стенда без использования герметичных разъёмов. На рис. 2 приведены фотографии прибора-стенда без кожуха и с кожухом.

Излучатель выполнен на базе импульсного полупроводникового лазерного диода производства Perkin Elmer с выходной импульсной мощностью 200 Вт при длительности импульса 120 нс с частотой повторения импульсов 10–15 кГц. В конструкции использовался диод с длиной волны излучения 905 нм. Такая длина волны была выбрана из двух соображений: обеспечение максимально

возможной безопасности прибора для человеческого глаза и обеспечение возможности наблюдения отражённой подсветки самим прибором, что ограничивается спектральной чувствительностью используемого фотоприёмника. Объектив излучателя имеет переменное фокусное расстояние от 12 до 25 мм, изменяемое вручную в зависимости от дальности подсветки. При наблюдении на ближних дистанциях (до 200 м) объектив обеспечивает максимально широкое поле подсветки, а при наблюдении на дальние дистанции (до 800 м) поле подсветки наоборот устанавливается максимально узким. Такое перестроение необходимо для концентрации энергии на большие дальности, что связано с ограниченной мощностью используемого лазера, и для обеспечения широкого поля подсветки на расстояниях, когда мощность излучателя является избыточной. Лазерный излучатель и элементы, обеспечивающие его питание, выполнены на отдельной плате, чтобы обеспечить простоту юстировки излучателя по вертикали и горизонтали относительно поля зрения прибора за счёт возможности небольших перемещений платы с закреплённым на ней лазерным диодом относительно основания.

Плата видеобработки — основная плата прибора-стенда, обеспечивающая управление фотоприёмником, управление лазерным излучателем, получение кадров изображения, обработку наблюдаемого изображения, преобразование изображения к виду, пригодному для наблюдения, восприятие команд оператора и передачу изображения на внешние устройства, такие как персональный компьютер или монитор. На плате располагается процессор обработки изображений, разработанный на принципах архитектуры реконфигурируемой высокопроизводительной системы [4] и представляющий собой работающие в связке программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), сигнальный процессор и элементы памяти. Универсальная адаптируемая архитектура процессора на базе реконфигурируемой системы позволяет применять его с различными типами фотоприёмников с незначительными изменениями аппаратной части прибора, касающимися только изменения аналогового блока электроники, зависящего от схемы подключения фотоприёмника, и незначительными изменениями программного обеспечения. Такой способ построения приборов наблюдения хорошо зарекомендовал себя ранее [5, 6] при проектировании иных устройств получения и обработки изображений. Плата видеобработки является аппаратно независимой. Все изменения, связанные с количеством и формой управляющих сигналов различными фотоприёмниками на плате, реализуются программно, а все аппаратно зависимые элементы тракта получения изображения вынесены на отдельную плату, на ко-

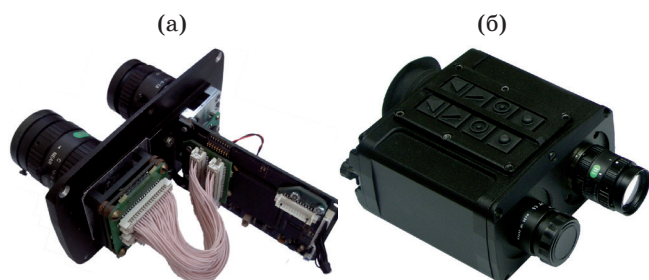


Рис. 2. Внешний вид прибора-стенда.

торой располагается фотоприёмник. Количество соединительных сигнальных двунаправленных проводников между обеими платами предусмотрено с запасом (60 штук), что является избыточным для большинства существующих КМОП- и ПЗС-фотоприёмников с учётом использования ПЗС-процессора, имеющих один канал для вывода изображения. Помимо процессора обработки изображений на плате располагаются источники питания прибора-стенда и компоненты, обеспечивающие взаимодействие прибора с персональным компьютером по шине HighSpeed USB 2.0.

Плата фотоприёмника — единственная аппаратно зависимая плата прибора-стенда. Для каждого исследуемого фотоприёмника спроектирована отдельная плата, так как фотоприёмники имеют разные корпуса, и им необходимо разное количество управляющих сигналов, разные напряжения питания и т.д. На плате располагается как сам фотоприёмник, так и необходимые для его работы вспомогательные компоненты, включая цепи питания, ПЗС-процессор (при его наличии), преобразователи уровней и различные дискретные элементы. Для экспериментов было спроектировано несколько плат с КМОП- и ПЗС-фотоприёмниками разных моделей.

В качестве объектива для фотоприёмника в конструкции прибора-стенда может быть использован

любой серийный объектив с резьбовым соединением C-Mount. В частности, для исследований использовались объективы Computar M5018 с фокусным расстоянием 50 мм при относительном отверстии 1:1,8 и Computar H5Z2518C-MP с переменным фокусным расстоянием от 25 до 135 мм при относительном отверстии 1:1,8.

Дополнительно для работы со стендом в условиях сильной освещённости может использоваться узкополосный светофильтр, рассчитанный на длину волны используемого лазерного излучателя.

Технические характеристики изделия приведены в таблице.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СТЕНДЕ

Управление стендом, а также визуализация получаемого изображения осуществляется на персональном компьютере через специально разработанное для этих целей приложение [7]. Отличительной особенностью стенда является возможность конфигурации его программной части в реальном времени по желанию оператора и возможность управлять исследуемыми фотоприёмниками при помощи сигналов произвольной формы.

Эксперименты показали, что для использования в составе активно-импульсных приборов наблюдения могут быть применены ПЗС-фотоприёмники со строчным переносом, если управлять ими с учётом особенности их конструкции — наличия изолированной секции переноса зарядов. Этой секцией можно воспользоваться для суммирования отдельных кадров изображения, каждый из которых может быть получен с заданной задержкой относительно срабатывания лазерного излучателя, без их считывания и предварительной оцифровки. Более подробно способ описан в [8, 9].

Апробация способа осуществлялась на нескольких типах ПЗС-фотоприёмников со строчным переносом и в различных условиях. Использовались матричные ПЗС-фотоприёмники производства Sony ICX445ALA и ICX618ALA с прогрессивной развёрткой и фотоприёмники ICX659ALA и ICX279AL с чересстрочной развёрткой. При управлении стендом устанавливались значения времени задержки получения отражённого импульса подсветки и проверялось, перестанут ли давать блик наблюдаемые объекты, если задать время задержки большее, чем время, необходимое свету на прохождение расстояния до объектов и обратно. В качестве наблюдаемых объектов использовались катафоты, установленные на разных расстояниях от наблюдателя. Для наблюдений в условиях освещённости «солнечный день» на расстоянии 300 метров оказалось достаточно 15–20 импульсов лазерного излучателя, чтобы блики были различимы и не маскировались фоном. Для наблюдения

Технические характеристики прибора-стенда

Длина волны излучателя	905 нм
Импульсная мощность излучателя	200 Вт
Длительность импульса	120 нс
Частота импульсов	10–15 кГц
Соединение объективов	C-Mount
Тип исследуемого фотоприёмника	ПЗС или КМОП
Количество конфигурируемых сигналов	60
Кадровая частота, не менее	25 кадров/с
Разрешение изображения (зависит от используемого фотоприёмника)	до 1280×960
Соединение с компьютером	HighSpeed USB 2.0
Скорость передачи видеопотока	до 30 Мбит/с
Основное напряжение питания	5–12 В
Средняя потребляемая мощность	до 2,5 Вт
Рабочий температурный диапазон	от –40 до +50 °С
Габаритные размеры без объективов	200×200×50 мм



Рис. 3. Примеры наблюдаемых изображений.

бликов на расстоянии 800 метров потребовалось 70–90 импульсов. В условиях освещённости «сумерки» потребовалось меньшее число импульсов подсветки: примерно 5–7 для расстояния 300 метров и 15–25 для расстояния 800 метров соответственно, но при этом потребовалось реализовать комбинированный режим наблюдения, чтобы увеличить время экспозиции без подсветки для получения приемлемых изображений фона. На рис. 3 представлены примеры наблюдаемых изображений. Условия наблюдения — ясный день. При установке дальности наблюдения 100 м блик дают две мишени, расположенные на расстоянии 100 и 180 м от наблюдателя. Блики обведены для наглядности. При установке дальности 150 м блик даёт только мишень, расположенная на расстоянии 180 м, а расположенная ближе мишень не бликует. Таким образом, возможность отсекал отражённый свет лазерного излучателя, приходящего от объектов, которые находятся ближе заданного расстояния, и возможность наблюдения в одном кадре нескольких отражённых импульсов подсветки при управлении ПЗС-фотоприёмником со строчным переносом была подтверждена экспериментально.

Укажем также, что КМОП-фотоприёмники для работы в подобном режиме непригодны, поскольку их конструкция изначально не предполагает получения нескольких сигналов «считывание» в одном кадре, и каждый последующий сигнал «считывание» формирует отдельный новый кадр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирован прибор-стенд, позволяющий управлять матричными фотоприёмниками видимого диапазона произвольными, недокументированными способами. Проведённые на стенде эксперименты показали, что активно-импульсный метод наблюдения может быть реализован на ПЗС-фотоприёмниках со строчным переносом при управлении ими с учётом их конструктивной особенности — наличия двух независимых секций, что, в свою очередь, позволяет построить на их основе активно-импульсные приборы наблюдения без использования электронно-оптического преобразователя, что обеспечивает существенное снижение массогабаритных параметров прибора и его стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горобец В.А., Кабанов В.В., Кабашников В.П., Кунцевич Б.Ф., Метельская Н.С., Шабров Д.В., Активно-импульсные системы видения и алгоритмы определения расстояний до объектов // Журнал прикладной спектроскопии. 2014. Т. 81. № 2. С. 283–291.
2. Голицын А.В., Журавлев П.В., Журов Г.Е., Корякин А.В., Чихонадский А.П., Шлишевский В.Б., Яшина Т.В. Псевдобинокулярный многоканальный прибор обнаружения потенциальных угроз // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 6. С. 27–34.
3. Мищенко Н.И., Пустынский И.Н., Капустин В.В. Методы и средства повышения эффективности активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем мониторинга и обеспечения безопасности объектов // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2016. Т. 19. № 3. С. 42–46.

4. *Журов Г.Е., Цивинский М.Ю.* Универсальная модульная реконфигурируемая система для обработки сигналов тепловизионных и многоканальных приборов в реальном времени // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 5. С. 44–46.
5. *Голицын А.А., Сейфи Н.А.* Электронный модуль цифровой обработки изображения для устройства круглосуточного наблюдения // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. 2012. Т. 7. № 3. С. 129–136.
6. *Голицын А.А., Голицын А.В., Журов Г.Е., Цивинский М.Ю., Чибурун С.Д., Яшина Т.В.* Тепловизионный канал на базе неохлаждаемой матрицы микроболометров // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 6. С. 8–13.
7. *Голицын А.А.* Программный комплекс для управления тепловизионными и многоканальными приборами наблюдения по шине USB 2.0 // Апробация. 2015. № 11 (38). С. 10–12.
8. *Голицын А.А., Сейфи Н.А.* Способ активно-импульсного видения // Заявка на изобретение Российской Федерации № 2017100286 от 09.01.2017; решение о выдаче от 07.12.2017.
9. *Голицын А.А., Сейфи Н.А.* Активно-импульсный метод наблюдения с использованием ПЗС-фотоприёмника со строчным переносом // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 11. С. 1040–1047.