

Реализация активно-импульсного режима на ПЗС-матрице

А. А. Голицын, Н. А. Сейфи

Рассматривается способ реализации активно-импульсного видения на основе ПЗС-фотоприемника со строчным переносом без использования электронно-оптического преобразователя, традиционно применяемого в активно-импульсных приборах в качестве быстродействующего затвора. Реализация активно-импульсного метода наблюдения достигается путем использования двухсекционной структуры ПЗС-фотоприемника и особым управлением переносом накапливаемых зарядов.

Ключевые слова: активно-импульсное видение, ПЗС-фотоприемник, электронно-оптический преобразователь, ограниченная видимость, видеонаблюдение.

Введение

Активно-импульсными приборами наблюдения называются приборы, принцип действия которых основан на методе стробирования по дальности. Метод основан на конечности скорости распространения света. Его суть заключается в том, что при наблюдении местность подсвечивается короткими по времени вспышками при помощи импульсного излучателя, и при этом фотоприемник прибора воспринимает отраженный свет с некоторой задержкой относительно срабатывания излучателя. Таким образом, благодаря тому, что свет распространяется не мгновенно, фотоприемник не воспринимает свет подсветки, отраженный от объектов, находящихся ближе заданного расстояния, например, от частиц пыли или тумана, которые находятся между наблюдателем и интересующими наблюдателя объектами [1, 2].

Метод предложен академиком А. А. Лебедевым в 1936 г. [3]. За рубежом активно-импульсные приборы называются Gated Viewing Devices [4]. Устройства могут применяться для наблюдения в условиях ограниченной видимости при задымлении, в тумане и в условиях встречной засветки [1, 2, 5], а также в качестве лазерных локаторов оптических систем [1].

В качестве основного элемента подобных приборов используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП), который выполняет функцию быстродействующего затвора фотоприемника, синхронизирующего фотоприемник с излучателем и обеспечивающий необходимую задержку для наблюдения на заданное расстояние. Вместе с тем, существует ряд причин отказаться от использования ЭОП в конструкции активно-импульсных приборов, основные из которых – это необходимость уменьшения массы и габаритов, а также уменьшение стоимости прибора. В работах [2, 6] описана возможность реализации активно-импульсного метода наблюдения без использования ЭОП в конструкции прибора наблюдения при использовании особенностей конструкции ПЗС-фотоприемника со строчным переносом.

Целью данной работы являлась демонстрация примера практической реализации активно-импульсной системы без ЭОП на базе фотоприемника ICX618.

Требования, предъявляемые к фотоприемнику

Для синхронизации фотоприемника и импульсного излучателя фотоприемник должен обладать функцией электронного затвора. Большинство современных ПЗС- и КМОП-фотоприемников обладают этой функцией, уже используемой для управления длительностью экспозиции кадров изображения. Как таковой затвор в их конструкции отсутствует – управляющие сигналы фотоприемника позволяют лишь изменять время от принудительного стирания накопленных зарядов до момента считывания их оцифровывающей системой, но не закрывать фотоприемник от поступающего на него потока излучения. Однако ис-

Голицын Александр Андреевич¹, старший инженер-электроник.

Сейфи Наталья Андреевна^{1,2}, инженер, аспирант.

¹ Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ».

Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 2/1.
E-mail: aag-09@yandex.ru

² Новосибирский государственный технический университет.
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2017 г.

пользуя функцию электронного затвора, можно синхронизировать фотоприемник и импульсный излучатель, и тем самым отсечь свет, отраженный от предметов, находящихся ближе заданного расстояния.

Как показано в работе [2], не всякий фотоприемник при наличии функции электронного затвора может быть использован в активно-импульсном приборе наблюдения без ЭОП. Дело в том, что ЭОП используется в конструкции прибора не только как быстродействующий затвор, но является еще и усилителем яркости. Поэтому без использования ЭОП при наблюдении единичного отраженного импульса подсветки длительностью 100...150 нс времени экспозиции оказывается не достаточно для получения кадра изображения приемлемого качества. За счет того, что уровни полезного сигнала каждого пикселя изображения на выходе фотоприемника не превышают уровня квантования АЦП и собственных шумов фотоприемника, положительного результата не удается добиться, в том числе и при наблюдении нескольких импульсов отдельными кадрами с последующим их суммированием. Наблюдение же нескольких импульсов в одном кадре приводит к тому, что синхронизованным оказывается только первый отраженный импульс, а вместе с остальными на фотоприемник приходит излучение, отраженное от всех объектов, находящихся между прибором и объектом наблюдения, т. е. сам принцип стробирования по дальности оказывается не реализованным. Таким образом, для построения активно-импульсного прибора наблюдения без ЭОП необходим такой фотоприемник, который позволяет суммировать фактически отдельные кадры изображения, но до их оцифровывания.

Конструктивные особенности ПЗС-фотоприемника со строчным переносом

Большинство современных ПЗС-матриц со строчным переносом имеют похожую структуру, упрощенное изображение которой представлено на рис. 1.

В описываемой структуре имеются две секции: *секция накопления* (на рис. 1 отмечена серым цветом) и *секция переноса* (на рис. 1 отмечена голубым цветом). *Секция накопления* состоит из отдельных ячеек – пикселей, в которых благодаря фотоэлектрическому эффекту при попадании света на поверхность матрицы накапливаются заряды. Чем интенсивнее световой поток, в течение некоторого времени приходящий на конкретный пиксель, тем больший заряд в нем за это время накапливается. Накопленные заряды могут быть либо обнулены с помощью сигнала сброса («стира-

ние»), либо перемещены в *секцию переноса* путем подачи соответствующих управляющих потенциалов. Порядок подачи потенциалов, а также их величины определяются производителем конкретного фотоприемника и описаны в документации на него. Отличительной особенностью ПЗС-фотоприемников со строчным переносом является то, что заряды из секции накопления в секцию переноса перемещаются во всех ячейках одновременно, в отличие от ПЗС-фотоприемников с кадровым переносом.

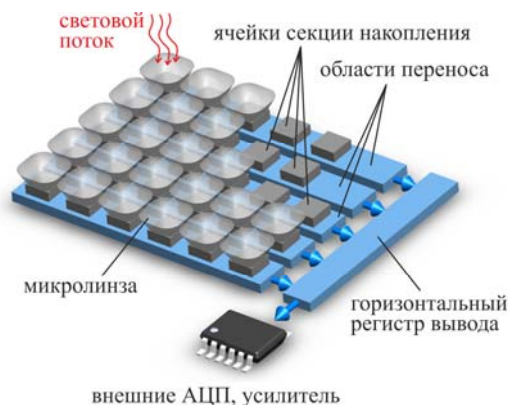


Рис. 1. Типовая структура матричного ПЗС-фотоприемника со строчным переносом.

Секция переноса используется для последовательной передачи зарядов на выход фотоприемника. Иногда в литературе эту секцию называют *буферной секцией*, так как она изолирована от поверхности фотоприемника, и во время экспозиции величины зарядов в ее ячейках не изменяются. Секция переноса состоит из *горизонтального регистра вывода* и *области вертикального переноса* зарядов. Горизонтальный регистр вывода необходим для поочередного вывода значений пикселей строки, выводимой в данный момент времени наружу матрицы, а область вертикального переноса зарядов предназначена для поочередной передачи строк изображения в горизонтальный регистр вывода.

Последовательность получения кадра изображения такая. В начальный момент времени в секции накопления заряды отсутствуют. Через некоторое время, называемое временем экспозиции, накопившиеся заряды из ячеек секции накопления необходимо переместить в ячейки секции переноса (буферной секции). Для этого на часть ячеек буферной секции подается положительный потенциал, обычно +10...+15 В, под действием которого заряды из ячеек секции накопления переходят в ячейки буферной секции. Как только положительный потенциал перестает подаваться, в ячейках секции накопления вновь начинают накапливаться заряды уже нового кадра. Затем происходит по-

очередная подача и снятие отрицательных потенциалов на ячейки буферной секции таким образом, чтобы заряды перемещались из одной ячейки в другую. Для управления временем экспозиции и с целью защиты от перенасыщения на секцию накопления может подаваться управляющий потенциал, обычно равный +20 В, обеспечивающий обнуление накопленных зарядов. Соответственно, время экспозиции кадра изображения равняется времени от последнего импульса стирания до импульса, обеспечивающего перемещение зарядов в буферную секцию.

Количество потенциалов, управляющих переносом зарядов в буферной секции, их численные величины и порядок их отличаются у ПЗС-матриц различных производителей. Диаграммы подачи напряжений на соответствующие выходы обычно изображены в документации. В качестве примера на рис. 2 приведены управляющие диаграммы

ПЗС-фотоприемника со строчным переносом ICX618 производства Sony в соответствии с документацией [7]. При общем количестве строк ПЗС-фотоприемника равном N , в данном примере время экспозиции равняется времени, необходимому на вывод четырех строк. Красным цветом отмечен момент переноса зарядов из секции накопления в буферную секцию. Значения напряжений на входах $V1...V4$ в моменты вертикального переноса составляют от $-5,5$ В до 0 В, в момент считывания напряжения $V2$ и $V3$ составляют +15 В, а напряжение на входе SUB принимает значения от 0 В до +20 В. Для наглядности диаграммы представлены без соблюдения масштаба. В реальной системе времена между вертикальными переносами каждой строки, необходимые для горизонтального переноса, существенно превышают времена вертикальных переносов.

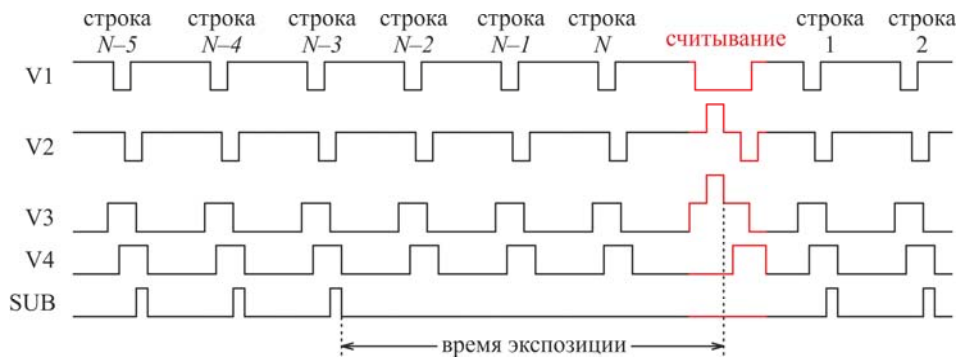


Рис. 2. Диаграммы управления ПЗС-фотоприемником ICX618. Пояснения в тексте.

Управление недокументированным способом

Документацией на ПЗС-фотоприемники предписывается подавать управляющие вертикальным переносом сигналы в соответствии с диаграммами, представленными на рис. 2, с незначительными отличиями для разных моделей. Например, у фотоприемника ICX659 положительный потенциал +15 В подается на входы $V1$ и $V3$, а ПЗС-матрицам серии ICX445 для полноценной работы помимо сигналов управления вертикальным переносом $V1...V4$ требуются дополнительные сигналы $VHLD$ и VST . ПЗС-фотоприемники, имеющие несколько горизонтальных регистров вывода для повышения скорости считывания имеют большее число управляющих вертикальным переносом входов. Кроме того, различным фотоприемникам требуются различные значения отрицательных напряжений сигналов $V1...V4$. При этом общий принцип управления всеми ПЗС-фотоприемниками со строчным переносом аналогичен описанному, поэтому приведенные в даль-

нейшем действия с ICX618 могут быть выполнены с любым другим ПЗС-фотоприемником со строчным переносом.

Так как для реализации активно-импульсного способа наблюдения необходимо обеспечить наблюдение нескольких отраженных импульсов подсветки в одном кадре, но при этом обеспечить фильтрацию света, приходящего на фотоприемник раньше заданного времени и тем самым отсечь свет, отраженный от предметов, находящихся ближе заданного расстояния, возникла идея использовать буферную секцию не только для вертикального перемещения зарядов, но и для суммирования зарядов, получаемых при наблюдении нескольких отраженных импульсов подсветки. В этом случае диаграммы управления отличаются от указанных в документации.

Весь процесс получения кадра изображения условно делится на четыре этапа. Первый этап – подготовка получения кадра. На этом этапе на управляющие входы $V1...V4$ подаются сигналы такой формы, какая указана в документации на фотоприемник [7] до подачи положительных по-

тенциалов, обеспечивающих перенос зарядов из секции накопления в буферную секцию.

Второй этап – наблюдение отраженного импульса подсветки. Вместо подачи на входы фотоприемника V2 и V3 положительных потенциалов считывания, как того требует документация [7], производится подсветка сцены однократным импульсом, а затем, с заданной задержкой, определяемой дальностью наблюдения, на фотоприемник подается сигнал стирания SUB, синхронизованный с импульсным излучателем. Наблюдается отклик импульса подсветки. Затем на входы фотоприемника V2 и V3 подаются положительные потенциалы для переноса полученных зарядов из секции накопления в буферную секцию. Затем, пользуясь тем, что секция накопления изолирована от буферной секции, производится повторная подсветка сцены с последующей последовательной подачей сигнала SUB и положительных потенциалов V2 и V3. По сигналу стирания SUB происходит обнуление секции накопления, но при этом перенесенные ранее в буферную секцию заряды, которые содержат информацию, полученную в момент наблюдения отклика от предыдущего импульса подсветки, остаются нетронутыми. В момент переноса зарядов, накопленных при наблюдении нового импульса подсветки, в буферную секцию, они складываются с уже имеющимися зарядами, полученными ранее. Подобная процедура повторяется несколько раз.

Затем наступает третий этап – завершение переноса зарядов из секции накопления в буферную секцию. На управляющие входы V1...V4 подаются сигналы той формы, которая описана в документации на фотоприемник после подачи положительных потенциалов на V2 и V3.

Четвертый этап – процесс вертикального переноса зарядов. На данном этапе происходит последовательный перенос зарядов в буферной секции из области вертикального переноса в горизонтальный регистр сдвига. Процедура не отличается от описанной в документации [7].

На рис. 3 приведены диаграммы управляющих сигналов V1...V4 и SUB, необходимые для реализации описанного способа управления фотоприемником, импульс излучателя подсветки и его отклик от наблюдаемых на заданном расстоянии объектов, с которым синхронизован задний фронт сигнала SUB. На рисунке обозначены $t_{изл}$ – период импульсов подсветки, определяемый техническими характеристиками лазерного излучателя; $t_{откл}$ – время отклика, время, необходимое для преодоления светом расстояния от прибора до наблюдаемого объекта и обратно, зависит от дальности наблюдения; $t_{нак}$ – время накопления светового потока при наблюдении единичного отклика, определяется длительностью импульса подсветки и минимальным по документации на ПЗС-фотоприемник временем между импульсами считывания V2/V3 и сигналом стирания SUB. Общее время накопления (экспозиции) для всего кадра составляет $t_{экспозици} = X \times t_{нак}$, где X – число импульсов подсветки, в примере, представленном на рис. 3, равное четырем. Диаграммы сигналов для наглядности изображены без соблюдения масштаба. В реальной системе период подсветки и времена между вертикальными переносами строк значительно превышают длительности импульсов переноса и считывания, а длительности импульса подсветки и, соответственно, импульса отклика существенно меньше времени отклика $t_{откл}$.

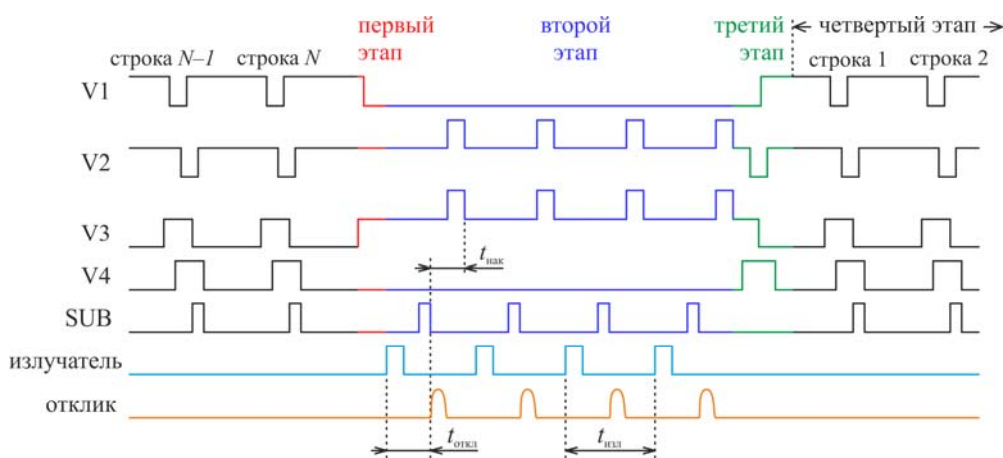


Рис. 3. Диаграммы управления ПЗС-фотоприемником ICX618 при реализации активнопериодического метода наблюдения. Пояснения в тексте.

Практическая апробация способа

Экспериментально проверка предложенного способа управления ПЗС-фотоприемником проверялась на стенде [8], представляющем собой три платы, соединенных между собой шлейфами, а именно: аппаратно зависимая плата, на которой располагается фотоприемник с прикрепленным к нему объективом, аппаратно независимая плата управления на базе сигнального процессора и программируемой логической интегральной схемы и плата лазерного излучателя. Управление системой, а также вывод изображения для его анализа и наблюдения осуществлялся на персональный компьютер по шине HighSpeed USB 2.0.

В качестве фотоприемников использовались ПЗС-матрицы производства Sony ICX445ALA и ICX618ALA с прогрессивной разверткой и ПЗС-матрицы ICX279AL-E и ICX659ALA с чересстрочной разверткой. Из-за того, что все упомянутые ПЗС-фотоприемники имеют разные корпуса, и им необходимы разные количество управляющих сигналов, для каждой из матриц были разработаны отдельные аппаратно зависимые платы. Также потребовались незначительные изменения программы, управляющей фотоприемниками, касающиеся изменений форм и количества управляющих сигналов при переходе от одного фотоприемника к другому. В качестве импульсного излучателя использовался полупроводниковый лазер QPGAS2S09H производства Perkin Elmer с длиной волны 905 нм, выходной импульсной мощностью 200 Вт при длительности импульса 120...150 нс и частотой повторения импульсов 10...15 кГц.

Способность отсекал свет, отраженный от предметов, находящихся ближе заданного расстояния, также проверялась следующим образом. В качестве наблюдаемых объектов использовались катафоты, установленные на различных расстояниях от наблюдателя. При наблюдении поочередно устанавливались соответствующие значения минимального расстояния подсветки (или, что эквивалентно, времени задержки между срабатыванием излучателя и управляющими ПЗС-фотоприемником сигналами обнуления и считывания) и проверялось, перестанут ли давать блик наблюдаемые мишени, если задать большую дальность, чем расстояние, на котором они находятся от наблюдателя. Например, при установленной дальности наблюдения 150 метров блики давали мишени, расположенные на расстоянии 200 и 300 метров, а у мишеней, расположенных на расстояниях 50 и 100 метров, блики не наблюдались.

При недостаточной или, наоборот, избыточной яркости бликов изменялось количество импульсов лазерного излучателя. Для наблюдений в условиях освещенности «солнечный день» на расстоянии 300 метров оказалось достаточно 15...20 импульсов лазерного излучателя, чтобы блики были различимы и не маскировались фоном. Для наблюдения бликов на расстоянии 800 метров в тех же условиях потребовалось 70...90 импульсов. При понижении окружающей освещенности, количество импульсов лазерного излучателя, необходимое для отчетливого наблюдения блика, уменьшается. Кадровая частота для всех ПЗС-фотоприемников (ICX445 с целью увеличения кадровой частоты был включен в режиме «центрального окна» с разрешением 1280×600 пикселей) составила не менее 25 Гц.

Заключение

В статье описан способ управления ПЗС-фотоприемниками со строчным переносом, позволяющий использовать их в составе активно-импульсных приборов наблюдения и лазерных локаторов оптических систем без использования в конструкции приборов электронно-оптических преобразователей. Приведены примеры управляющих диаграмм. Способ проверен на нескольких ПЗС-фотоприемниках различных конструкций, при этом практическая применимость предложенного способа подтверждена экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голицын А. А., Сейфи Н. А. / Материалы Двадцать третьей Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых ВНКФ-23 (Екатеринбург. 2017). С. 263.
2. Голицын А. А., Сейфи Н. А. // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 11. С. 1040.
3. Академик А. А. Лебедев. Избранные труды / отв. ред. Феофилов П. П. – Л.: Наука, 1974.
4. Gillespie L. F. // Journal of the Optical Society of America. 1966. Vol. 56. No.7. P. 883.
5. Laser Radar: Progress and Opportunities in Active Electro-Optical Sensing – The National Academies Press. Washington, D.C., 2014.
6. Голицын А. А., Сейфи Н. А. / Фотоника 2017: тезисы конференции (Новосибирск. 2017). С. 79.
7. ICX618ALA / Sony. [электронный ресурс] – <http://www.npk-photonica.ru/images/icx618ala.pdf>
8. Голицын А. А., Сейфи Н. А. / XII Междунар. конф. «Прикладная оптика 2016»: Сб. трудов. (Санкт-Петербург. 2016). С. 201.

The implementation of a gated viewing on the CCD matrix

A. A. Golitsyn¹ and N. A. Seyfi^{1,2}

¹ Design and Technology Institute of Applied Microelectronics,
a Branch of the Institute of Semiconductor Physics
2/1 Lavrentev av., Novosibirsk, 630090, Russia
E-mail: aag-09@yandex.ru

² Novosibirsk State Technical University
20 Marks av., Novosibirsk, 630037, Russia

Received November 20, 2017

The paper presents the implementation of a gated viewing on the interline transfer CCD image sensor without using an image intensifier commonly used in the gated viewing devices as a fast shutter. The implementation is achieved through the use of the two-piece structure of the CCD sensor and special management of charges transfer.

Keywords: gated viewing, CCD image sensor, image intensifier, limited visibility, CCTV.

REFERENCES

1. A. A. Golitsyn and N. A. Seyfi, in *Proc. XXIII Russian scientific conference of conference of students-physicists and young scientists* (Ekaterinburg, 2017), p. 263.
2. A. A. Golitsyn and N. A. Seyfi, *Izvestiya Vuzov. Priborostroenie* **60** (11), 1040 (2017).
3. *Academician A. A. Lebedev. Selected Works.* (Nauka, Leningrad, 1974) [in Russian].
4. L. F. Gillespie, *Journal of the Optical Society of America* **56** (7), 883 (1966).
5. *Laser Radar: Progress and Opportunities in Active Electro-Optical Sensing.* (The National Academies Press. Washington, D.C., 2014).
6. A. A. Golitsyn and N. A. Seyfi, in *Proc. Conf. Photonics 2017* (Novosibirsk, 2017), p. 79.
7. ICX618ALA / Sony. <http://www.npk-photonica.ru/images/icx618ala.pdf>
8. A. A. Golitsyn and N. A. Seyfi, in *Proc. XII International conference "Applied Optics"* (Saint-Petersburg. 2016), p. 201.