

Ячейка считывания матричного фотоприемного устройства ИК-диапазона для пассивного детектирования источников лазерного излучения

Н. А. Ларионов, И. С. Мощев, Н. Б. Залетаев

Представлена концепция ячейки считывания матричных фотоприемных устройств для детектирования лазерного излучения в ИК-диапазоне. Особенностью ячейки считывания является наличие детектора импульсного излучения, позволяющего восстановить форму сигнала. Использование такого подхода позволяет по форме и частоте сигнала определить тип объекта.

Ключевые слова: ФПУ, БИС считывания, ячейка считывания, детектор лазерного излучения.

Ссылка: Ларионов Н. А., Мощев И. С., Залетаев Н. Б. // Прикладная физика. 2020. № 4. С. 52.

Reference: N. A. Larionov, I. S. Moshchev, and N. B. Zaletaev, Prikl. Fiz., No. 4, 52 (2020).

Введение

В связи с широким применением лазерных излучателей инфракрасного диапазона в гражданской и военной технике, актуальна задача обнаружения или использования этого излучения для связи или синхронизации [1, 2]. Активно-импульсные ФПУ для систем лазерного наведения обнаруживают короткий лазерный импульс, отраженный от цели. ФПУ в режиме пассивного асинхронного детектирования – определяют наличие и расположение пришедших извне лазерных импульсов.

В данной статье приведено описание ячейки считывания для матричного детектора

лазерного излучения, используя рассматриваемую ячейку можно создавать карту, которая может быть использована для обнаружения источника излучения, а по форме и частоте лазерного излучения определять тип объекта.

Схемы детекторов лазерного излучения архитектурно делятся на два типа. Первый, активный, базируется на получение информации о дальности на основе отраженного от объекта излучения, где в качестве источника подсветки выступает лазер, входящий в состав прибора [3]. Недостатком метода является отсутствие возможности восстановить форму сигнала, а также наличие лазера в приборе, что делает сам прибор объектом для обнаружения. Второй режим использует метод восстановления формы полученного сигнала, частоты и амплитуды [4], такой способ предпочтительнее использовать в пассивных системах, т. к. с помощью него можно получить больше информации об источнике излучения. Однако данный метод так же не лишен недостатков, так как детектирование лазерного излучения происходит только в момент, когда оно направлено на фотоприемное устройство, так же точность такого метода зависит от частоты и количества выборок, т. к. это влияет на пространственно-временное разрешение восстановленного сигнала.

Ларионов Никита Александрович^{1,2}, инженер.

Мощев Иван Сергеевич¹, начальник дизайн-центра.

Залетаев Николай Борисович^{1,3}, в.н.с., доцент,
д.ф.-м.н.

¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

² Национальный исследовательский университет "МЭИ".

Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14.

³ Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет).

Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,
Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 12 августа 2020 г.

© Ларионов Н. А., Мощев И. С., Залетаев Н. Б., 2020

На рисунке 1 проиллюстрирована разница между этими двумя методами. Основной задачей первого метода (рис. 1, а) является обработка излучения, отраженного от этого объекта, чем и обусловлено наличие источника лазерного излучения в составе ФПУ.

Задачей предложенного метода (рис. 1, б) является получение информации об источнике лазерного излучения исходящего от самого объекта (частота и ширина лазерных импульсов) и его расположении.

Архитектура и принципы функционирования

В ИСС предлагается использовать входную ячейку гибридного типа, состоящую из

двух частей, структурная схема которой приведена на рисунке 2. В качестве ближайшего аналога рассматривалась схема, которая приведена в работе [5]. Входная ячейка считывания имеет ряд отличий от аналога и предназначена для фиксации лазерного излучения из сторонних источников, тогда как в рассматриваемом аналоге источник лазерного излучения входит в состав ФПУ. Так же ячейка имеет расширенный функционал за счет того, что помимо преобразования импульса фототока с фотодиода в импульс напряжения считывается постоянная составляющая сигнала, таким образом, одновременно выполняются функции тепловизора и детектора лазерного излучения.

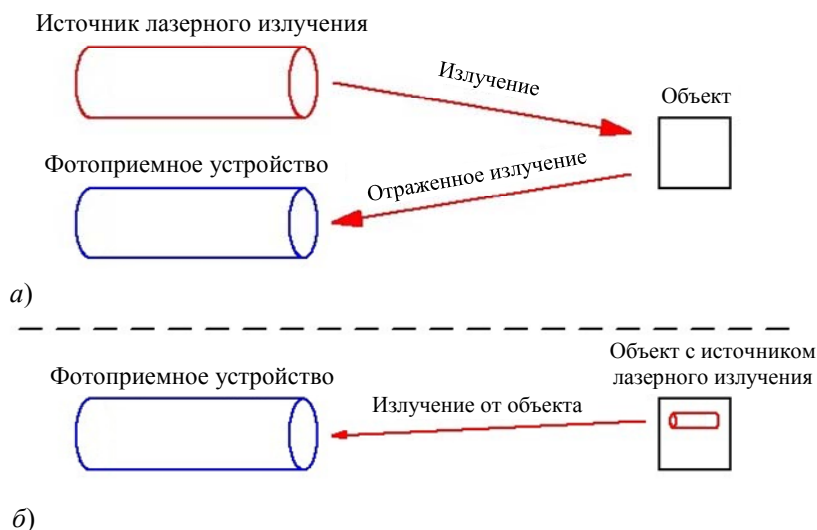


Рис. 1. Иллюстрация методов активного (а) и пассивного (б) обнаружения объектов с использованием источника лазерного излучения.

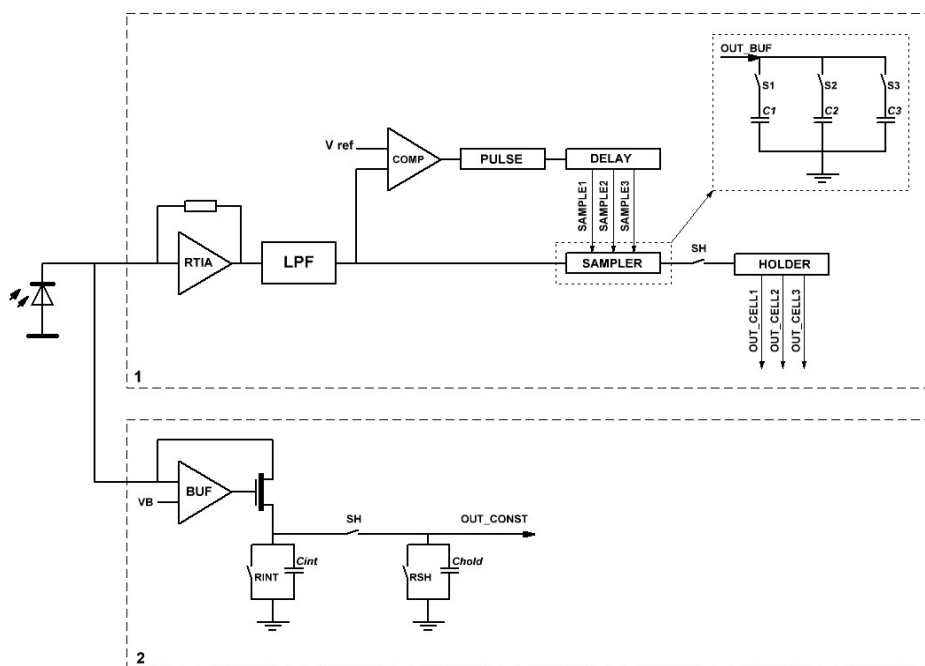


Рис. 2. Структурная схема ячейки считывания.

Сигнал с фотодиода проходит через трансимпедансный усилитель с резистором в обратной связи (RTIA), где преобразуется в напряжение, затем буферизируется и поступает на один из входов компаратора (COMP), если уровень сигнала больше чем значение опорного напряжения компаратора (V_{ref}), вырабатывается сигнал PULSE имеющий форму импульса напряжения, который затем проходит через цепь задержки. Таким образом, на выходах блока DELAY с заданной задержкой ($t_{d1..3}$) генерируются сигналы SAMPLE1..3 которые по очереди замыкают ключи S1..3, таким образом, происходит выборка значения напряжения на емкости C1..3 в блоке SAMPLER. После окончания времени кадра вырабатывается сигнал SH, по которому происходит считывание значений напряжения на емкости хранения в блоке HOLDER, а затем вывод этих напряжений на выход ИСС. Блок LPS – является фильтром высоких частот, который необходим для отсекающей постоянной составляющей.

Для выделения постоянной составляющей в отдельный сигнал параллельно включена схема с буферизированной прямой инжекцией (BDI), сигнал интегрируется на емкости C_{int} , которая предварительно сбрасывается в начале кадра ключом RINT, по окончании кадра происходит сброс емкости хранения C_{hold} и перенос напряжения на нее путем замыкания ключа SH. С помощью напряжения на VB задается уровень смещения. Выбор данного типа схемы обусловлен лучшими динамическими характеристиками, которые являются следствием ускоренной перезарядкой паразитной емкости фотодиода [6].

Иллюстрация процесса преобразования фототока в напряжение и выборка значений напряжения импульса приведена на рисунке 3, где t_{dc} – время срабатывания компаратора, $t_{d1..3}$ – задержка выборки, $V(C1..3)$ – напряжение на емкостях выборки.

Для увеличения кадровой частоты процесс считывания в ячейке организован по схеме IWR (интегрирование во время считывания), т. е. пока идет интегрирование импульса фототока и его перенос на емкости хранения, одновременно с этим происходит вывод информации полученной в предыдущем кадре.

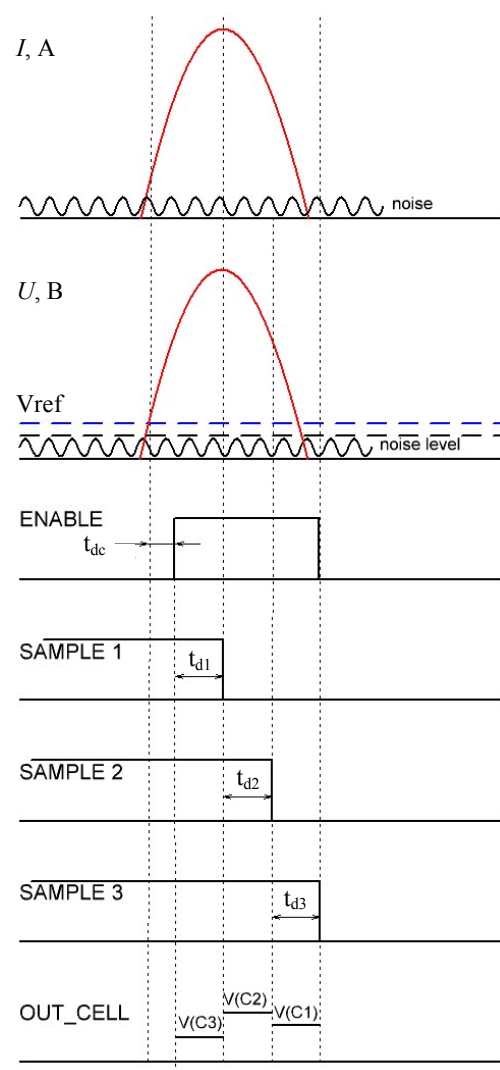


Рис. 3. Процесс работы преобразователь импульса фототока в импульс напряжения и выборку значений напряжения.

Минимальное время кадра (стробирования) можно выразить как:

$$T_{INT_MIN} = \left(\frac{(m \times n)}{k} + 4 \right) \times T_{CLK}$$

где $m \times n$ – разрешение по вертикали и по горизонтали, соответственно; k – количество выходов; T_{CLK} – период тактирующего импульса. Четыре служебных такта необходимы для сброса емкостей и переноса заряда с емкости накопления на емкость хранения.

Принимая во внимание, что устройству предстоит детектировать импульсы произвольной длины (в пределах заданного диапазона) для уменьшения количества емкостей и транзисторов-ключей, а так же выходов из

ячейки, предлагается сделать время задержки выборки (t_d) так, чтобы несколько первых выборок производились с малым временем, а последующие с большим. Таким способом можно достигнуть оптимальной точности, как при импульсе относительно малой длительности, так и при максимальной в пределах заданного диапазона. Суть предлагаемого решения приведена на рис. 4.

Результаты математического моделирования приведены на рис. 5. В качестве тестового сигнала был подан импульс фототока шириной 20 нс и амплитудой 40 мкА, который был преобразован в импульс напряжения амплитудой от 1,5 до 2,1 В, затем было осуществлено 8 выборок значений напряжений импульса на емкости хранения (CINT<1..8>) с интервалом 4 нс.

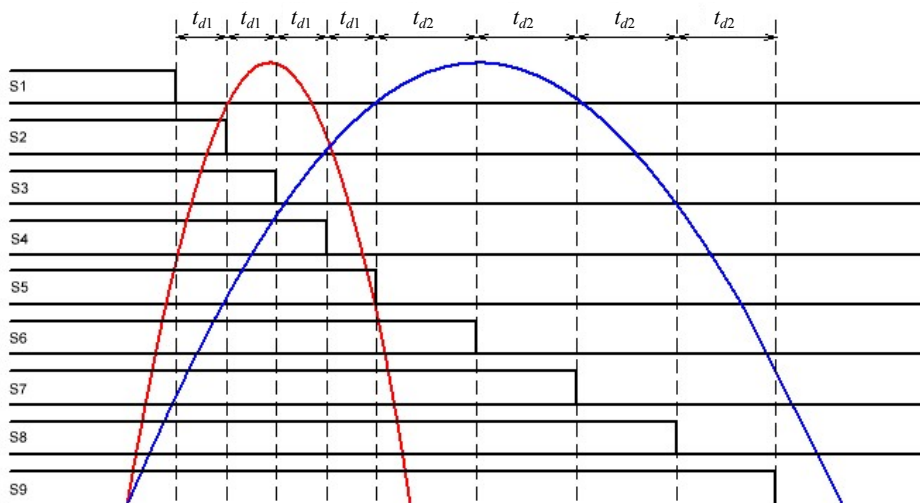


Рис. 4. Иллюстрация способа считывания импульса на емкости хранения с изменяемым временем выборки.

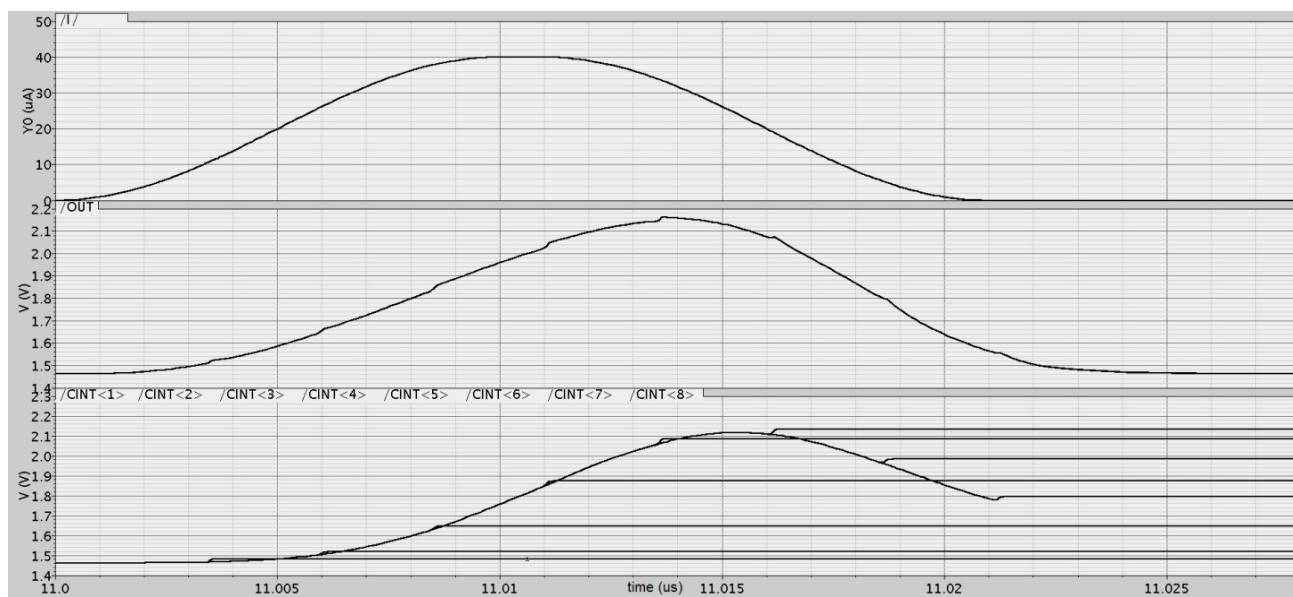


Рис. 5. Результаты моделирования схемы, иллюстрирующие преобразование импульса фототока в напряжение и выборку значений напряжения на емкости хранения.

Количество выборок в секунду и минимально возможная ширина лазерного импульса для детектирования в основном ограничивается конкретным технологическим процессом, на котором изготовлено конечное устройство. Устройство, приведенное в [5] и изготовленное по стандартному CMOS про-

цессу 180 нм, показало успешные результаты для импульсов шириной 10 нс и частотой 150 МГц, при этом выборка производилось с задержкой от 0,3 до 1 нс. В [7] использование 180 нм SiGe BiCMOS технологии позволило преобразовать импульс фототока частотой 500 МГц и шириной 0,3 нс.

Заключение

В данной работе рассмотрен альтернативный взгляд на детектирование источников импульсного лазерного излучения, относительно метода применяемого в ранее разработанном устройстве, описанном в [3]. Предложена оригинальная ячейка считывания, в качестве нововведения отличающего данную схему от аналогов, в ячейку считывания предложено добавить схему для фиксации постоянной составляющей. Гибкое сочетание тепловизионного режима и детектора лазерного излучения позволяет получить максимум информации о наблюдаемых объектах. Так же предложен способ, позволяющий уменьшить количества емкостей и транзисторов-ключей, используя который можно расширить диапазон ширины детектируемых импульсов, без увеличения размеров ячейки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kentaro Yoshioka, Hiroshi Kubota, Tomonori Fukushima, et al. // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2018. Vol. 53. № 11. P. 3026.
2. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum // IEEE Access. 2017. Vol. 5. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2755678
3. Бурлаков И. Д., Кузнецов П. А., Моцев И. С., Болтарь К. О., Яковлева Н. И. // Успехи прикладной физики. 2017. Т. 5. № 4. С. 383.
4. Kotake N., et al. // SPIE Defense, Security and IEICE Electronics Express, Vol. *. No. *, Sensing. International Society for Optics and Photonics 8379 (2012) 8379.
5. Xianzhao Xia, Mao Ye, Jiaji He, et al. // IEICE Electronics Express. January 2019. Vol. *. No. *. P. 1.
6. Кузнецов П. А., Моцев И. С. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 2. С. 163.
7. Sachin P. Namboodiri, Gonzalo Arteaga, et al. // A Current-Mode Photon Counting Circuit for Long-Range LiDAR Applications / IEEE 63rd International Midwest Symposium on Circuits and Systems. 2020. August 9–12, pp. 146–149.

PACS: 85.60 Dw

A reading cell for an IR array photodetector designed for passive detection of laser radiation sources in space

N. A. Larionov^{1,2}, I. S. Moshchev¹, and N. B. Zaletaev^{1,3}

¹ Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

² National Research University "Moscow Power Engineering Institute"
14 Krasnokazarmennaya st., Moscow, 111250, Russia

³ Moscow Institute of Physics and Technology
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

Received August 12, 2020

This paper presents concept of pixel for ROIC. A feature of the pixel is the availability of a pulse radiation detector, allow restore the shape of the pulse signal. Using this approach, can determine the type of object by the shape and frequency of the signal.

Keywords: FPA, ROIC, pixel, LIDAR.

REFERENCES

1. Kentaro Yoshioka, Hiroshi Kubota, Tomonori Fukushima, et al., IEEE Journal of Solid-State Circuits **53** (11), 3026 (2018).
2. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum, IEEE Access **5** (2017), DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2755678
3. I. D. Burlakov, P. A. Kuznetsov, I. S. Moschev, K. O. Boltar, and N. I. Yakovleva, Usp. Prikl. Fiz. **5** (4), 383 (2017).
4. N. Kotake, et al., SPIE Defense, Security and IEICE Electronics Express, Vol. *, No. *, Sensing. International Society for Optics and Photonics 8379, 8379 (2012).
5. Xianzhao Xia, Mao Ye, Jiaji He, et al., IEICE Electronics Express, Vol. *, No. *, 1 (2019).
6. P. A. Kuznetsov and I. S. Moschev, Usp. Prikl. Fiz. **2** (2), 163 (2014).
7. Sachin P. Namboodiri, Gonzalo Arteaga, et al., *A Current-Mode Photon Counting Circuit for Long-Range LiDAR Applications* (IEEE 63rd International Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2020. August 9–12), pp. 146–149.