

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 53.082.52 + 53.087.25

# УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ TV-ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ ВЕЛИЧИН ИНТЕНСИВНОСТЕЙ И РЕАЛИЗАЦИЕЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЪЕМКИ

© 2019 г. П. В. Аракчеев<sup>а</sup>, Е. В. Бурый<sup>а,\*</sup>, Д. А. Семеренко<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1

\* e-mail: buryi@bmstu.ru

WEB: www.llis.bmstu.ru

Поступила в редакцию 26.04.2018 г.

После доработки 26.04.2018 г.

Принята к публикации 03.06.2018 г.

Описано устройство, обеспечивающее регистрацию черно-белых изображений, формируемых аналоговой телевизионной камерой, с преобразованием интенсивностей дискретных пространственных отсчетов изображения в 10-разрядный цифровой код. Отмечена целесообразность и изложен способ визуализации полученных изображений с высоким разрешением величин интенсивностей на экране типового монитора, обеспечивающий передачу более 1000 полутонов серого. Описан способ реализации стробоскопического режима съемки физических процессов, инициируемых воздействием электрических импульсов источника сигналов, и представлены результаты его применения для анализа тепловых процессов, происходящих в матрице полупроводниковых лазерных диодов.

DOI: 10.1134/S0032816218060216

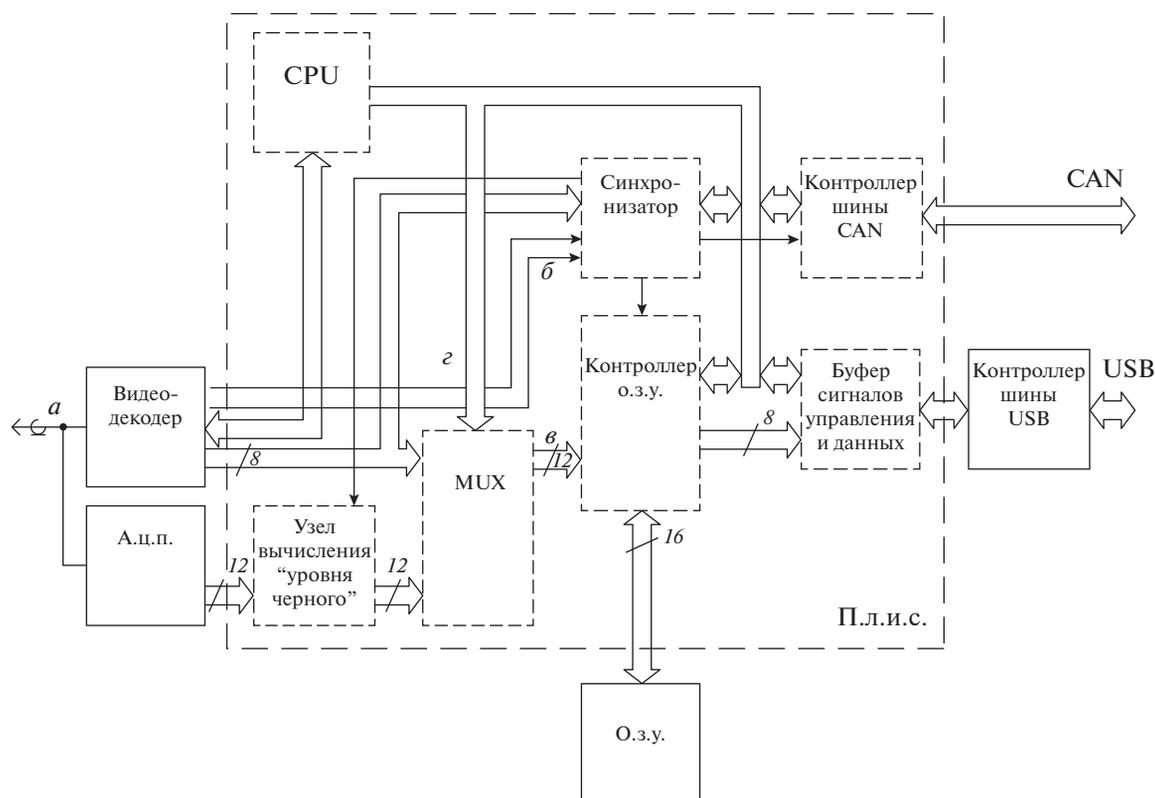
### ВВЕДЕНИЕ

Регистрация изображений осциллограмм, получаемых на экранах специализированных осциллографов, изображений треков частиц в поглощающих камерах, изменяющихся во времени распределений интенсивностей полей оптического излучения, широко используется при проведении физических экспериментов. Средой регистрации этих изображений, обеспечивающей динамический диапазон регистрации интенсивности излучения не хуже 60 дБ, по-прежнему служит фотопленка. Цифровые камеры, обеспечивающие такой диапазон регистрации интенсивности излучения, оказываются достаточно дорогими и относительно крупногабаритными [1]. В настоящее время к приобретению предлагается обширная линейка цифровых камер с изменяемыми форматом кадра и периодом регистрации последовательности кадров, однако эти средства не позволяют обеспечить требуемый динамический диапазон регистрации поля интенсивностей в линейном режиме и, кроме того, управление синхронизацией инициации внешних событий и моментов времени регистрации их результатов. Поэтому и в настоящее время уделяется значительное внимание созданию регистрирующей аппаратуры,

обеспечивающей динамический диапазон регистрируемого поля отсчетов интенсивностей 60 дБ и более при условии соблюдения параметров синхронизации моментов регистрации с внешними процессами.

### РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ АНАЛОГОВОЙ TV-КАМЕРОЙ С КОМПОЗИТНЫМ ВЫХОДОМ

На протяжении более чем 20 лет ведущие производители фоточувствительных матриц телевизионных камер (т.в.к.) — такие как Sony, E2V, CMOSIS и др. — совершенствовали технологии их производства и управления. Как правило, линейность характеристик преобразования “интенсивность света — амплитуда выходного сигнала” этих т.в.к. превышает 60–65 дБ, однако динамический диапазон электронных трактов большинства декодеров телевизионного сигнала составляет 45–50 дБ прежде всего из-за того, что в этих декодерах используются 8-разрядные аналого-цифровые преобразователи (а.ц.п.). Получающие все большее распространение т.в.к. с USB-каналом



**Рис. 1.** Функциональная схема устройства, обеспечивающего преобразование и хранение значений величин интенсивностей изображения, регистрируемого т.в.к. с композитным выходом, и синхронизацию внешних событий с моментами регистрации изображений т.в.к. Указана разрядность информационных шин,  $a$ – $z$  соответствуют сигналам на временной диаграмме (рис. 2).

связи, по которому передаются данные и команды управления, реализуют больший динамический диапазон преобразования, однако имеют серьезные недостатки: схемы управления матрицами этих т.в.к. в подавляющем большинстве не содержат входа синхронизации регистрации изображения с внешним событием, а системы предварительной обработки сигналов осуществляют компрессию данных. Эти обстоятельства существенно ограничивают применение таких камер в исследовательских задачах.

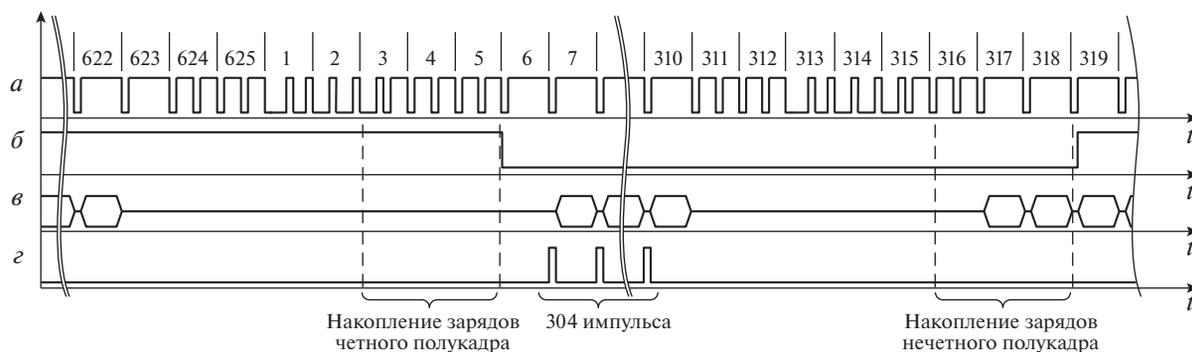
Для устранения негативного влияния малого числа разрядов преобразователя на получаемые результаты схема устройства регистрации [2], содержащая типовой декодер телевизионного сигнала SAA7113H, была изменена: в состав устройства введен быстродействующий 12-разрядный а.ц.п., для формирования тактовых сигналов управления которым использовались сигналы, получаемые декодером телевизионного сигнала (рис. 1).

Синхронную работу декодера, 12-разрядного а.ц.п. ADC12020C1VY и оперативного запоминающего устройства (о.з.у.) CY7C1372D, в котором хранятся значения отсчетов интенсивностей, зарегистрированных матрицей т.в.к. в пределах одного кадра, обеспечивает программируемая логи-

ческая интегральная схема (п.л.и.с.) XC3S500E, в которой синтезированы следующие функциональные узлы (рис. 1):

- встроенный управляющий процессор Microblaze (CPU);
- вычислитель “уровня черного” телевизионного сигнала;
- мультиплексор данных;
- синхронизатор;
- контроллер о.з.у.;
- контроллер шины CAN, необходимый для аппаратной синхронизации работы регистратора и других устройств [2] в одной системе;
- буфер сигналов управления и данных.

После регистрации синхронизатором фронта строчного синхроимпульса, формируемого на соответствующем выходе видеodeкодера (рис. 2, сигнал  $a$ ), узел вычисления “уровня черного” обеспечивает его усреднение по  $k$  получаемым на выходе 12-разрядного а.ц.п. отсчетам. Полученное значение используется для привязки уровней телевизионного сигнала при работе устройства в режиме большой (10-разрядной) разрешающей способности величин интенсивностей (в этом ре-



**Рис. 2.** Временные диаграммы функционирования устройства регистрации величин отсчетов интенсивностей изображения, регистрируемых т.в.к. с композитным выходом. Цифры соответствуют номерам строк телевизионного кадра.

жиме мультиплексор обеспечивает передачу на вход контроллера о.з.у. 12-разрядного кода а.ц.п.). При работе устройства в режиме обычной (8-разрядной) разрешающей способности интенсивностей мультиплексор обеспечивает передачу на этот вход 8-разрядного кода с выхода видеодекодера (этот режим обычно используется для предварительной юстировки положения т.в.к. и ее настройки).

В обоих режимах работы устройства контроллер шины USB обеспечивает прием управляющих команд от внешнего компьютера и передачу ему зарегистрированных отсчетов для их визуализации.

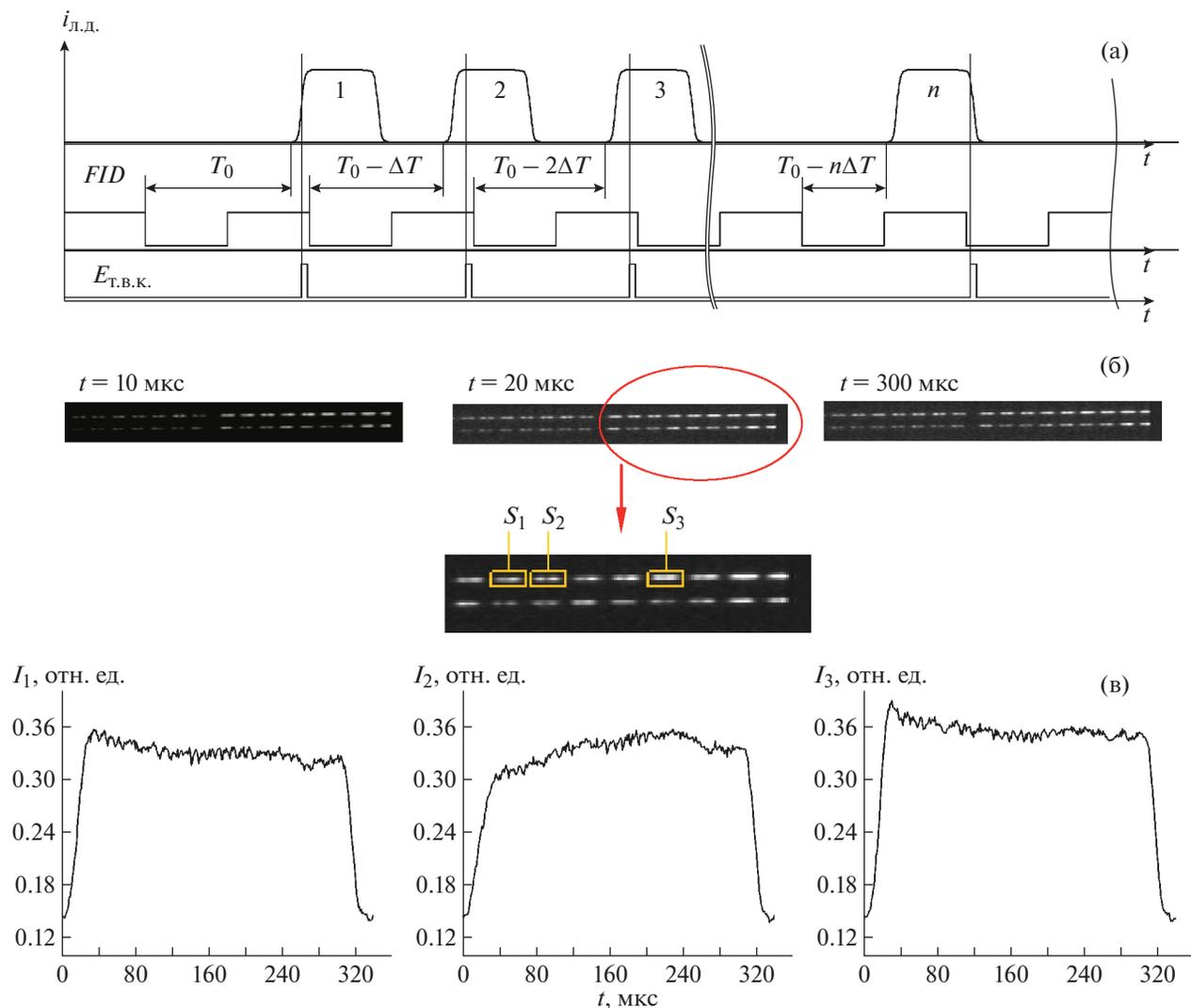
Регистрация изображения обеспечивается в нечетном полукадре, содержащем 304 строки. Часть из них в соответствии с требованиями стандарта телевизионного сигнала PAL не содержит информации о зарегистрированном изображении. Поэтому результирующий размер зарегистрированного полукадра соответствует области размером  $720 \times 270$  пикселей матрицы т.в.к. Для исключения влияния работы системы автоматической регулировки усиления т.в.к. на результаты регистрации интенсивности эту систему следует отключить перед началом проведения измерений.

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 10-БИТНОГО ЧЕРНО-БЕЛОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЭКРАНЕ ТИПОВОГО МОНИТОРА

Как правило, исследователю необходимо иметь возможность оперативно воспроизвести и просмотреть полученную с высоким разрешением по интенсивности графическую информацию. Набор технических средств визуализации 10-битного черно-белого изображения весьма ограничен. К таким средствам относятся специальные мониторы [3] и печатающие устройства с высоким разрешением. Это оборудование весьма дорого и мало распространено. Традиционно используется следующий путь: черно-белое изображение с высо-

ким разрешением по интенсивности подвергается цветовому кодированию — для определенных диапазонов интенсивности используются заранее оговоренные цветовые палитры. В результате на типовом мониторе удастся отобразить псевдоцветное изображение, связанное однозначным преобразованием с реальным черно-белым изображением. Главный недостаток такого синтезированного изображения — трудности его восприятия и интерпретации, которые сильно выражены при анализе полей отсчетов интенсивностей с локальными неоднородностями. Такой способ представления графической информации позволяет проводить анализ поля отсчетов интенсивностей в случае, если соседствующие отсчеты изменяются плавно. Анализ изображений особенно затруднен, если отсчеты интенсивности меняются скачкообразно в пределах ограниченной пространственной области.

Альтернативным решением служит отображение одного пикселя матрицы т.в.к. четырьмя соседствующими пикселями типового монитора. При этом 10-разрядный двоичный код, отображающий зарегистрированную интенсивность излучения, используется для вычисления четырех 8-разрядных кодов интенсивностей излучения для четырех соседствующих пикселей монитора. Экспериментально установлено [4], что число оттенков серого, различаемых человеческим глазом, лежит в диапазоне значений от 700 до 1000 от максимально реализуемой интенсивности источника, которой присваивают значение 1. Следовательно, предлагаемый способ отображения соответствует физиологическим возможностям зрительной системы человека, причем снижение угловой разрешающей способности монитора компенсируется увеличением информативности яркостной компоненты воспроизводимого изображения. Поскольку возможности воспроизведения оттенков серого средствами полиграфии ограничены, для сравнения синтезируемых изображений и оценки их качества авторы рекоменду-



**Рис. 3.** Результаты стробоскопической регистрации изображения матрицы л.д.: **а** – временные диаграммы; **б** – полученные изображения отдельных л.д. и выделенные для анализа области  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ ; **в** – изменения величины интегральной интенсивности излучения в выделенных областях.

ют сравнить результаты применения различных способов визуализации изображений, представленных в [5].

### РЕАЛИЗАЦИЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Средства описанного устройства регистрации позволяют осуществить стробоскопический режим регистрации изображений [6], который обеспечивает получение информации о динамике регистрируемых событий. В основе этого способа регистрации лежит известный принцип функционирования стробоскопического осциллографа [7]: каждый воспроизводимый  $n$ -й отсчет сигнала регистрируется в момент времени, отстоящий от предыдущего на время  $T + n\Delta T$ , где  $T$  – период

повторения реализаций сигнала,  $\Delta T$  – интервал разрешения по времени между воспроизводимыми отсчетами. Принципиальные требования – высокая повторяемость реализаций сигнала и периода их следования, а также малый интервал его регистрации.

Такой способ регистрации эффективен для исследования событий, инициируемых воздействием электрических импульсов. В частности, он эффективен для исследования изменения температуры отдельных лазерных диодов (л.д.) в составе матрицы л.д. Для этого изображение матрицы л.д. регистрируется в пределах заранее установленного интервала времени экспозиции (сигнал  $E_{T.B.K.}$ , рис. 3а). Для регистрации изображения использовалась т.в.к. с композитным выходом Watec WAT-525EX, снабженная объективом Computar 10–

30 mm 1:1,4, перед которым был установлен светофильтр с коэффициентом пропускания излучения  $10^{-3}$ . Моменты времени начала накопления зарядов фоточувствительной матрицей т.в.к. определялись по спаду импульсов *FID* (рис. 3а), после чего средствами контроллеров сети CAN в соответствии с изложенной в [2] методикой через интервалы времени  $T - n\Delta T$ ,  $n = 1, 2, \dots, 340$  осуществлялось включение генератора импульсов тока накачки  $i_{л.д.}(t)$ . Величина  $\Delta T$  была выбрана равной 1 мкс, что более чем в 5 раз превышало величину интервала нестабильности формирования фронта импульса тока накачки. На рис. 3б представлены зарегистрированные реализации отсчетов интенсивностей части изображения матрицы л.д. Анализ показал, что значения отсчетов интенсивностей в большинстве областей расположения л.д. уменьшается к моменту окончания импульса тока накачки, что свидетельствует о снижении квантовой эффективности преобразования электрический ток — свет, в том числе за счет увеличения температуры л.д.

Однако в некоторых областях (например,  $S_2$  на рис. 3в) наблюдается аномальное изменение интенсивности излучения, причиной которого может быть перераспределение токов, протекающих через отдельные л.д. матрицы. На основании этих результатов может быть построена электротепловая модель матрицы л.д., позволяющая идентифицировать источники возникновения таких аномалий и принять меры по исключению их возникновения в дальнейшем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регистрация изображений т.в.к. с композитным выходом позволяет обеспечить анализ отсчетов поля интенсивностей в динамическом диапазоне 60 дБ, что сопоставимо со свойствами фотоматериалов. Получаемые изображения можно визуализировать на типовом мониторе, причем снижение угловой разрешающей способности компенсируется увеличением информативности яркостной компоненты воспроизводимого изображения, а стробоскопический режим регистрации изображений позволяет анализировать динамику регистрируемых событий, инициируемых воздействием электрических импульсов источника сигналов, синхронизируемого с устройством регистрации изображений т.в.к. с композитным выходом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коатес К., Фоулер Б., Холст Г. // Фотоника. 2016. № 4. С. 102. doi 10.22184/1993-7296.2016.58.4.102.110
2. Аракчеев П.В., Бурый Е.В., Семеренко Д.А. // ПТЭ. 2015. № 1. С. 43. doi 10.7868/S0032816214060019
3. Samei E., Wright S.L. // Medical Phys. 2006. V. 33. № 3. P. 645. doi 10.1118/1.2168430
4. Kimpe T.T., Tuytschaever T. // J. Digital Imaging. 2007. V. 20. № 4. P. 422. doi 10.1007/s10278-006-1052-3
5. [http://www.llis.bmstu.ru/ref/10vs8bits\\_ru.html](http://www.llis.bmstu.ru/ref/10vs8bits_ru.html)
6. Czech J. Oscilloscope Measuring Technique. Principles and Applications of Modern Cathode Ray Oscilloscopes. Springer, 1965.
7. Seibt A. Handbuch Oszilloskoptechnik. Schaltungstechnik—Meßpraxis—Wartung: Elektor, 1999.