



ООО «Спецтелетехника»
www.sptt.ru

ЦИФРОВАЯ КАМЕРА CSDU – 429

Техническое описание

(firmware Ver. 2.01)

29.12.2007

Цифровая камера CSDU-429 предназначена для получения высококачественных черно-белых изображений и передачи их в компьютер по интерфейсу USB 2.0. Камера оснащена термоэлектрическим холодильником на основе эффекта Пельтье для охлаждения ПЗС матрицы. Питание камеры осуществляется от внешнего источника.

Технические характеристики камеры SDU-429:

Тип ПЗС матрицы	SONY ICX429ALL
Формат кадра	744 x 576
Размер пикселя (мкм)	8.6 x 8.3
Время накопления (экспозиции)	6 мкс – 60 мин.
Максимальная частота съемки	12 Гц (744 x 576)
Разрядность аналого-цифрового преобразования	12 бит
Режимы сложения пикселей (биннинг)	2x2, 4x4
Динамический диапазон	60 дБ
Режимы съемки	Периодический, внешний запуск, программный запуск, ведомый режим
Объем встроенного ОЗУ (FIFO) (Мбайт)	8
Скорость передачи данных в РС по интерфейсу USB 2.0 (Мбайт/с)	22
Предельная температура охлаждения ПЗС (° C)	-30 (при $T_{окр} < 30$)
Точность установки температуры и ее поддержания системой термостабилизации (° C)	1
Время выхода на режим стабилизации температуры	5 мин. ($T_{CCD} = -20^{\circ} C$, $T_{окр} = +20^{\circ} C$)
Напряжение питания (В)	12
Потребляемый ток (не более, А)	3
Диапазон рабочих температур (град.)	-10...+50 (без конденсации)
Габаритные размеры (мм)	диаметр 133, высота 75
Присоединительная резьба объектива	C-mount

Системные требования

- Операционная система Windows 2000 или Windows XP
- Процессор с тактовой частотой не ниже 1 ГГц
- Оперативная память не менее 256 МБ
- Хост-контроллер USB 2.0

Установка программного обеспечения

До подключения камеры запустите программу CSDU249_Setup.exe, расположенную в папке INSTALL на поставочном CD. Если Вы планируете работать с программой-вьюером CAM_VIEW, то установите ее на компьютер, запустив программу Cam_View_Setup.exe.

Подключите камеру к источнику питания с помощью кабеля, входящего в комплект поставки. Подключите камеру к разъему USB компьютера, находящемуся на задней панели системного блока (подключать камеру к разъему на передней панели, подключенному через внутренний удлинитель, не рекомендуется). Включите источник питания камеры.

При первом подключении камеры к компьютеру ОС Windows сообщает о появлении в системе нового устройства и запрашивает файлы драйверов. В ответ на запрос необходимо указать «Произвести поиск подходящего драйвера», на следующем шаге установить флажок «Автоматически» и нажать кнопку «Далее». Далее процесс установки происходит автоматически. Если установка прошла успешно, то камера должна присутствовать в списке устройств системы в группе «Контроллеры универсальной последовательной шины USB» под именем «CSDU-429 Digital Camera».

Устройство и работа камеры

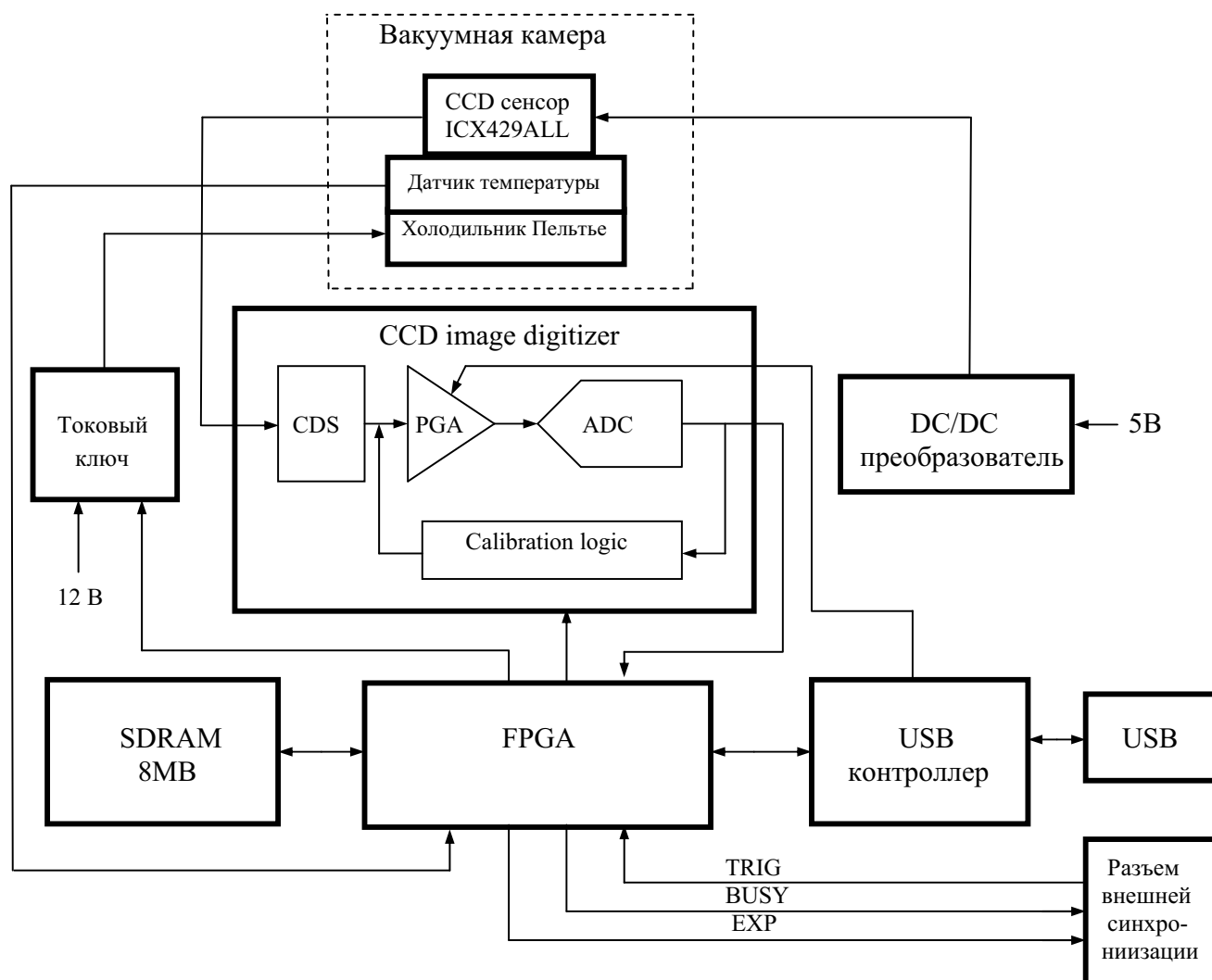


Рис. 1 Структурная схема камеры CSDU-429

Преобразование фотоизображения, сформированного объективом, в электрический сигнал происходит в ячейках ПЗС матрицы. Сигнал с выхода ПЗС имеет сложную форму, его постоянная составляющая подвержена изменениям в зависимости от температуры, поэтому он не может быть просто сразу подвергнут аналогово-цифровому преобразованию. Для оцифровки сигнала с ПЗС в камере используется специализированная интегральная схема - CCD image digitizer. В ее состав входят следующие функциональные узлы:

CDS (correlated double sampler) – схема двойной коррелированной выборки, служит для получения сигнала, пропорционального яркости засветки каждого пикселя (фотоэлемента) ПЗС матрицы

PGA (programmable gain amplifier) - программируемый усилитель, служит для усиления сигнала с выхода CDS для полного использования входного динамического диапазона АЦП. Коэффициент усиления PGA задается программно.

ADC (analog to digital converter) – аналогово-цифровой преобразователь
Calibration logic – схема калибровки, необходима для привязки «нуля» АЦП к «уровню черного» выходного сигнала ПЗС.

Благодаря тому, что все рассмотренные узлы объединены в одной ИС, камера обеспечивает низкий уровень шумов и широкий динамический диапазон.

Основным узлом, формирующим временные диаграммы работы камеры, является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) с архитектурой FPGA. «Прошивка» такой ПЛИС (т.е. схема внутренних соединений ее элементов) загружается в нее через интерфейс USB каждый раз при подключении камеры. Благодаря этому логика работы камеры может быть легко модифицирована и адаптирована под конкретную задачу.

Оцифрованное изображение перед передачей его в компьютер записывается в буферную память (ОЗУ), имеющую логическую организацию типа FIFO (First In First Out). Благодаря такой организации данные могут считываться из буферной памяти и передаваться в компьютер по USB одновременно с процессом их считывания из ПЗС и оцифровки, т.е. не дожидаясь окончания записи всего кадра в буфер. Это позволяет повысить скорость передачи данных в компьютер и уменьшить задержку между окончанием экспозиции и передачей изображения в компьютер. Буфер FIFO имеет объем 8 Мбайт, что позволяет записать в него 19 полноформатных (744x576) кадров в режиме 8 бит/пиксель и 13 полноформатных кадров в режиме 12 бит/пиксель..

USB контроллер представляет собой микроконтроллер стандартной архитектуры с интегрированным контроллером протокола USB 2.0. Внутреннее программное обеспечение микроконтроллера также загружается из компьютера по интерфейсу USB при подключении камеры. Внутреннее ПО контроллера реализует следующие функции:

- начальная инициализация (загрузка прошивки) FPGA при включении
- декодирование и обработка управляющих команд из компьютера
- контроль правильности и допустимости параметров управляющих команд
- формирование ответной посылки камеры в компьютер
- инициация передачи оцифрованного изображения в компьютер

Контроллер также поддерживает протокол USB1.1 (Full Speed 12 Mb/s). Камера полностью работоспособна при подключении ее к хост-контроллеру, поддерживающему только USB1.1, однако скорость передачи изображения в компьютер при этом существенно ниже (0.5 Мбайт/с против 20 Мбайт/с по USB 2.0).

Для снижения темновых токов в ячейках ПЗС, приводящих к возникновению паразитного фонового сигнала и появлению на изображении «горячих пикселей», в камере используется охлаждение ПЗС матрицы с помощью термоэлектрического холодильника на основе эффекта Пельтье. Для отвода тепла от горячего спая элемента Пельтье используется медный радиатор с вентилятором. Это позволяет охлаждать матрицу до температуры на 60 градусов ниже окружающей. Обычно достигается температура ПЗС сенсора -30...-32 градуса. На ПЗС матрице установлен электронный датчик температуры, что позволяет контролировать и поддерживать заданную программно температуру матрицы с точностью 1 градус. Для поддержания температуры применяется широтно-импульсное регулирование мощности холодильника Пельтье. Максимальная мощность холодильника составляет 30 Вт. На радиаторе также установлен датчик температуры. Внутренняя логика камеры отключает элемент Пельте при перегреве его горячего спая для предупреждения выхода из строя.

Охлаждение ПЗС матрицы позволяет достигать времени экспозиции до 1 часа. При этом матрица способна регистрировать столь малые порции света, что возникает такое неприятное явление, как влияние свечения выходного усилителя ПЗС, называемое в иностранной литературе «amplifier glow». Оно обусловлено тем, что имеющиеся в выходном каскаде ПЗС прямосмещенные p-n переходы, через которые протекает ток, излучают очень слабый свет, который регистрируют ячейки ПЗС матрицы. При экспозиции проядка минут и более это явление становится заметным на глаз и проявляется в виде яркого пятна в левом верхнем углу кадра (там, где расположен усилитель). Для устранения этого явления в камере CSDU-429 приняты специальные меры. Усилитель специальным образом отключается на время экспозиции и явление «amplifier glow» отсутствует.

Питание цифровой части камеры осуществляется от интерфейса USB. Для формирования необходимых для работы ПЗС положительных и отрицательных напряжений в составе камеры имеется DC/DC преобразователь с высоким КПД.

Питание элемента Пельтье осуществляется от внешнего источника напряжением 12 В. Если охлаждения матрицы не требуется, то этот источник можно не подключать.

Режимы запуска экспозиции и синхронизации.

Для камеры CSDU-429 доступны следующие режимы запуска и съемки:

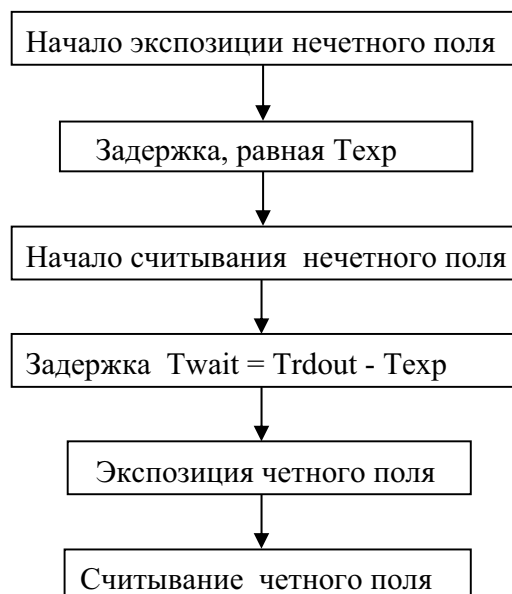
1. Периодический запуск экспозиции
2. Режим внешнего запуска
3. Режим программного запуска.
4. Ведомый режим

Используемая в камере CSDU-429 ПЗС матрица (SONY ICX429ALL) работает по принципу чересстрочного вывода изображения. Её вертикальные регистры переноса устроены так, что имеют с 2 раза меньше ячеек переноса, чем вертикальный размер фоточувствительной зоны. Поэтому вывод изображения из накопительных фотоячеек происходит в 2 приема: сначала выводятся нечетные строки (odd field) (1,3 и т.д. всего максимум 288), затем четные строки (even field) (2,4 и т.д. также максимум всего 288). При этом временные соотношения между процессом экспозиции (накоплением заряда в фотоячейках) и считыванием этого заряда (readout) зависят от установленной величины экспозиции.

Камера может работать в двух режимах экспозиции:

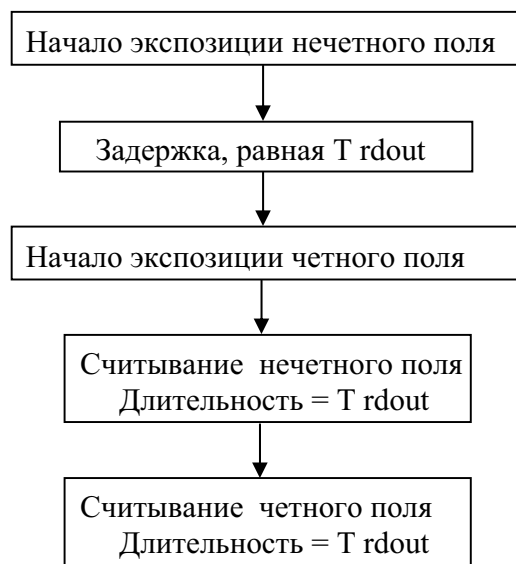
- режим последовательной экспозиции полей (далее сокращенно обозначается SEQ)
- режим с перекрытием экспозиции полей (далее сокращенно обозначается OVL)

Режим SEQ устанавливается при величине экспозиции меньшей, чем время считывания одного поля (T_{rdout}), которое составляет ~ 20 мс. В этом режиме экспозиция полей и их считывание происходят в следующей последовательности:



Таким образом, экспозиции четного и нечетного полей в режиме SEQ оказываются разнесены во времени, что может привести к характерному чересстрочному «размазыванию» при съемке динамически изменяющихся сюжетов.

Режим OVL устанавливается, при величине экспозиции большей T_{rdout} .
Последовательность экспозиции полей и их считывания в этом случае иная:



Таким образом, экспозиции четного и нечетного полей в режиме OVL происходят с «перекрытием», так, что экспозиция четного поля сдвинута относительно экспозиции нечетного на время T_{rdout} . Это уменьшает эффект «размазывания», но не устраняет его полностью.

Рассмотренные выше режимы экспозиции полей применимы во всех четырех режимах запуска. Ниже рассматривается работа камеры отдельно для каждого режима запуска съемки.

1. Периодический запуск экспозиции

Запуск экспозиции происходит циклически с заданным периодом. Величина периода устанавливается программно. Минимальное значение периода зависит от установленных размеров зоны считывания. Это минимальное значение автоматически вычисляется камерой и возвращается при вызове функции `sdu_get_min_period`. При установке минимального периода темп передачи данных камерой максимален и может достигать 20 Мбайт/с. Если приложение пользователя по каким либо причинам не успевает принимать такой поток данных, то может возникнуть переполнение внутреннего буфера FIFO камеры. В этом случае заполнение буфера прекращается и устанавливается признак FIFOFULL в байте статуса камеры. На разъем внешнего запуска камера выдает сигнал сопровождения экспозиции EXP, который имеет уровень логической 1 пока идет экспозиция каждого из полей и сигнал BUSY, имеющий уровень логической 1 пока идет экспозиция каждого из полей и их считывание из ПЗС и оцифровка.

Циклограммы работы камеры в этом режиме приведены на рисунках 2 и 3.

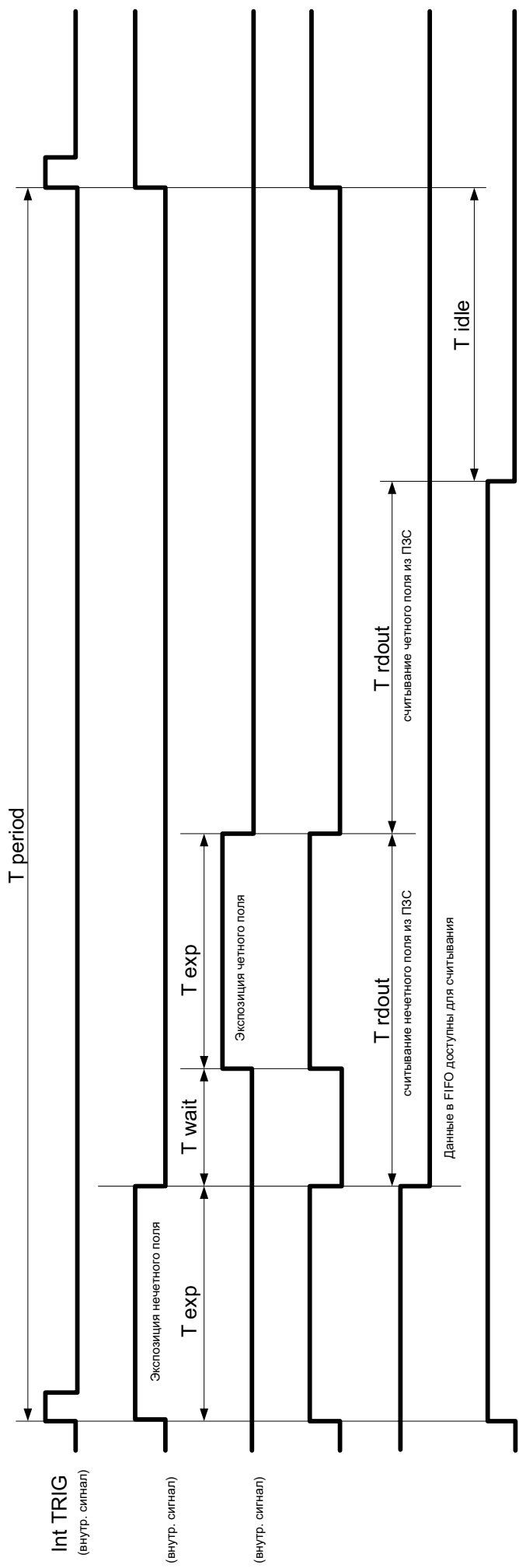


Рис.2 Циклограмма работы камеры CSDU-429. Периодический запуск. Режим экспозиции SEQ.

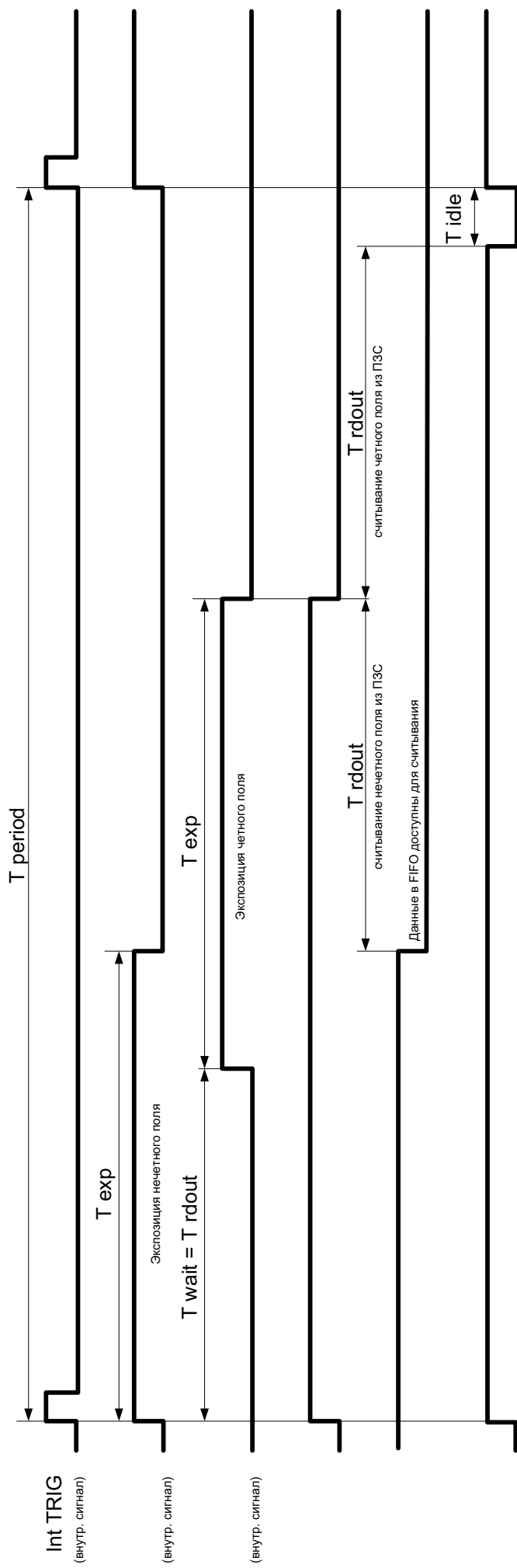


Рис.3 Циклограмма работы камеры CSDU-429. Периодический запуск. Режим экспозиции OVL.

2. Режим внешнего запуска экспозиции

Запуск экспозиции происходит по положительному фронту внешнего сигнала, приходящего на вывод TRIG разъема внешней синхронизации. Экспозиция начинается через 1 мкс после прихода импульса запуска ($t_{\text{trig dly}}$). Длительность экспозиции определяется программно установленным значением. На разъем внешнего запуска камера выдает сигнал сопровождения экспозиции EXP, который имеет уровень логической 1 пока идет экспозиция. Экспонирование полей происходит в режиме SEQ или OVL в зависимости от установленного значения Texr. Далее происходит считывание данных из матрицы (readout), их оцифровка и запись в буфер FIFO. По окончании этого процесса камера готова к следующему запуску. Пока идет экспозиция и считывание камера будет игнорировать импульсы, приходящие на вход TRIG. В течение этого времени на выходе BUSY на разъеме внешней синхронизации будет присутствовать логическая 1. Признак BUSY в байте статуса камеры также отражает это состояние. Циклограммы работы камеры в этом режиме приведены на рисунках 4 и 5.

По окончании цикла съемки оцифрованный кадр оказывается записанным в буфер FIFO камеры. Он может быть считан оттуда приложением пользователя сразу же по мере появления готовности данных ($\text{FIFOEMPTY} = 0$), либо позже. Можно осуществить несколько циклов съемки, после чего считать все данные, но следует учитывать возможность переполнения буфера FIFO. Число кадров, помещающееся в буфере, зависит от размера зоны считывания (ROI_SIZE). Процесс считывания из камеры в компьютер может быть совмещен с циклом съемки следующего кадра.

3. Режим программного запуска.

3.1 Программный запуск с фиксированной заданной экспозицией

Работа камеры в этом режиме в принципе аналогична режиму внешнего запуска. Запуск экспозиции происходит программно. Задержка между вызовом функции библиотеки **sdu_cam_start** и реальным началом экспозиции зависит от многих факторов (быстродействия и загрузки процессора, типа USB контроллера и т.д.) Обычно эта задержка не превышает 1 мс. Длительность экспозиции определяется программно установленным значением. На разъем внешнего запуска камера выдает сигнал сопровождения экспозиции EXP, который имеет уровень логической 1 пока идет экспозиция. Далее начинается считывание данных из матрицы, их оцифровка и запись в буфер FIFO. По окончании этого процесса камера готова к следующему запуску. Пока идет экспозиция и считывание камера будет игнорировать попытки повторного программного запуска. В течение этого времени на выходе BUSY на разъеме внешней синхронизации будет присутствовать логическая 1. Признак BUSY в статусе камеры также отражает это состояние. Циклограммы работы камеры в этом режиме приведены на рисунках 4 и 5.

По окончании цикла съемки оцифрованный кадр оказывается записанным в буфер FIFO камеры. Он может быть считан оттуда приложением пользователя сразу же по мере появления готовности данных ($\text{FIFOEMPTY} = 0$), либо позже. Можно осуществить несколько циклов съемки, после чего считать все данные, но следует учитывать возможность переполнения буфера FIFO. Число кадров, помещающееся в буфере, зависит от размера зоны считывания (ROI_SIZE). Процесс считывания из камеры в компьютер может быть совмещен с циклом съемки следующего кадра.

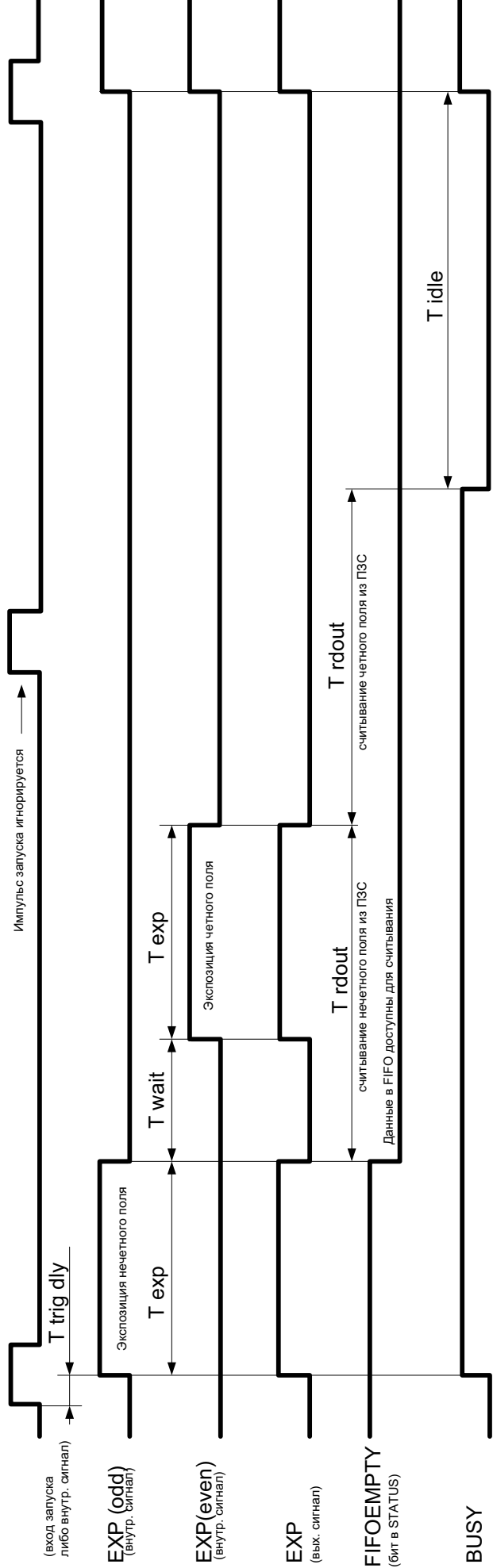


Рис.4 Циклограмма работы камеры CSDU-429. Программный либо внешний запуск. Режим экспозиции SEQ.

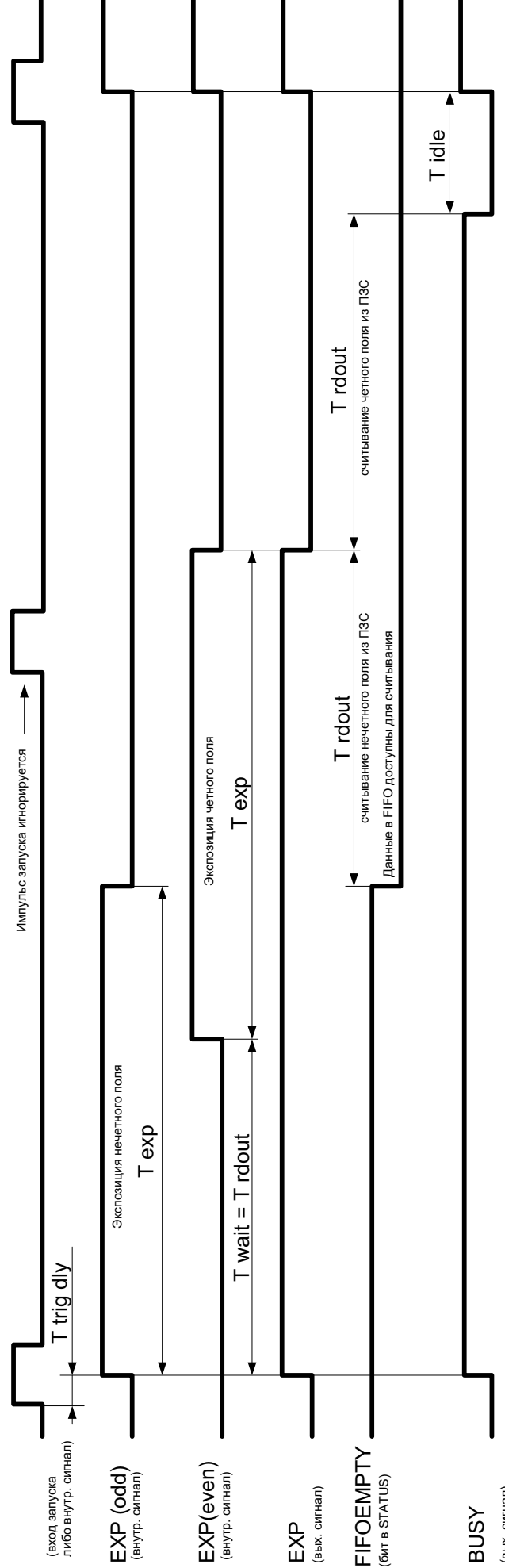


Рис.5 Циклограмма работы камеры CSDU-429. Программный либо внешний запуск. Режим экспозиции OVL.

3.2 Программный запуск с программным обрывом экспозиции

Камера в этом режиме работает также как и в ведомом режиме (см. ниже), но события запуска и обрыва экспозиции являются программно инициируемыми. Для использования этого режима экспозиции необходимо установить режим программного запуска и задать величину экспозиции, заведомо превышающую требуемое значение (можно, например, установить экспозицию равную максимальному значению ~ 60 мин). Запуск экспозиции нечетного поля происходит программно. Задержка между вызовом функции библиотеки **sdu_cam_start** и реальным началом экспозиции зависит от многих факторов (быстродействия и загрузки процессора, типа USB контроллера и т.д.) Обычно эта задержка не превышает 1 мс. Экспозиция проходит в режиме OVL. Экспозиция продолжается до тех пор пока камера не отработает установленное значение экспозиции, либо пока экспозиция не будет прервана функцией **sdu_cam_stop**. Эта команда обрывает экспозицию и запускает процесс считывания данных из ПЗС матрицы, их оцифровки и записи в буфер FIFO камеры. Сначала считывается и оцифровывается нечетное поле, далее – четное. Задержка между вызовом функции библиотеки **sdu_cam_stop** и реальным окончанием экспозиции нечетного поля также обычно не превышает 1 мс. Циклограмма работы камеры в этом режиме приведена на рисунке 6.

4. Ведомый режим

Запуск экспозиции происходит по положительному фронту внешнего сигнала, приходящего на вывод TRIG разъема внешней синхронизации. Экспозиция нечетного поля начинается через 1 мкс после прихода импульса запуска ($t_{trig\ dly}$). Далее камера отработывает задержку равную T_{rdout} и запускается экспозиция четного поля. На разъем внешнего запуска камера выдает сигнал сопровождения экспозиции EXP, который имеет уровень логической 1 пока идет экспозиция полей. Экспозиция продолжается до тех пор, пока на входе TRIG присутствует уровень логической 1. Длительность импульса TRIG в этом режиме не должна быть меньше 20 мс. Переключение этого сигнала в уровень логического 0 (отрицательный фронт импульса) обрывает экспозицию и запускает процесс считывания данных из ПЗС матрицы, их оцифровки и записи в буфер FIFO камеры. Сначала считывается и оцифровывается нечетное поле, далее – четное. Задержка между отрицательным фронтом импульса TRIG и фактическим окончанием экспозиции нечетного поля ($T_{abr\ dly}$) составляет 5 мкс. Таким образом, камера в этом случае работает только в режиме экспозиции OVL.

По окончании процесса оцифровки изображения камера готова к следующему запуску. Пока идет экспозиция и считывание изображения из ПЗС матрицы, на выходе BUSY на раземе внешней синхронизации будет присутствовать логическая 1. Признак BUSY в байте статуса камеры также отражает это состояние. Попытки запуска когда BUSY=1 будут игнорироваться камерой. Циклограмма работы камеры в этом режиме приведена на рисунке 7.

По окончании цикла съемки оцифрованный кадр оказывается записанным в буфер FIFO камеры. Он может быть считан оттуда приложением пользователя сразу же, либо позже. Можно осуществить несколько циклов съемки, после чего считать все данные, но следует учитывать возможность переполнения буфера FIFO. Число кадров, помещающееся в буфере, зависит от размера зоны считывания (ROI_SIZE). Процесс считывания из камеры в компьютер может быть совмещен с циклом съемки следующего кадра.

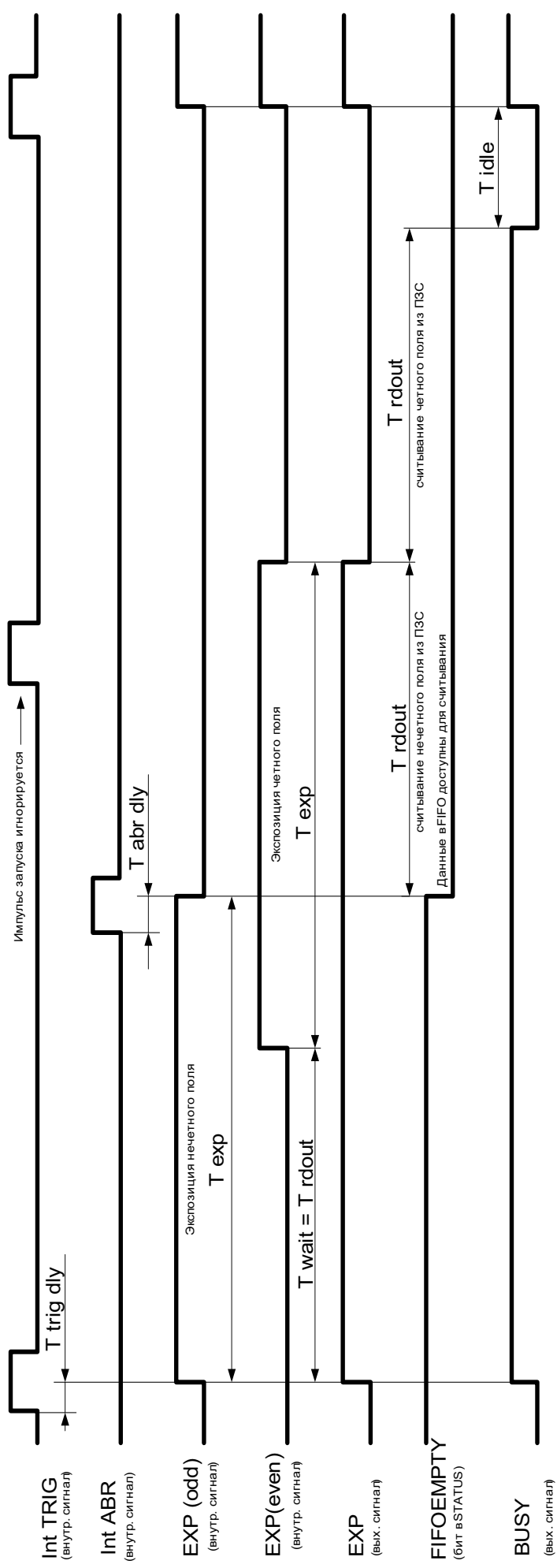


Рис. 6. Циклограмма работы камеры CSDU-429. Программный запуск с программным обрывом экспозиции

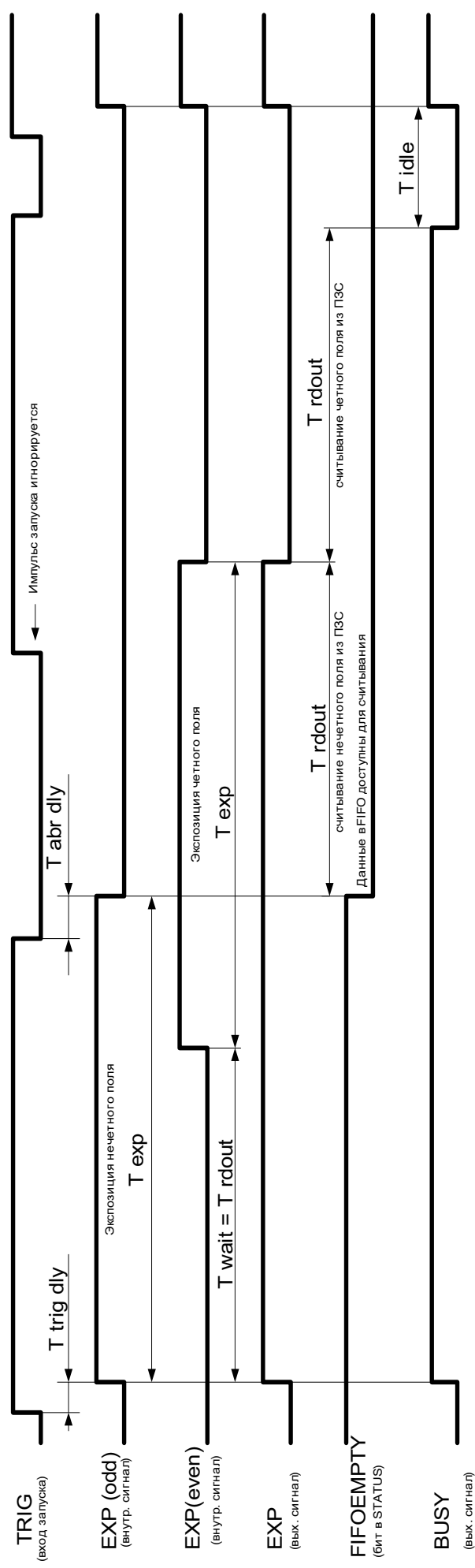


Рис. 7. Циклограмма работы камеры CSDU-429. Ведомый режим экспозиции

ROI – Region Of Interest

В ряде случаев при вводе изображения возникает такая ситуация, когда только его часть представляет интерес для рассмотрения и анализа. При этом остальная часть изображения не важна, и ее можно не передавать в компьютер вообще. В камере SDU-429 предусмотрен такой режим работы. С помощью функций **sdu_set_roi_org** и **sdu_set_roi_size** (см. описание библиотеки функций) можно установить положение и размер зоны считывания. При этом изображение, не попадающее в зону считывания, в буфер FIFO камеры не записывается и в компьютер не передается. Это приводит также к повышению максимальной частоты съемки примерно в

$$N = \frac{\text{MAX_ROWS}}{\text{ROI_SIZE_V}}$$

где

MAX_ROWS – максимальное число строк в кадре (зависит от биннинга)
ROI_SIZE_V – вертикальный размер зоны считывания

Точное значение минимального периода съемки при конкретных установленных значениях ROI автоматически вычисляется камерой и возвращается при вызове функции **sdu_get_min_period** (см. описание библиотеки функций). Максимальное количество кадров, помещающихся в буфере FIFO камеры до его переполнения, также повышается в соответствующее количество раз, пропорциональное уменьшению размера изображения. Следует отметить, что значение ROI_ORG может принимать только четные значения, а ROI_SIZE – только значения кратные 4. Правая и нижняя границы зоны считывания не могут уходить за края кадра максимального размера, т.е. должны выполняться следующие условия:

$$\begin{aligned} \text{ROI_ORG_H} + \text{ROI_SIZE_H} &\leq \text{MAX_COLUMNS} \\ \text{ROI_ORG_V} + \text{ROI_SIZE_V} &\leq \text{MAX_ROWS} \end{aligned}$$

где

MAX_COLUMNS – максимальное число пикселей в строке (зависит от биннинга)

Минимальные размеры зоны считывания допустимо устанавливать такими, чтобы выполнялось условие:

$$\text{ROI_SIZE_H} \cdot \text{ROI_SIZE_V} \geq 512$$

Камера сама следит за правильностью параметров ROI и игнорирует неправильно установленные значения.

Биннинг.

Биннингом называется такой режим работы ПЗС матрицы, когда зарядовые пакеты нескольких смежных фотоячеек (пикселей) суммируются в один зарядовый пакет с целью повышения чувствительности камеры.

Биннинг $N \times N$ улучшает отношение сигнал-шум в N^2 раз (в пределе). Это объясняется тем, что при нормальной работе в ПЗС шум добавляется к сигналу на каждом шаге считывания, т.е. 1 раз на каждый пиксель. В режиме биннинга шум считывания добавляется только раз на каждый суперпиксель (суммарный зарядовый пакет), амплитуда которого может быть в N^2 раз больше. Биннинг увеличивает частоту кадров в N раз, хотя ухудшается разрешающая способность (тоже в N раз по каждой координате). Максимальное количество кадров полного формата, помещающихся в буфере FIFO камеры до его переполнения, также повышается в N^2 раз.

Камера CSDU-429 имеет режимы биннинга приведенные в таблице ниже. Для каждого из режимов в таблице указано оптимальное значение усиления OPT_GAIN. При таком усилении камера обеспечивает максимальный динамический диапазон при минимальном уровне шумов. Установка значения усиления меньше OPT_GAIN приведет к снижению динамического диапазона из-за неполного использования диапазона входных амплитуд АЦП.

Таблица 1

Биннинг	Формат полного кадра	OPT_GAIN
1x1	744x576	100
2x2	372x288	60
4x4	184x144	50

Работа с камерой

Установка усиления

Для установки усиления служит функция **sdu_set_gain**, входящая в библиотеку `stt_cam`. Усиление может устанавливаться в пределах от 0 до 1023 относительных единиц. График зависимости фактического усиления PGA от управляющего кода приведен на рисунке 8.

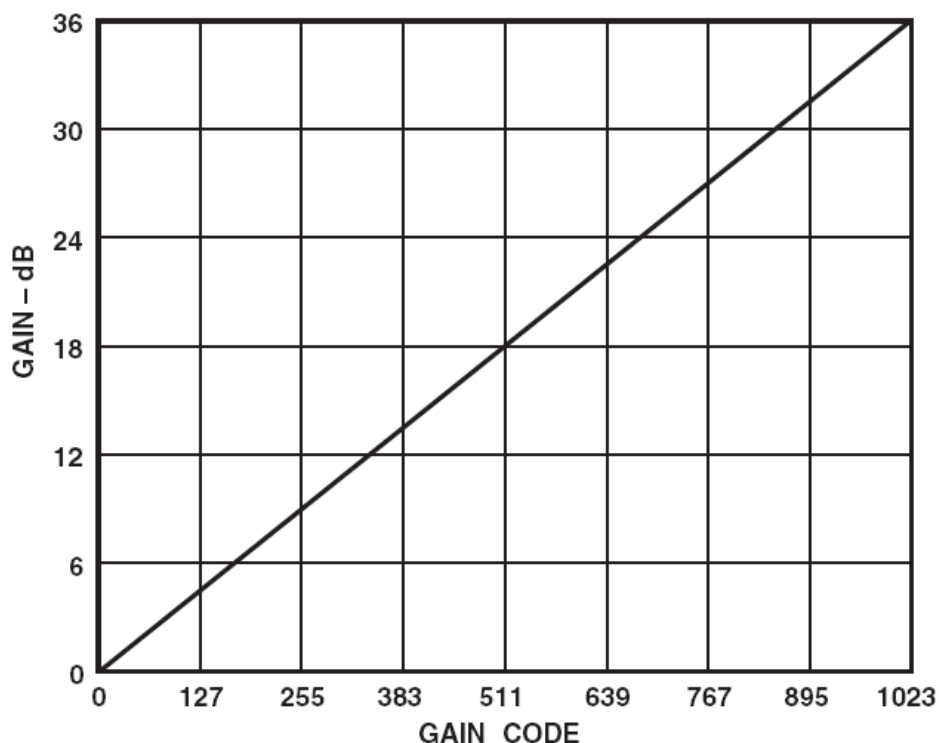


Рис.8 Зависимость усиления PGA от управляющего кода

При вводе изображений следует устанавливать минимально возможное усиление. Его значения `OPT_GAIN` для различных режимов биннинга приведены в таблице 1. Установка `Gain Code < OPT_GAIN` приведет к снижению динамического диапазона камеры из-за неполного использования диапазона входных амплитуд АЦП. При этом на ярких участках изображения возможно появления характерного «муара», свидетельствующего о насыщении CCD сенсора. Более подробно об этом сказано в описании функций **sdu_set_gain** (см. описание библиотеки функций).

Следует отметить, что при установке больших значений усиления (~ 400 – 600) схеме калибровки АЦП требуется больше времени для правильной установки «уровня черного», поэтому, после изменения усиления, несколько первых снятых камерой кадров могут иметь повышенную или пониженную яркость. Вообще работа при таких значениях усиления существенно снижает динамический диапазон камеры (возрастают шумы) и имеет смысл только при вводе данных в формате 8 бит/пиксель.

Разъем внешней синхронизации

На задней стенке камеры имеется дополнительный разъем типа DSUB-9, предназначенный для подключения к источнику импульсов запуска при работе камеры в соответствующих режимах (внешний запуск или ведомый режим). Назначение контактов разъема приведено в таблице 2.

Таблица 2

№ контакта	Обозначение	Назначение
1	GND	Общий («земля»)
2	+5V	Питание (выход)
3	TRIG	Вход для подачи импульса запуска
4	EXP	Выход – сигнал сопровождения экспозиции
5	BUSY	Выход – сигнал занятости камеры
6	NC	GND (Питание холодильника Пельтье)
7	NC	
8	NC	+12В (Питание холодильника Пельтье)
9	NC	

Входные и выходные сигналы соответствуют уровням LVTTTL (3.3 V).

Входное сопротивление цепи TRIG – 10 КОм (подтягивающий к «земле» резистор).

Выходное сопротивление цепей EXP и BUSY – 100 Ом.

Внимание! Подавать питание от внешнего источника на вывод 2 разъема запрещено!

Этот контакт разъема может использоваться для питания устройств пользователя (например, схемы гальванической развязки сигнала запуска). Ток, потребляемый таким устройством, не должен превышать 100 мА.