

Методика использования в цифровых камерах пульсарных процессоров кадровых ПЗС-фотоприемников в режиме временной задержки и накопления

05, май 2013

DOI: 10.7463/0513.0577481

Молодяков С. А.

УДК 621.383.72

Россия, Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет
(СПбГПУ)

molod@cef.spbstu.ru

Введение

В настоящее время востребованы и интенсивно развиваются фотоприемники на КМОП-матрицах [1]. Метрологические характеристики (динамический диапазон, неравномерность чувствительности и т.д.) КМОП-фотоприемников становятся очень близки к фотоприемникам на приборах с зарядовой связью (ФПЗС). Функциональные возможности КМОП-фотоприемников существенно превосходят ФПЗС. КМОП-фотоприемники являются практически гибридным процессором, включающим сенсорное поле, набор аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифровую логику, определяющую тот или иной алгоритм обработки. Однако при реализации режима временной задержки и накопления (ВЗН, Time Delay and Integration TDI) [1] ПЗС-фотоприемники не заменимы, хотя известны современные разработки ВЗН-КМОП фотоприемников [2]. ВЗН-режим предназначен для регистрации движущихся изображений. Скорость перемещения изображения, проецируемого на фотоприемник, должна совпадать со скоростью перемещения зарядовых пакетов в ФПЗС, при этом каждый элемент изображения даёт вклад в один и тот же зарядовый пакет. ВЗН-режим позволяет увеличить отношение сигнал шум и повысить временное разрешение принимаемого оптического сигнала.

Известны специальные ПЗС-приборы (ВЗН-ФПЗС), которые позволяют реализовать описанный режим [1]. В настоящее время ряд фирм за рубежом и в нашей стране выпускают ВЗН-ФПЗС. Приборы широко применяются в космической аппаратуре

для наблюдения за земной поверхностью. Число строк в таких фотоприемниках колеблется от 64 до 256, число элементов по горизонтали - от 1024 до 24000, а число выходных элементов достигает 16-ти. Лидерами по разработкам и выпуску приборов являются фирмы Hamamatsu, Fairchild Imaging [3, 4]. Так ВЗН-ФПЗС типа 21241 Fairchild Imaging 64 x 24000 имеет 16 выходов, каждый работает на частоте 18 МГц с общей скоростью передачи данных 300 МГц [4].

В центре Оптоэлектронных проблем информатики СПбГПУ, в котором работает автор, занимаются разработкой оптоэлектронных (ОЭ) процессоров [5]. Разрабатываются 1D и 2D пульсарные процессоры, использующие ВЗН-режим работы фотоприемников [6, 7]. Применение в ОЭ-процессорах известных ВЗН-ФПЗС затруднено, прежде всего из-за недостаточности количества элементов в столбце. Необходимы линейные и матричные ВЗН-ФПЗС с количеством элементов в столбце больше 500.

Для реализации ВЗН-режима можно использовать ПЗС-фотоприемники, предназначенные для работы в традиционном кадровом режиме накопления. В качестве матричных ВЗН-ФПЗС можно использовать ПЗС-фотоприемники с кадровым переносом типа FT (Frame Transfer) [1]. В качестве линейных ВЗН-ФПЗС предлагается использовать не однорегистровые ФПЗС, а широко распространенные двухрегистровые фотоприемники [1]. В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом возможностей реализации ВЗН-режима, выбора фотоприемников, вопросы управления кадровыми ФПЗС, а также включения их в специализированную цифровую камеру. Особенностью рассматриваемых применений является реализация при использовании одного фотоприемника двух режимов накопления – кадровый и ВЗН и их переключение во времени.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что в методику применения кадровых ФПЗС вводятся возможности ВЗН-накопления и переключения режимов. Разработан способ реализации методики, построенный на применении специального управления фотоприемником. Впервые реализован ВЗН-режим для линейного ФПЗС с выделенным фотодиодным регистром накопления и для матричного ФПЗС с кадровой организацией для заданного количества столбцов в матрице. Предложен алгоритм переключения режимов, который состоит из двух этапов: сброс в подложку оставшихся от предыдущего режима зарядовых пакетов и ожидание окончания переходного процесса в ФПЗС. Разработаны принципы построения цифровых камер с переключением режимов накопления, управлением частотой и синхронизацией кадров.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложен целый ряд ФПЗС-фотоприемников, которые можно использовать для ВЗН-накопления. Разработаны временные диаграммы сигналов управления для двух типов линейного и матричного ФПЗС. Предложена схема реализации алгоритма переключения режимов. Определено максимальное время переходного процесса. Разработаны принципы построения цифровых камер, в которых совмещаются и кадровый (Frame) и ВЗН (TDI) -режимы работы фотоприемника.

Режим временной задержки и накопления в ФПЗС для цифровых камер пульсарных процессоров. Постановка задачи

Режим временной задержки и накопления в ФПЗС разрабатывается для цифровых камер пульсарных процессоров. Эквивалентная схема ОЭ-системы приемного комплекса радиотелескопа с цифровой камерой представлена на рис. 1 [6]. На ней показаны следующие основные элементы: СВЧ-приемник, акустооптический (АО) процессор, ВЗН-ФПЗС, АЦП с усилителем и цифровой сигнальный процессор (ЦСП). В системе могут использоваться 1D или 2D АО-процессоры, выполняющие спектральное или спектрально-корреляционное преобразование сигнала. В первом случае применяется линейный, а во втором – матричный ВЗН-ФПЗС. Оптический сигнал, соответствующий спектру входного радиоизлучения пульсара, с выхода АО-процессора перемещается по полю фотоприемника с постоянной скоростью V_s , связанной с типом (мерой дисперсии) наблюдаемого пульсара [10]. Период сигнала определяется периодом принимаемого радиоизлучения. Скорость перемещения оптического сигнала в рассматриваемой системе составляет $10^5 - 10^6$ элемента в секунду (через 1-16 мкс сигнал переходит на следующий элемент фотоприемника) [11]. При использовании 2D АО-процессора оптический сигнал представляет собой динамическую интерферограмму [7].

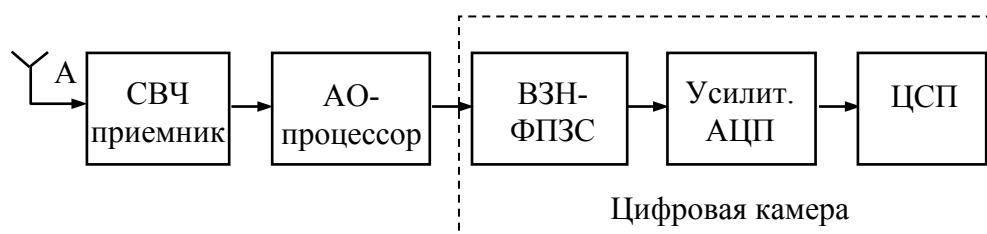


Рис. 1. Эквивалентная схема ОЭ-системы с цифровой камерой.

Для обработки и накопления перемещающихся сигналов не удастся использовать кадровый режим накопления, так как частота вывода кадров в этом случае будет превосходить частоту 1 ГГц, которую не поддерживают ПЗС-фотоприемники. В результате мы используем ВЗН-режим, в котором зарядовые пакеты под действием управляющих сигналов перемещаются электронным способом вдоль апертуры ФПЗС от одного края к другому подобно непрерывной цепочке (конвейеру). ОЭ-систему в этом случае можно назвать конвейерной [8].

Механизм ВЗН-накопления поясняет рис. 2. Матричный ФПЗС, имеющий M – строк и N – столбцов, ориентирован таким образом, чтобы его столбцы совпадали с вектором скорости движения изображения. Каждый столбец можно рассматривать как M -разрядный ПЗС-регистр, изолированный от других, но имеющий общее с ними управление. На фазные электроды ФПЗС подаются фазные напряжения такой частоты, что во всех столбцах потенциальные ямы, накапливающие заряд, перемещаются синхронно с изображением ($V_S = V_{CCD}$) к выходному регистру. После прохождения сигнала по M строкам накопленные зарядовые пакеты из всех N элементов последней строки передаются параллельно в выходной регистр (ВР) и считываются из него через выходное устройство (ВУ) последовательно.

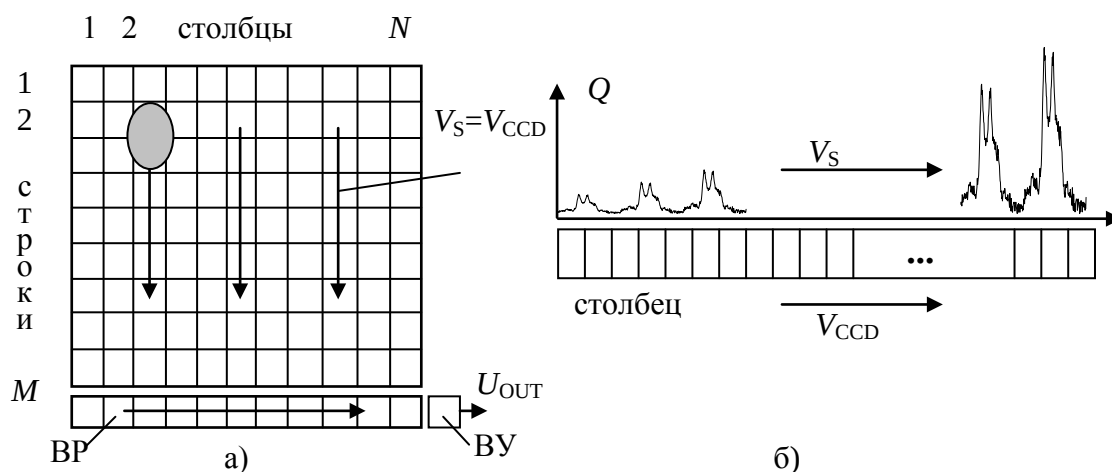


Рис. 2. Структура матричного ВЗН-ФПЗС (а) и механизм накопления заряда в одном столбце (б).

Таким образом, ВЗН-режим сводится к следующим шагам (рис. 3) [9]: Накопление элементарного кадра, перенос кадра зарядовых пакетов в ФПЗС матрице на одну строку, вывод строки в ВР. Вывод зарядов из выходного регистра. Идти на первый шаг.

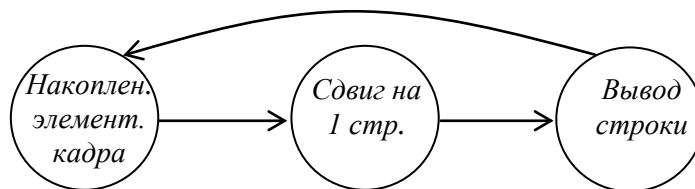


Рис. 3. Граф операций временной задержки и накопления.

Время накопления элементарного кадра или минимальный период дискретизации оптического сигнала определяется временем вывода одной строки T_L . Полное время интегрирования оптического сигнала в матрице равно $T_{INT}=M \cdot T_L$. В результате накапливаемый сигнал Q_Σ в M раз больше, чем сигнал при одном элементарном кадре накопления ФПЗС. Для уменьшения времени T_L используют несколько узлов вывода зарядовых пакетов, так в ВЗН-ФПЗС типа 21241 их 16 [4].

Реализовать ВЗН-режим можно на линейных и матричных ФПЗС как специальной ВЗН-структуры, так и традиционных кадровых ФПЗС при специальном управлении. Не достаточное разрешение ВЗН-ФПЗС не позволяет их использовать в радиоастрономических ОЭ-системах. Ниже рассмотрены матричные ФПЗС кадровой организации, позволяющие работать в ВЗН-режиме. Матрицы таких ФПЗС имеют размеры 1000х1000 и более элементов.

ВЗН-режим для матричного ФПЗС с кадровой организацией

Известно, что матричные ФПЗС с кадровой организацией с двумя секциями (накопления и хранения) или с одной сенсорной секцией накопления (ФПЗС с импульсной засветкой) позволяют организовать ВЗН-режим [1]. Следует выделить современный матричный односекционный ФПЗС типа CCD-595 фирмы Fairchild Imaging [12]. Фотоприемник имеет 9216 x 9216 элементов размером 8,75 мкм x 8,75 мкм, восемь выходных элементов (четыре с каждой стороны), частота считывания до 40 МГц. Минимальное время вывода строки составляет 60 мкс, что больше чем на порядок требуемого. Решением задачи является использование матричных ФПЗС фирмы Texas Instruments [13]. Основной особенностью этих приборов является возможность считывать из выходного регистра заданное количество элементов, а зарядовые пакеты остальных «сбрасывать» в подложку. Имеется достаточно большой набор матричных ФПЗС (табл. 1), которые различаются не только количеством и площадью элементов, но и количеством выходных регистров и

соответственно выходов. Первые элементы выходного регистра и первые элементы секции накопления изолированы от света их называют «dummy pixels». Они используются для привязки уровня сигнала к черному.

Табл. 1 Матричные ФПЗС с кадровой организацией фирмы Texas Instruments [13]

Тип	Количество элементов(H)x(V)	Площадь элемента (H)x(V) мкм x мкм	Количество выходов	Доп. элементы «dummy pixels»
ТС-237	658 x 496	7,4 x 7,4	2	4+22
ТС-245	786 x 242	5,8 x 19,75	3	11+2
ТС-281	1036 x 1010	8 x 8	1	9+28+1
ТС-341	754 x 488	11, 5 x 13,5	1	9+26

В разрабатываемом нами 2D пульсарном процессоре [7] необходим матричный ФПЗС с количеством элементов в столбце не менее 500; количеством столбцов не менее 40; возможностью накопления и в ВЗН, и в кадровом режиме (рис. 4.а). Матрица ТС-237 (658 x 496) удовлетворяет основным нашим требованиям. Структурная схема ФПЗС приведена на рис. 4.б. Матрица на сенсорном поле имеет 22 столбца слева защищенных от падающего света. Есть четыре строки, защищенных от света, между сенсорным полем и секцией хранения. Они необходимы для защиты секции хранения от токов утечки. Выходной регистр имеет дополнительных четыре «dummy»элемента. Основные сигналы управления *IAG* (Image Area Gate), *SAG* (Storage Area Gate) и *SRG* (Serial Register Gate) обеспечивают перенос зарядовых пакетов из областей накопления и хранения в ВР и ВУ. Два выходных регистра с выходами *OUT1* и *OUT2* дают возможность параллельно считывать строку зарядовых пакетов. На базе ФПЗС ТС-237 в настоящее время разрабатывается специализированная цифровая камера [14].

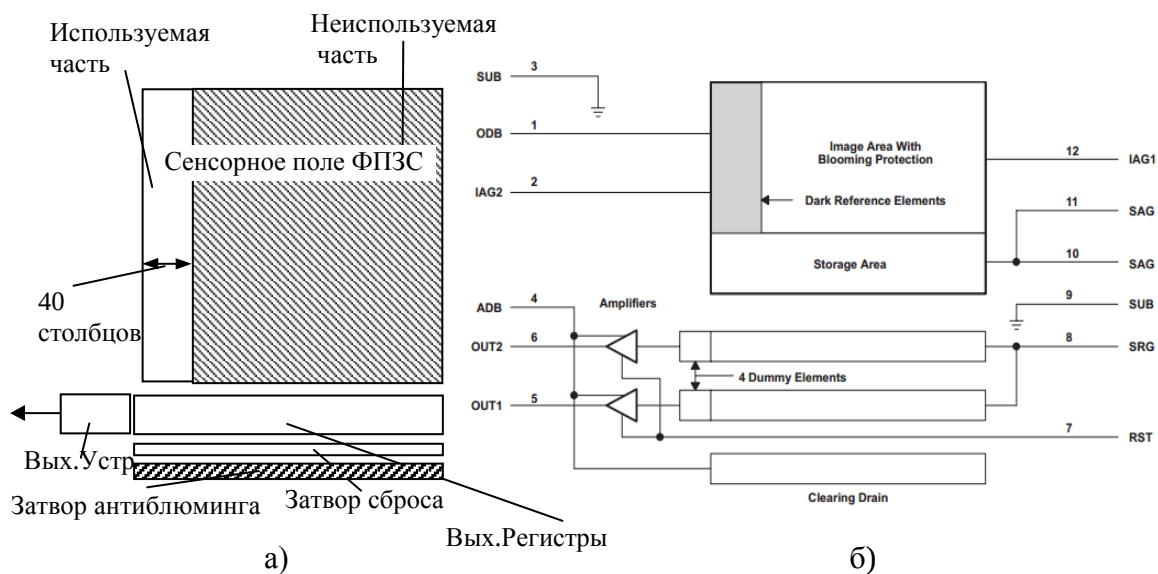


Рис. 4. Схема разбиения сенсорного поля матричного ФПЗС (а) и структура ФПЗС типа TC-237 (б).

Первый этап исследований был проведен с использованием ФПЗС TC-245 (рис. 5), которая была установлена в цифровую камеру EDC-1000L. Сигналы управления *IAG*, *SAG* и *SRG* также, как и для ФПЗС TC-237, служат для вывода зарядовых пакетов. Сигнал *ABG* (Antiblooming Gate) необходим для включения защиты от переполнения зарядами потенциальных ям в элементах накопления. Сигнал *TRG* (Transfer Gate) служит для мультиплексирования строки данных в три выходных регистра. Для полного разделения строки зарядов в три ВР требуется вырабатывать три *TRG* импульса подряд, однако, можно использовать и частичное разделение.

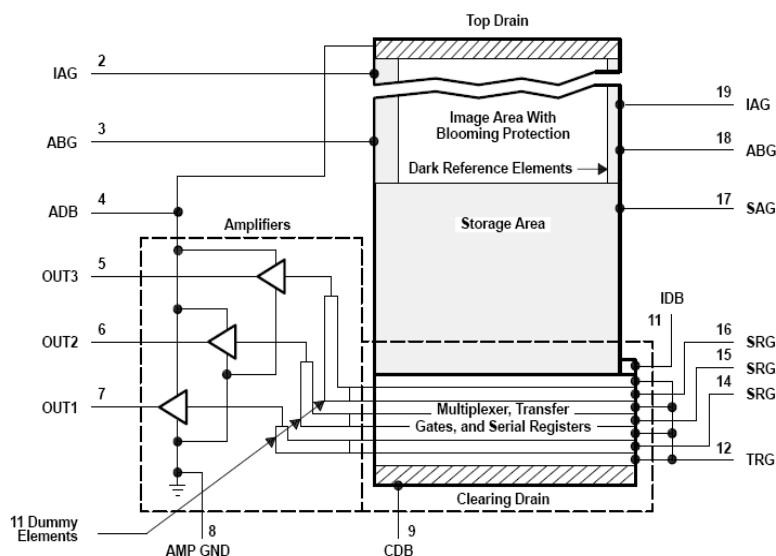


Рис. 5. Структурная схема матричного ФПЗС TC-245.

Специальная топология ФПЗС [15] включает мультиплексор на границе раздела секции накопления и выходных регистров и стоковую диффузионную область, параллельную выходным регистрам. Диффузионная область (CDB) и соответствующий затвор управления *TRG* позволяют переводить «сбрасывать» зарядовые пакеты из выходных регистров в стоковую область. В результате из фотоприемника можно выводить любое число начальных столбцов матрицы. Время вывода одной строки зарядовых пакетов, состоящей из 40 элементов при предельной для данного ФПЗС частоте 5 МГц составляет 3 мкс.

Временная диаграмма сигналов управления TC-245 для реализации ВЗН-режима представлена на рис. 6. Импульсы *IAG*, *SAG* приводят к сдвигу на одну строку зарядовых пакетов секций накопления и хранения. Промежуток между двумя очередными импульсами соответствует одному шагу ВЗН. В используемой камере используется только один выходной регистр, поэтому нужно подать импульс *TRG* для перемещения 1/3 строки в выходной регистр сдвига, считать данные и повторить эту процедуру ещё два раза. В примере (рис. 6) за три этапа считывается 12 столбцов ФПЗС. В алгоритме регистрации потока строк с ФПЗС учитывается то, что в дополнительных одиннадцати элементах ВР [табл.1] находятся зарядовые пакеты предыдущей строки.

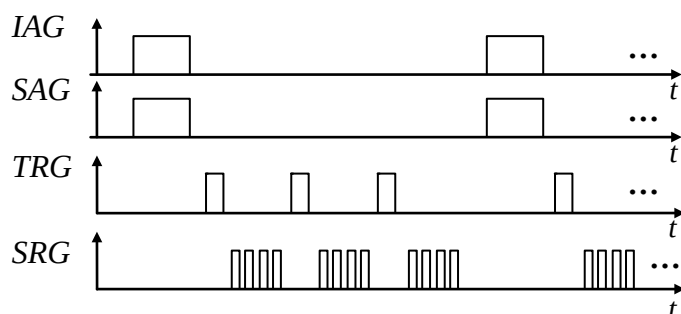


Рис. 6. Управляющие сигналы для реализации ВЗН-режима ФПЗС типа TC-245.

В ходе экспериментальных исследований была проверена описанная возможность реализации ВЗН-режима [16]. На рис. 7. показаны выходные изображения цифровой камеры, полученные при кадровом (а) и ВЗН (б) режимах ФПЗС. На вход подавалось перемещающееся изображение типа интерферограммы с вертикальным разрешением три элемента, полученное в макете пульсарного 2D процессора. Сигнал интерферограммы с периодом 20 мс перемещался по фотоприемнику со скоростью 6450 строк/с. При кадровом режиме работы ФПЗС за время накопления 500 мс сигнал многократно

проходит по секции накопления фотоприемника. На выходе наблюдаем изображение в диапазоне его перемещения по фотоприемнику (рис. 7.а). При ВЗН-режиме работы ФПЗС при согласовании скорости перемещения интерферограммы и зарядов в ФПЗС происходит «сжатие» выходного сигнала (рис. 7.б).

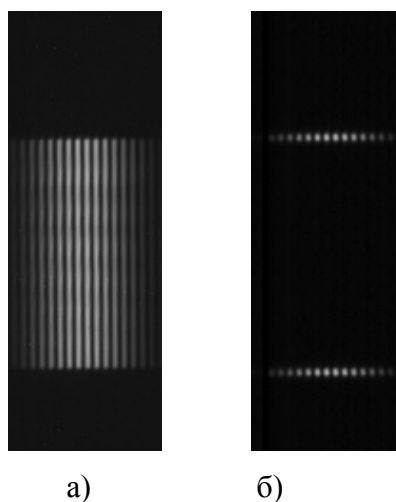


Рис. 7. Выходное изображение цифровой камеры, ФПЗС которой работал в кадровом (а) и ВЗН (б) режимах.

В алгоритме переключения кадрового и ВЗН режимов можно выделить два этапа: сброс в подложку оставшихся от предыдущего режима зарядовых пакетов и ожидание окончания переходного процесса в ФПЗС. Синхронизация момента начала переключения происходит по кадровому импульсу. При переходе из кадрового и ВЗН-режим сброс оставшихся зарядовых пакетов в секциях накопления и хранения осуществляется сбросом пакетов в стоковую область, а в результате однократного ВЗН-считывания всех строк секций устанавливается уровень выходного сигнала. При обратном переходе из ВЗН-режима в кадровый первый этап проводится аналогично путем сброса всех накопленных зарядовых пакетов в стоковую область, а во втором этапе в кадровом режиме достаточно пропустить лишь один кадр. Результаты экспериментальных исследований ВЗН-режима с отечественным матричным ФПЗС представлены в работе [17].

ВЗН-режим для линейного ФПЗС ILX703A Sony

Известны реализации ВЗН-режима для линейных ФПЗС с совмещенным регистром накопления и вывода [1]. ВЗН-режим можно получить и для ФПЗС с

выделенным фотодиодным регистром накопления (рис. 8). Автор имеет опыт работы с черно-белыми линейными ФПЗС фирмы SONY (табл. 2) которые имеют от 256 до 5000 элементов с частотой вывода до 40 МГц.

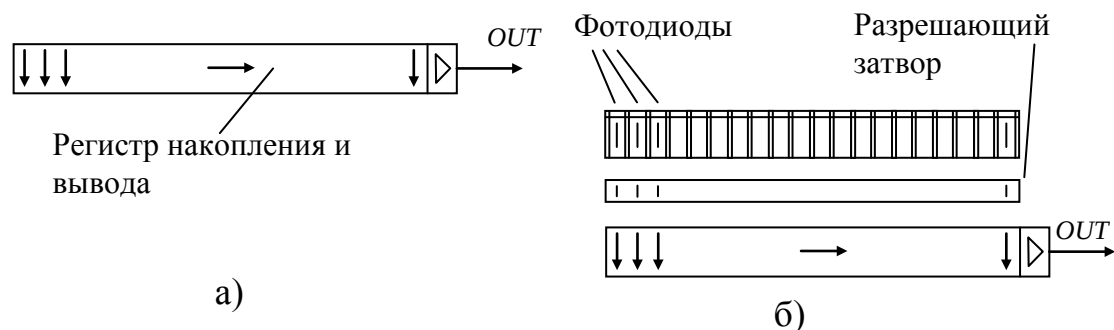


Рис. 8. Типовые структуры линейных ФПЗС с совмещенным регистром накопления и вывода (а), с выделенным фотодиодным регистром накопления (б).

Табл. 2 Линейные ФПЗС с кадровой организацией фирмы Sony [18]

Тип	Количество элементов	Площадь элемента (H)x(V) мкм x мкм	Макс. частота МГц
ILX-703	2048	14 x 14	5
ILX-511	2048	14 x 200	2
ILX-510	5150	7 x 7	40
ILX-521	256	14 x 14	2

ВЗН-режим был реализован для ФПЗС ILX703A Sony (рис. 9), можно ожидать, что ВЗН-режим будет работать для всех линеек аналогичной организации. ФПЗС ILX703A имеет регистр накопления из 2048 светочувствительных элементов, каждый из которых включает в себя p - n переход (фотодиод) и МОП-конденсатор. Фотодиоды разделены с помощью стоп-канальных диффузионных областей. С верхней стороны регистра накопления имеется механизм антиблуминга, с нижней стороны располагается ПЗС-регистр вывода с выходным устройством. Между стоком антиблуминга и регистром накопления находится затвор антиблуминга. При подаче сигнала *SHUT* заряд из регистра накопления сбрасывается в стоковую область. Кроме того, затвор антиблуминга позволяет регулировать высоту потенциального барьера для стока растекающихся из переполненных элементов носителей. В этом случае напряжение на затвор подается постоянно в течение всего времени накопления. Между ПЗС-регистром и регистром накопления находится фотозатвор. При подаче сигнала *ROG* заряд из регистра накопления

переносится в ВР. Считывание зарядовых пакетов из ВР через ВУ происходит по тактовым импульсам CLK .

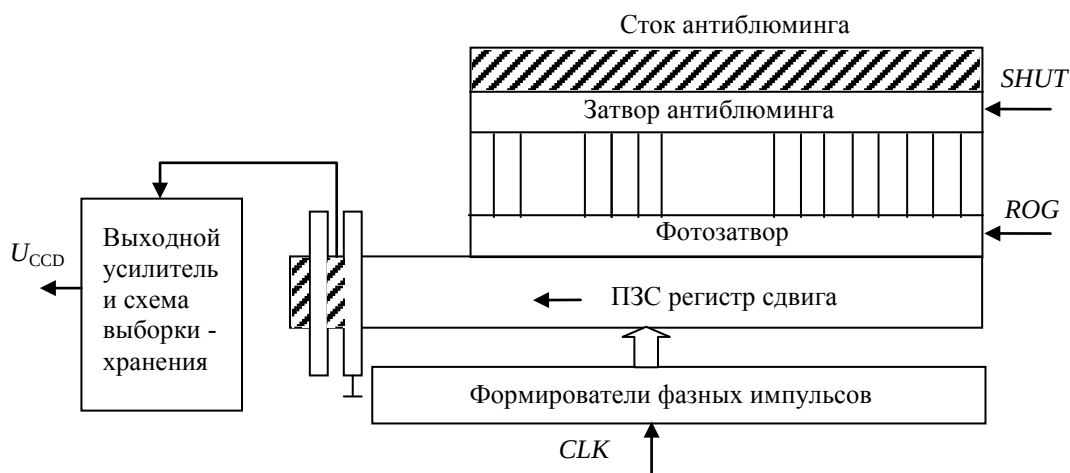


Рис. 9. Структурная схема линейного ФПЗС типа ILX703A фирмы SONY.

При кадровом режиме после окончания выделенного интервала накопления T_{INT} по импульсу напряжения ROG осуществляется одновременный параллельный перенос всех накопленных зарядовых пакетов в защищенные от света ПЗС-регистр считывания. Затем начинается новый цикл детектирования и накопления, а ранее накопленные зарядовые пакеты непрерывной цепочкой по тактовым импульсам CLK передаются ПЗС-регистром в выходное устройство. Время считывания T_L всех пакетов определяется частотой фаз F_{CCD} : $T_L = NT_{CCD} = N/F_{CCD}$. Оно должно быть меньше, чем T_{INT} .

При ВЗН-режиме каждый импульс ROG сопровождается импульсом CLK и сигналы из ФПЗС на видеоусилитель и АЦП поступают непрерывной цепочкой. Отрицательный импульс ROG должен быть вложен в положительный импульс CLK . Экспериментально определено, что время Δt должно быть не меньше 100 нс. На диаграмме показаны момент запуска АЦП и форма сигнала с выхода ФПЗС, которая отличается от формы сигнала при кадровом накоплении.

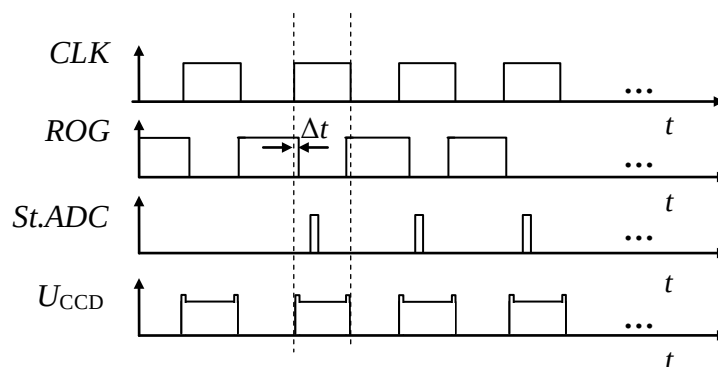


Рис. 10. Управляющие сигналы для реализации ВЗН-режима ФПЗС типа ILX703A.

Особенности применение ВЗН-режима в цифровых камерах

Основными особенностями рассматриваемого применения ВЗН-режима в цифровых камерах являются следующие операции: переключение режимов накопления, управление частотой и синхронизацией кадров.

В качестве основы построения цифровой камеры мы использовали цифровой сигнальный процессор фирмы Analog Devices ADSP-2181. ЦСП выполняет управляющие функции для ФПЗС, а также накапливает, передает и принимает данные в/из компьютера через интерфейс RS232 (рис. 11). На шину ЦСП подключены дешифратор адреса портов ввода-вывода, регистр управления (РУ) и регистр данных (РД). Формирователь импульсов управления ФПЗС по тактовым импульсам f_T вырабатывает сигнал старта АЦП *Start* и два сигнала управления *CLK* и *ROG* для линейного ФПЗС. Частоту тактовых импульсов f_T задает синтезатор (типа AD9835), который программируется через последовательный интерфейс при начальной загрузке программы. Временная диаграмма зависит от программы, загруженной в ЦСП. Программа позволяет осуществлять управление частотой f_T ВЗН и переключать режимы накопления. При включении ЦСП фотоприемник работает в ВЗН-режиме. При формировании команды ЦСП переключения в кадровый режим вырабатывается сигнал управления «Перекл. ВЗН/Кадр», по этому сигналу пропускается один импульс *ROG* на управление ФПЗС, остальные запрещаются. Для считывания следующего кадра необходимо снова выработать сигнал управления «Перекл. ВЗН/Кадр».

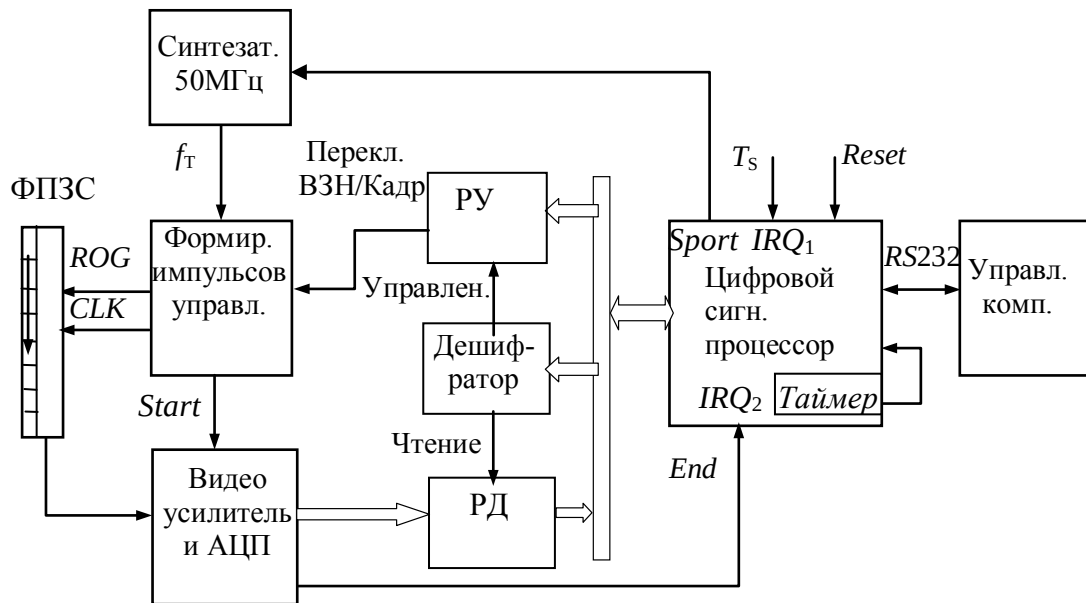


Рис. 11. Структурная схема цифровой камеры с ADSP 2181.

Алгоритм переключения режимов в программе управления ФПЗС заключался в том, что, во-первых, переключение осуществлялось синхронно с импульсами T_S периода сигналов, во-вторых, зарядовые пакеты сбрасывались не в стоковую область, а выводились через ВУ. В результате переключение режимов сводилось к тому, что по импульсу периода T_S переключалась временная диаграмма управления ФПЗС и несколько первых кадров не передавались в ЦСП. В пульсарном процессоре [6] «сбрасывались» до 10 кадров при переходе в кадровый режим и до 100 кадров при переходе в ВЗН-режим (в зависимости от частоты сдвига и периода T_S оптического сигнала). Для организации «сброса» данных в системе использовался запрет прерывания в ЦСП от сигнала *End* АЦП.

Обычно вопрос синхронизации при вводе отсчетов решается путем использования в ЦСП прерывания при появлении сигнала *End* АЦП (рис. 11). Трудности возникают в случае необходимости регистрировать фазу перемещающегося по ФПЗС сигнала точнее, чем период частоты T_{CCD} перемещения зарядовых пакетов в ВЗН-режиме, т.е. точнее, чем частота дискретизации, реализуемая фотоприемником. Ниже описан алгоритм, который позволяет измерить и учесть фазу сигнала относительно T_{CCD} .

Схема, поясняющая алгоритм приведена на рис. 12. В верхней части показан сигнал с выхода ФПЗС. Отсчеты с фотоприемника идут непрерывно с периодом T_{CCD} . Оптический сигнал перемещается по фотоприемнику с периодом T_S и со скоростью, которой соответствует скорость перемещения зарядовых пакетов. Кадры сигналов с ФПЗС накапливаются в ЦСП. В пульсарном процессоре период T_S импульсов пульсаров

находится в диапазоне от 1 мс до 1 с, так для пульсара PSR1937+21 $T_S = 1,5$ мс (около 90 отсчетов с ФПЗС) и постепенно меняется в процессе наблюдения. Временное разрешение сигнала определяется периодом T_{CCD} и для пульсара PSR1937+21 соответствует 16 мкс. Для точного измерения момента прихода импульса периода T_S необходимо измерение задержки Δt_m (рис. 12) между импульсами CLK и импульсами периода сигнала T_S .

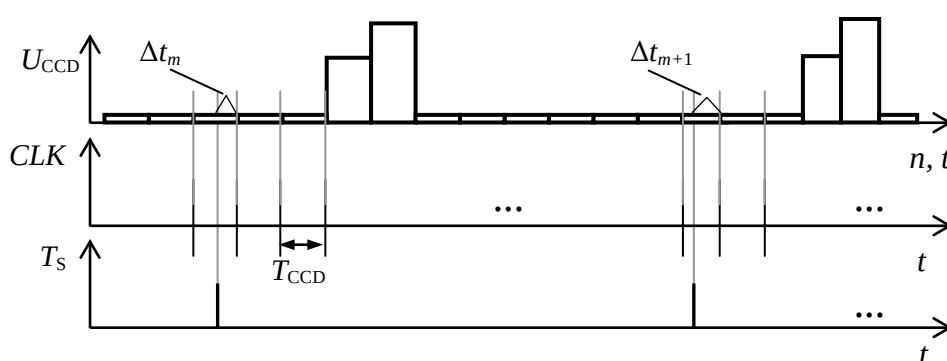


Рис. 12. Временные диаграммы сигнала с выхода ФПЗС и синхрои́мпульсов.

Для измерения задержки Δt_m можно использовать внутренний таймер ЦСП, частота работы которого должна быть выше максимальной частоты переноса зарядов в ФПЗС. Таймер включается по импульсу T_S , а выключается по импульсу CLK . Измеренная задержка Δt_m позволяет сделать соответствующий компенсирующий ее сдвиг внутри, полученного в ЦСП кадра сигнала. Для этой цели используется метод передискретизации [19]. Первоначально, например, десятикратное размножение отсчетов с использованием линейной интерполяции. Затем сдвиг сигнала на несколько отсчетов с целью компенсации задержки Δt_m . Итоговое восстановление исходного количества отсчетов (десятикратная децимация). Данный алгоритм используется в цифровой камере, которая проектируется на базе ЦСП BF537 [14].

Выводы

Рассмотрена методика применения кадровых ФПЗС для реализации ВЗН-режима. Выделен набор матричных и линейных ФПЗС фирм Fairchild Imaging и Sony, для которых предложена специальная временная диаграмма сигналов управления. Разработана схема реализации алгоритма переключения режимов. При переключении режимов кадровый – ВЗН следует и сбросить оставшиеся от предыдущего режима зарядовые пакеты, и ожидать

окончание переходного процесса в фотоприемнике. Разработаны принципы построения цифровых камер, в которых совмещаются и кадровый и ВЗН -режимы работы фотоприемника. Представлены результаты регистрации оптических сигналов при разных режимах накопления в ФПЗС. Предложена схемная реализация цифровой камеры на основе ЦСП. Обращено внимание на необходимость решения вопросов синхронизации частоты ВЗН и периода оптического сигнала проецируемого на ФПЗС. Рассмотренные режимы работы матричных ФПЗС можно с успехом использовать и при проектировании гибридных оптоэлектронных микросхем [20].

Автор выражает благодарность сотрудникам Центра оптоэлектронных проблем информатики СПбГПУ (проф., д.ф.-м.н. Лаврову А.П., к.ф.-м.н. Иванову С.И., к.т.н. Круглову С.К., к.ф.-м.н. Саенко И.И.) за участие на разных стадиях в проведении экспериментов и за обсуждение результатов исследований.

Список литературы

1. Holst G.C., Lomheim T.S. CMOS/CCD Sensors and Camera Systems. SPIE Press, 2007. 376 p.
2. Lepage G., Materne A., Renard Ch. A CMOS image sensor for Earth observation with high efficiency snapshot shutter. Available at: <http://static.docstoccdn.com/docs/53475596/A-CMOS-image-sensor-for-Earth-observation-with-high> , accessed 30.04.2013.
3. TDI-CCD матрицы. Режим доступа: <http://www.hamamatsu.ru/TDI%20CCD.htm> (дата обращения 30.04.2013).
4. CCD 21241 Data Sheet. Available at: <http://www.fairchildimaging.com/catalog/focal-plane-arrays/tdi-ccds/ccd-21241> , accessed 30.04.2013.
5. Esepkina N.A., Lavrov A.P., Molodyakov S.A., Saenko I.I. Optoelectronic processors in radiotelescope receiving complexes // Proc. SPIE. 2008. Vol. 7006 From Conference Lasers for Measurements and Information Transfer 2007. 70060S. <http://dx.doi.org/10.1117/12.802301>
6. Есепкина Н.А., Лавров А.П., Молодяков С.А. Акустооптический компенсатор дисперсии для наблюдения радиоизлучения пульсаров // Антенны. 2006. № 7. С. 69-76.
7. Лавров А.П., Молодяков С.А., Саенко И.И. Акустооптоэлектронные устройства в радиоастрономических приемных комплексах // Научно-технические ведомости

- СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2010. Т. 103, № 4. С. 233-242.
8. Молодяков С.А. Оптоэлектронные процессоры с ПЗС-фотоприемниками. Конвейерная обработка сигналов // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 2-8.
9. Лыпарь Ю.И., Молодяков С.А. Методология системного проектирования аналогоцифровых оптоэлектронных процессоров обработки сигналов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. Т. 138, № 6. С. 181-190.
10. Манчестер Р., Тейлор Дж. Пульсары: пер. с англ. М.: Мир, 1980. 315 с.
11. Esepkina N.A., Lavrov A.P., Molodyakov S.A. Acousto-optical pulsar processor usage for interstellar medium dispersion measurements // Proc. SPIE. 2005. Vol. 5447 From Conference Lasers for Measurements and Information Transfer 2004. P. 288-295.
<http://dx.doi.org/10.1117/12.610469>
12. CCD595 Datasheet. Available at: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/207611/FAIRCHILD/CCD595.html> , accessed 30.04.2013.
13. Texas Instruments. Available at: www.ti.com , accessed 30.04.2013.
14. Молодяков С.А., Юдин К.Ю. Цифровая камера на сигнальном процессоре BF537 для гибридной пульсарной машины // Научные исследования и инновационная деятельность (СПбГПУ, 2009 г.): материалы научно-практической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. С. 56-65.
15. Hynecsek J. High-resolution 8-mm CCD Image Sensor with Correlated Clamp Sample and Hold Charge Detection Circuit // IEEE Transactions on Electron Devices. 1986. Vol. ED-33, no. 6. P. 850-862.
16. Лавров А.П., Егоров П.Г., Иванов С.И., Молодяков С.А., Саенко И.И. Двухканальный интерферометрический процессор радиосигналов с работой ПЗС-фотоприемника в ВЗН режиме // Конф. "Лазеры. Измерения. Информация" (СПб, 2-4 июня 2009 г.) : тез. докл. СПб, 2009. С. 69-70.
17. Есепкина Н.А., Гаврилов Г.А., Молодяков С.А. и др. Оптоэлектронный процессор на основе матричного ФПЗС с волоконной шайбой // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18, № 3. С. 32-37.
18. CCD Linear Image Sensor SONY. Available at: http://elcodis.com/searchparts/ilx_ccd.html , accessed 30.04.2013.

19. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.
20. Лавров А.П., Молодяков С.А. Возможности построения процессоров обработки сигналов в виде гибридных оптоэлектронных микросхем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2008. Т. 65, № 5. С. 144-151.

Technique of utilizing pulsar processors of frame CCD photodetectors in digital cameras in the modes of time delay and accumulation

05, May 2013

DOI: 10.7463/0513.0577481

Molodyakov S.A.

Russia, St.Petersburg State Polytechnic University (SPbSPU)

molod@cef.spbstu.ru

The author considers application of CCD photodetectors designed to work in the frame accumulation mode for usage in the modes of time-delay and accumulation. A set of matrix and linear CCD photodetectors was determined for the problem of constructing digital cameras of pulsar astronomy processors. A special time diagram of control signals of frame CCD photodetectors, which provides special time-delay and integration mode, was proposed. An algorithm for switching modes of CCD photodetector, which takes into account the transition process, was developed. For the first time modes of time-delay and accumulation were implemented for two types of frame CCD photodetectors. Principles of constructing digital cameras with accumulation changeover, frequency control and frame synchronization were derived. Implementation of digital cameras based on a digital signal processor was presented.

Publications with keywords: [charge-coupled device](#), [linear CCD](#), [matrix CCD](#), [time-delay and integration](#), [digital camera](#), [digital signal processor](#)

Publications with words: [charge-coupled device](#), [linear CCD](#), [matrix CCD](#), [time-delay and integration](#), [digital camera](#), [digital signal processor](#)

References

1. Holst G.C., Lomheim T.S. *CMOS/CCD Sensors and Camera Systems*. SPIE Press, 2007. 376 p.
2. Lepage G., Materne A., Renard Ch. *A CMOS image sensor for Earth observation with high efficiency snapshot shutter*. Available at: <http://static.docstoccdn.com/docs/53475596/A-CMOS-image-sensor-for-Earth-observation-with-high> , accessed 30.04.2013.
3. *TDI-CCD matrity* [TDI-CCD matrix]. Available at: <http://www.hamamatsu.su/TDI%20CCD.htm> , accessed 30.04.2013.

4. CCD 21241 Data Sheet. Available at: <http://www.fairchildimaging.com/catalog/focal-plane-arrays/tdi-ccds/ccd-21241> , accessed 30.04.2013.
5. Esepkina N.A., Lavrov A.P., Molodyakov S.A., Saenko I.I. Optoelectronic processors in radiotelescope receiving complexes. *Proc. SPIE*, 2008, vol. 7006 From Conference Lasers for Measurements and Information Transfer 2007, 70060S. <http://dx.doi.org/10.1117/12.802301>
6. Esepkina N.A., Lavrov A.P., Molodiakov S.A. Akustoopticheskii kompensator dispersii dlia nabliudeniia radioizlucheniia pul'sarov [Acoustooptical dispersion compensator for pulsar radioemission observation]. *Antenny*, 2006, no. 7, pp. 69-76.
7. Lavrov A.P., Molodiakov S.A., Saenko I.I. Akustooptoelektronnye ustroistva v radioastronomicheskikh priemnykh kompleksakh [Acousto-opto-electronic devices for radio astronomical receivers]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [St. Petersburg state polytechnical university journal. Computer science. Telecommunications and control systems], 2010, vol. 103, no. 4, pp. 233-242.
8. Molodiakov S.A. Optoelektronnye protsessory s PZS-fotopriemnikami. Konveiernaia obrabotka signalov [Optoelectronic processors with CCD photo detectors. Pipeline signal processing]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2008, no. 6, pp. 2-8.
9. Lypar' Iu.I., Molodiakov S.A. Metodologiya sistemnogo proektirovaniia analogotsifrovyykh optoelektronnykh protsessorov obrabotki signalov [System design methodology for analog and digital optoelectronic signal processors]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [St. Petersburg state polytechnical university journal. Computer science. Telecommunications and control systems], 2011, vol. 138, no. 6, pp. 181-190.
10. Manchester R., Taylor J. *Pulsars*. San Francisco, Freeman, 1977. (Russ. ed.: Manchester R., Teilor Dzh. *Pul'sary*. Moscow, Mir, 1980. 315 p.).
11. Esepkina N.A., Lavrov A.P., Molodyakov S.A. Acousto-optical pulsar processor usage for interstellar medium dispersion measurements. *Proc. SPIE*, 2005, vol. 5447 From Conference Lasers for Measurements and Information Transfer 2004, pp. 288-295. <http://dx.doi.org/10.1117/12.610469>
12. CCD595 Datasheet. Available at: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/207611/FAIRCHILD/CCD595.html> , accessed 30.04.2013.
13. Texas Instruments. Available at: www.ti.com , accessed 30.04.2013.
14. Molodiakov S.A., Iudin K.Iu. Tsifrovaia kamera na signal'nom protsessore BF537 dlia gibridnoi pul'sarnoi mashiny [Digital camera on signal processor BF537 for hybrid pulsar machines]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsionnaia deiatel'nost': materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific research and innovative activities : materials of the scientific-practical conference]. SPbSPU, 2009, SPb, SPbSPU Publ., 2009, pp. 56-65.
15. Hynecek J. High-resolution 8-mm CCD Image Sensor with Correlated Clamp Sample and Hold Charge Detection Circuit. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1986, vol. ED-33, no. 6, pp. 850-862.

16. Lavrov A.P., Egorov P.G., Ivanov S.I., Molodiakov S.A., Saenko I.I. Dvukhkanal'nyi interferometricheskii protsessor radiosignalov s rabotoi PZS-fotopriemnika v VZN rezhime [Dual channel interferometric processor of radio signals with the work of the CCD photodetectors in TDI mode]. *Konf. "Lazery. Izmereniia. Informatsiia" : tez. dokl.* [Conf. "Lasers. Dimension. Information" : theses of reports]. St. Petersburg, 2-4 June 2009, SPb, 2009, pp. 69-70.
17. Esepkina N.A., Gavrilov G.A., Molodiakov S.A. i dr. Optoelektronnyi protsessor na osnove matrichnogo FPZS s volokonnoi shaiboi [Optoelectronic processor based on the matrix PDCC with fiber washer]. *Pis'ma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki* [Technical Physics Letters], 1992, vol. 18, no. 3, pp. 32-37.
18. *CCD Linear Image Sensor SONY*. Available at: http://elcodis.com/searchparts/ilx_ccd.html , accessed 30.04.2013.
19. Lyons R.G. *Understanding Digital Signal Processing*. 2nd ed. Prentice Hall PTR, 2004. 688 p. (Russ. ed.: Laions R. *Tsifrovaia obrabotka signalov*. Moscow, Binom-Press, 2006. 656 p.).
20. Lavrov A.P., Molodiakov S.A. Vozmozhnosti postroeniia protsessorov obrabotki signalov v vide gibridnykh optoelektronnykh mikroskhem [Possibilities of construction of signal processors in the form hybrid optoelectronic microcircuits]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [St. Petersburg state polytechnical university journal. Computer science. Telecommunications and control systems], 2008, vol. 65, no. 5, pp. 144-151.