

## Generation dynamics of a phase-conjugated Nd:YAG-laser with passive Q-switching and parallel configuration cavities

S. A. Anisimova, P. E. Teterin

Kovrov State Technological Academy, Kovrov, Russia

*The system of phase — conjugated laser with the parallel configuration of optically coupled loop cavities and passive Q-switch for reception of powerful laser radiation is offered. The numerical modeling allows defining features of generation dynamics in the laser system. The maximum energy output parameters and optimal number of cavities are defined.*

УДК 537.533.3:681.7.015.2

## Унифицированная система обработки сигналов многоэлементного фотоприемного устройства ИК-диапазона на основе микросхемы программируемой логики типа FPGA

И. И. Кремис, Ю. Ф. Однолько

Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН, г. Новосибирск, Россия

*Рассмотрены пути построения унифицированной системы обработки сигналов многоэлементного фотоприемного устройства ИК-диапазона, возможности модульного построения системы обработки сигналов, приведены ее структура и реализация. Описан разработанный унифицированный электронный модуль для тепловизионных приборов на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) типа FPGA. Модуль имеет размеры 115×70×15 мм и потребляет мощность 4 Вт. Приводятся функциональная схема разработанного модуля и результаты использования унифицированного модуля совместно с охлаждаемым ИК-приемником на основе HgCdTe 320×256 и неохлаждаемым микроболометрическим ИК-приемником на основе резистивного аморфного кремния 320×240.*

Построение электронных систем обработки сигналов является достаточно трудоемкой задачей. При всем многообразии типов фотоприемников для получения тепловизионного изображения на экране телевизионного монитора требуется применение однотипных операций по приему, выводу и обработке сигналов [1—10]. Ограничение на применение того или иного приемника обуславливается наличием в системе ресурсов, необходимых для обработки поступающего с приемника сигнала. Следовательно, возникает вопрос возможности создания электронной системы обработки сигнала, способной работать с некоторым набором ИК-приемников, не требуя при этом конструктивных или схемотехнических изменений. Создание узкоспециальной электронной системы для каждого типа приемника может быть оправдано лишь для при-

боров с минимальными массогабаритными характеристиками и потребляемой мощностью.

Цель настоящей статьи — обозначить некоторые пути решения вопросов создания унифицированной системы обработки сигналов многоэлементных ИК-приемников, в основу построения которой положен модульный принцип [10], где система конструктивно разбивается на модули, каждый из которых выполняет определенные функции. При этом применение унифицированной системы благодаря возможности изменения конструктивных и функциональных параметров модулей позволит легко модифицировать прибор, построенный на его основе.

Ввиду того что структурная схема электронного тракта тепловизионных приборов, отличаясь друг от друга в каждом конкретном случае, имеет общий принцип построения схемы выделения и

обработки сигнала, появляется возможность разбить ее на отдельные модули. В данной работе предлагается построение системы по аппаратно-программному принципу [1, 9] на базе основной платы с применением в ее основе микросхемы ПЛИС. Причем количество выводов с функцией ввода—вывода у современных микросхем программируемой логики типа FPGA может достигать тысячи [7]. Благодаря этому плата позволит изменять свою конфигурацию программными средствами и наращивать ресурсы системы посредством избыточности внешних цифровых шин, выведенных на разъемы расширения, служащие для подключения дополнительных модулей. Деление на модули может быть любым как по функциям — модуль выполняет строго определенную функцию (модуль памяти, модуль процессора обработки сигналов), так и по структуре, когда одна функция может выполняться в разных модулях (выполнение алгоритма с использованием двух процессоров, расположенных в разных модулях).

Для каждого разработчика системы цифровой обработки сигналов (ЦОС) и типа применяемого фотоприемного устройства (ФПУ) в каждом конкретном случае функциональная схема системы может различаться. Поэтому рассмотрим тракт ЦОС [4—6, 9], принятый для построения большинства аналого-цифровых систем телевизионных приборов (рис. 1), и проанализируем требования, предъявляемые к функциональным элементам системы при использовании различных ИК-приемников.

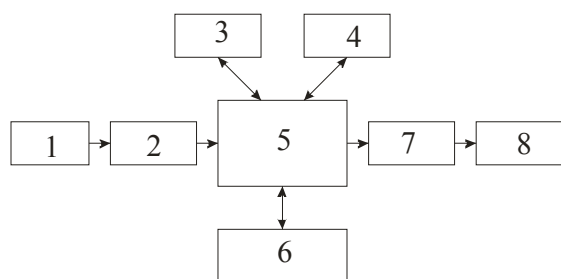


Рис. 1. Аппаратно-программная реализация системы ЦОС на базе ПЛИС по схеме ФПУ—АЦП—ЦОС—ЦАП—ТВ:

1 — фотоприемное устройство (ФПУ); 2 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 3 — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); 4 — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); 5 — программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС); 6 — процессор обработки сигналов; 7 — цифроаналоговый преобразователь (ЦАП); 8 — телевизионный монитор

Тракт обработки сигнала системы построен по принципу аппаратно-программной реализации [1], где сочетание аппаратных и программных средств позволяет снизить требования к вычислительным возможностям элементной базы и упростить реализацию системы ЦОС в целом. Кроме всех про-

чих достоинств подобной реализации системы [1], отметим, что при определенной организации можно добиться ее применения для широкого круга прикладных задач, отличающихся как по требованиям, так и по назначению.

1. **ФПУ.** Первичная обработка сигнала производится в ФПУ, включающем многоэлементный приемник излучения и схему считывания. На ФПУ от внешних модулей подаются напряжение питания, которое может быть постоянным или импульсным [4], сигналы управления мультиплексором и напряжения смещения рабочих элементов матрицы. В зависимости от конкретного применяемого приемника ФПУ может иметь один или несколько выходных аналоговых видеосигналов, выходы одного или нескольких термодатчиков, служащих для контроля температурного режима приемника, и выходные цифровые сигналы работы мультиплексора. В зависимости от типа используемого приемника все вышеупомянутые сигналы могут различаться как количеством, так и электрическими параметрами.

Поэтому ввиду различия выходных сигналов и сигналов управления для каждого типа приемника в каждом конкретном случае требуется разработка схемы обвязки приемника, обеспечивающей требуемые электрические параметры и согласование (к примеру, по уровню) сигналов в случае обмена данными между приемником и платой обработки сигналов.

При использовании охлаждаемых ФПУ рабочая температура приемника обеспечивается системой криогенного охлаждения, а при неохлаждаемых ФПУ — термостабилизацией. Здесь также требуется разработка индивидуальной схемы управления для применяемой системы охлаждения и термостабилизации.

2. **АЦП** выполняет операции дискретизации, квантования и кодирования выходного сигнала приемника излучения. Выходной сигнал приемника излучения [5] обычно поступает на вход усилителя, который предназначен для усиления выходного сигнала приемника до необходимого уровня, а также согласования выходного импеданса ФПУ и входного импеданса АЦП. Требования, предъявляемые к усилителю, относятся к следующим его характеристикам: входному импедансу, коэффициенту усиления, динамическому диапазону, полосе пропускания и уровню собственного шума. Кроме того, иногда оговариваются потребляемая мощность усилителя, а также форма его частотной и фазовой характеристик.

Как и для ФПУ, здесь следует разрабатывать индивидуальную электронную схему усиления и аналого-цифрового преобразования выходного сигнала приемника ввиду необходимости подбора

усилителя для каждого типа приемников, имеющих различные параметры выходных сигналов.

3. **ОЗУ** применяется для хранения данных, к которым требуется оперативный доступ. К примеру, это могут быть коэффициенты коррекции неравномерности чувствительности элементов и таблица выбитых элементов приемника. В телевизионных системах для хранения различных числовых значений, необходимых при выполнении алгоритмов обработки сигналов, применяют быстродействующие микросхемы памяти (SRAM, SDRAM). Применение того или иного типа памяти обуславливается ее энергопотреблением, минимальным временем доступа к данным и размерностью обрабатываемых системой массивов данных, что напрямую зависит от применяемого ИК-приемника.

4. **ПЗУ** применяется для хранения информации, доступ к которой не требует скорости, причем данные хранятся сколь угодно долго, независимо от наличия питающего напряжения. Здесь хранятся таблицы выбитых элементов, коэффициенты коррекции неравномерности чувствительности элементов и прочие константы в случае, если они не рассчитываются оперативно в процессе работы прибора. Все необходимые данные из ПЗУ при включении питания прибора либо в процессе его работы могут переписываться в ОЗУ для использования в скоростных процессах обработки изображения. Здесь, как правило, используется FLASH-память, являющаяся разновидностью энергонезависимой памяти с низким (сопоставимым с DRAM) временем доступа по чтению и относительно высоким временем записи. Так же как и для ОЗУ, применение того или иного типа памяти ПЗУ обуславливается ее энергопотреблением, временем доступа к данным и размерностью обрабатываемых системой массивов данных.

5. **ПЛИС**. Построение системы ЦОС по модульному принципу возможно без использования ПЛИС как основы построения системы. Но благодаря использованию ПЛИС высокого уровня интеграции появляется возможность, используя избыточность выводов с функцией ввода—вывода, повысить гибкость системы путем перепрограммирования ПЛИС. Имея внешние цифровые шины, разведенные на разъемы, можно конфигурировать выводы микросхемы программируемой логики как угодно, при этом созданные в проекте прошивки ПЛИС схемы обработки сигналов не изменяются и могут быть сконфигурированы и дополнены каким угодно образом, что позволит подключать дополнительные цифровые или аналого-цифровые модули, выполняющие дополнительные функции.

Кроме того, ПЛИС позволяет применить разработанные как производителем микросхемы программируемой логики, так и разработчиком системы стандартные мегафункции ввода—вывода для работы с внешними устройствами, расположенными на основной плате: USB, ЦАП, скоростные интерфейсы ввода—вывода и т. д. Для выполнения алгоритмов ЦОС ПЛИС также позволяет организовать посредством жесткой логики конвейерный принцип выполнения арифметических операций, что существенно повышает общую производительность системы ЦОС.

6. **Процессор обработки сигналов** в предлагаемой системе служит для реализации сложных алгоритмов обработки, требующих анализа данных при относительно невысокой скорости вычислений. При включении прибора посредством использования процессора осуществляются расчет различных коэффициентов в соответствии с выбранным алгоритмом и запись рассчитанных данных в ПЗУ или ОЗУ. Записанные значения данных используются системой ЦОС в процессе работы прибора и при необходимости обновляются. В процессе работы прибора процессор может выполнять вспомогательные функции: контроль температуры прибора, анализ уровней цифровых сигналов, взаимодействие с другими модулями при работе в составе комплекса и т. д. Выбор того или иного процессора обусловлен особенностями решаемых им задач.

7. **ЦАП** предназначен для преобразования выходного цифрового видеосигнала в аналоговый сигнал. Далее аналоговый сигнал, представляющий собой сформированный полный телевизионный сигнал требуемого формата, как правило, поступает на вход высокочастотного операционного усилителя для усиления выходного сигнала ЦАП до необходимого уровня, а также согласования выходного импеданса ЦАП и входного импеданса телевизионного монитора. Данный узел, как правило, является однотипным для большинства приборов, имеющих на выходе полный телевизионный сигнал.

Итак, на основании вышеизложенного представляется возможным разбить схему, приведенную на рис. 1, на два модуля, один из которых разрабатывается для каждого типа приемника, а другой — универсальный, для обработки сигналов приемников разного типа (рис. 2):

- входной модуль — ФПУ, усилитель, АЦП;
- модуль основной платы — микроконтроллер, ПЛИС, ОЗУ, ПЗУ, ЦАП.

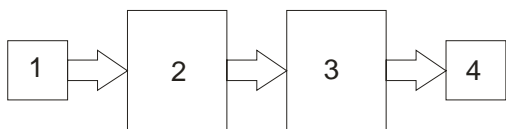


Рис. 2. Модули унифицированной системы ЦОС:

- 1 — фотоприемное устройство; 2 — входной модуль;  
3 — модуль основной платы; 4 — телевизионный монитор

Входной модуль содержит схему, обеспечивающую все необходимые для работы приемника сигналы. Так, схема формирует сигналы управления коммутатором приемника и обеспечивает требуемые напряжения питания и смещения ФПУ. Для обмена данными с основным модулем необходима схема подготовки данных, которая обеспечивает передачу цифровых потоков в заданном формате. Кроме того, при использовании приемников с многоканальным выходом видеосигнала для сокращения числа и ширины цифровых шин между входным и основным модулями рекомендуется сформировать единый цифровой поток, что также скажется на массогабаритных показателях и показателях надежности системы в целом.

Модуль основной платы с предложенным набором функциональных узлов является полноценным трактом обработки сигнала, причем различия для систем, использующих разные типы приемников, определяются объемом ресурсов, необходимых для выполнения алгоритмов обработки. Проектирование данной системы предлагается начинать с рассмотрения типов приемников, использование которых предполагается в перспективе. На основной плате рекомендуется расположить ресурсы, необходимые для обработки выходного сигнала приемника, выбранного из ряда перспективных и имеющего формат выходного сигнала с минимальным количеством пикселей на кадр. В этом случае модуль обработки, построенный для обработки сигналов данного приемника, будет иметь минимальные габариты и потребляемую мощность.

Обмен данными между входным блоком и блоком обработки следует привести к единому стандарту, принятому для конкретной унифицированной системы. Сюда следует отнести выходной

цифровой сигнал АЦП, сигнал управления входным модулем и сигнал контроля, поступающий от входного модуля к модулю обработки. В перспективе рассматривается интерфейс ввода—вывода для высокоскоростных систем передачи данных типа LVDS. К примеру, ПЛИС серии Stratix поддерживают ряд стандартов ввода—вывода по передаче сигналов как по однопроводным линиям связи, так и по дифференциальным линиям. Это позволяет легко связывать устройства Stratix по различным интерфейсам с объединительными платами, шинами процессоров, устройствами памяти и прочими контроллерами. В совокупности полоса пропускания устройств Stratix достигает 600 Gbps и доступ к 116 быстродействующим дифференциальным каналам ввода—вывода [7]. Так, один канал LVDS устройства Stratix обеспечивает пропускную способность до 840 Mbps [7], что позволяет передавать до 700 кадров/с в случае использования для входного модуля 14-разрядного АЦП с форматом кадра ИК-приемника  $320 \times 256$  пикселей.

Для подключения дополнительных модулей, как было сказано выше, предполагается применить разъемы расширения. При этом использование одного двухрядного разъема, расположенного на основной плате, длиной 50 мм и шагом выводов 1,27 мм позволит получить внешнюю шину с общим количеством используемых выводов, равном 78. Это обеспечивает подключение дополнительного модуля, использующего DSP-процессор ADSP-21065L с адресной шиной 24 бит и шиной данных 32 бит [8]. Возможная конструкция унифицированной системы ЦОС, состоящая из входного модуля, основного модуля, модуля DSP и модуля памяти, схематично представлена на рис. 3.

Также разработан, настроен и испытан унифицированный электронный модуль (УЭМ), позволяющий полноценно использовать подключаемый приемник и получать требуемые характеристики тепловизионного прибора (рис. 4). УЭМ имеет размеры  $115 \times 70 \times 15$  мм и потребляемую мощность 4 Вт.

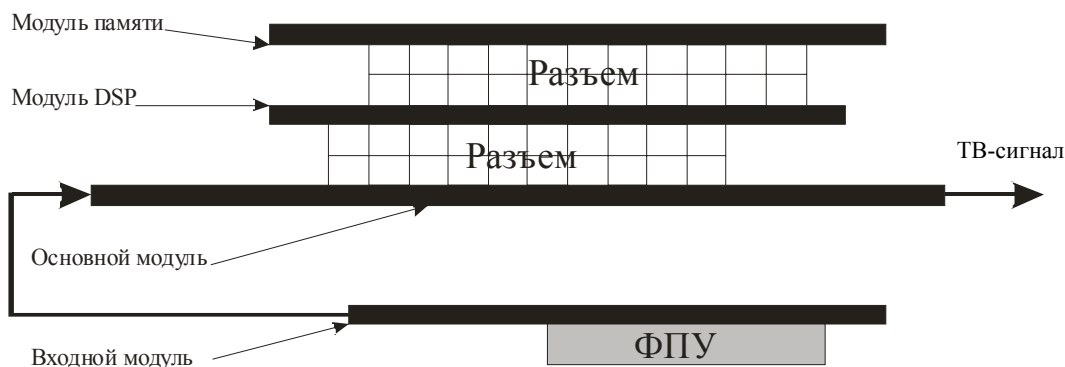


Рис. 3. Возможная конструкция унифицированной системы ЦОС

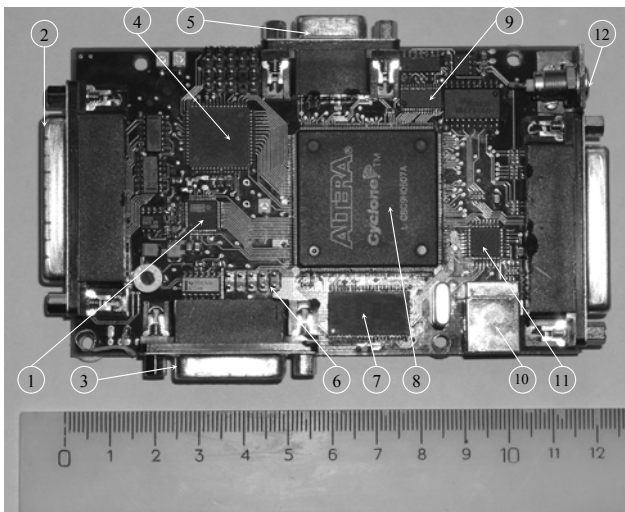


Рис. 4. Унифицированный электронный модуль:

- 1 — АЦП; 2 — разъем для подключения входного модуля;
- 3 — разъем питания; 4 — микроконтроллер; 5 — разъем интерфейса RS-422; 6 — разъем для подключения кабеля ByteBlaster; 7 — микросхема памяти CMOS SRAM;
- 8 — ПЛИС серии Cyclone; 9 — ЦАП; 10 — разъем USB 1.1; 11 — микросхема драйвера USB 1.1; 12 — разъем подключения ТВ-монитора

Разработанный УЭМ основан на принципе реализации всех основных функций прибора на ПЛИС типа FPGA. Благодаря этому существенно повышаются возможности изменения функциональных параметров электронного модуля, заложенные в ПЛИС, которые позволяют превратить его в ИС с любой функцией цифровой логики [3]. Следовательно, возможна унификация модуля для определенного ряда ИК-приемников.

Изменение конфигурации (программирование) ПЛИС осуществляется посредством загрузки данных конфигурации с использованием технологии внутрисистемного программирования. Технология внутрисистемного программирования состоит в том, что конфигурирование ПЛИС или конфигурационного ПЗУ осуществляется с помощью персонального компьютера через кабель типа ByteBlaster, подключаемый к соответствующему разъему УЭМ (см. рис. 4). Применение данной технологии дает возможность вносить изменения в электронную систему на любом этапе процесса ее проектирования [1].

Функциональная схема электронного модуля представлена на рис. 5. Разработанный модуль объединяет в себе управление мультиплексором матрицы, дальнейшую обработку данных, поступающих с матрицы, и вывод тепловизионного изображения на ТВ-монитор. УЭМ конструктивно выполнен на единой плате с набором разъемов для

подключения соответствующих устройств периферии (см. рис. 4).

Дополнительно электронную систему тепловизионных приборов на основе используемых матриц составляют два блока: криостат и блок управления холодильной машиной.

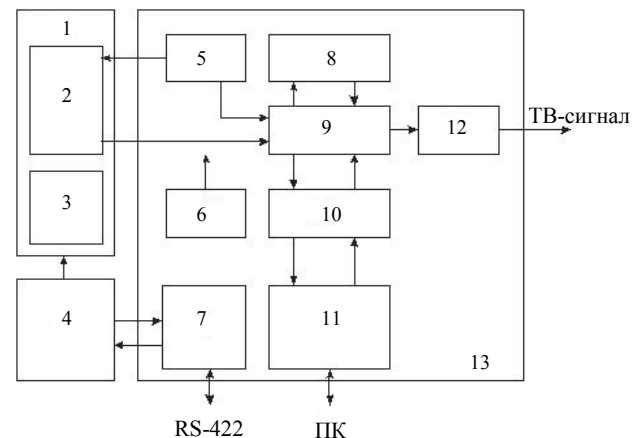


Рис. 5. Функциональная схема электронного модуля:

- 1 — криостат; 2 — ИК-приемник; 3 — устройство охлаждения;
- 4 — система управления устройством охлаждения;
- 5 — формирователь сигналов управления матрицей (ФССМ); 6 — тактовый генератор; 7 — микроконтроллер; 8 — банки памяти; 9 — арифметико-логическая схема (АЛС); 10 — схема управления (СУ); 11 — драйвер интерфейса USB 1.1; 12 — формирователь телевизионного сигнала (ФТВС); 13 — унифицированный электронный модуль

ИК-приемник находится внутри криостата, обеспечивающего требуемый температурный режим приемника. Управление устройством охлаждения осуществляется системой управления холодильным устройством в соответствии с сигналом температурного датчика, также расположенного внутри криостата.

УЭМ обеспечивает выполнение заданного набора алгоритмов обработки данных, поступающих с матрицы, а также общее управление модулем. Ядром блока управления и обработки данных является ПЛИС серии Cyclone, на основе которой реализованы схемы функциональных элементов АЛС, СУ, ФССМ и ФТВС.

Арифметико-логическая схема (АЛС) служит для выполнения различных математических операций. Архитектура АЛС организована таким образом, что на выполнение арифметических операций каждого конкретного алгоритма отводится свой набор арифметических модулей, тем самым исключая необходимость работы с промежуточными потоками данных. Благодаря этому выполнение всех алгоритмов обработки данных, зало-

женных в УЭМ, становится возможным за один такт частоты опроса матрицы. АЛС позволяет выполнять следующие алгоритмы обработки данных:

- "вычитание" — алгоритм, при котором АЛС выполняет арифметическое вычитание темнового кадра из текущего;

- "коррекция по двум точкам" — алгоритм, при котором АЛС выполняет:

- вычисление коэффициентов неравномерности чувствительности элементов матрицы;

- коррекцию теплового изображения в соответствии с рассчитанными коэффициентами;

- "суммирование сигналов элементов" — алгоритм, при котором АЛС для снижения шума вычисляет среднее значение сигнала каждого пикселя матрицы;

- "расчет таблицы дефектных элементов" — алгоритм, при котором АЛС по заданному критерию определяет дефектные элементы матрицы;

- "замещение дефектных элементов" — алгоритм, при котором АЛС в соответствии с хранящейся в памяти модуля таблицей дефектных элементов заменяет их на сигналы соседних из ближайшей окрестности исправных элементов.

Выполнение АЛС приведенных выше алгоритмов осуществляется по коду, поступающему от схемы управления. В соответствии с полученным кодом потоки данных мультиплексируются на группу арифметических модулей, соответствующих выбранному алгоритму.

Формирователь служебных сигналов матрицы формирует все необходимые для ее работы логические сигналы. Такими сигналами являются импульсы времени накопления и тактовая частота опроса пикселей матрицы.

Формирователь телевизионного сигнала (ФТВС) вырабатывает сигналы синхронизации, необходимые для формирования телевизионного сигнала по ГОСТ 7485—92. Также ФТВС преобразует двоичный код сигнала, полученного в результате арифметических операций, выполняемых АЛС, в код, соответствующий разрядности цифроаналогового преобразователя, формирующего сигнал яркости телевизионного сигнала. Кроме того, в ФТВС предусмотрена возможность вывода на экран служебной информации, такой как номер режима работы прибора, максимальное, минимальное и среднее значения кадра тепловизионного изображения, значение размера выборки при расчете выбитых элементов, значение времени накопления матрицы и величина порога для критерия по шуму. Для удобства работы с прибором в системе ФТВС предусмотрены ручная и автоматическая регулировки яркости и контраста выходного тепловизионного изображения.

Пример отображения служебной информации представлен на рис. 6. Здесь значения уровней "максимума и минимума сигнала" соответствуют значениям максимума и минимума сигнала по кадру, что позволяет при ручном управлении получить тепловизионное изображение желаемых контраста и яркости. Значение режима работы прибора соответствует коду команды, принятому схемой управления модуля, что позволяет оперативно контролировать режим работы прибора.

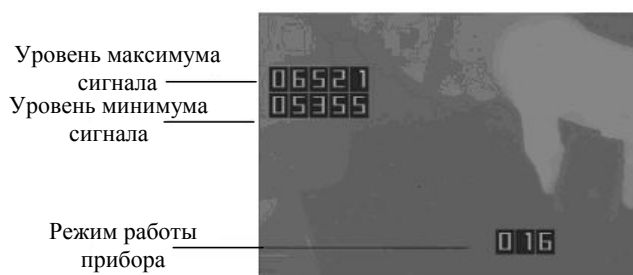


Рис. 6. Пример отображения служебной информации

Схема управления служит для выполнения алгоритма работы прибора в соответствии с принятым кодом, переданным от персонального компьютера (ПК) по шине USB 1.1, либо от внешнего пульта управления через интерфейс RS-422. Необходимый протокол обмена данными между ПК и УЭМ обеспечивает микросхема драйвера USB. Микроконтроллер осуществляет управление системой управления устройством охлаждения, а также обеспечивает работу интерфейса RS-422 для управления прибором от внешнего пульта управления.

Все необходимые для работы модуля данные хранятся в банках памяти CMOS SRAM общей емкостью 1024 Кбит × 16 бит. Необходимая для работы системы тактовая частота поступает от кварцевого генератора частотой 20 МГц.

Электронный модуль использовался совместно с приемниками двух типов: охлаждаемой матрицей размером 320×256 пикселей и неохлаждаемой микроболометрической матрицей размером 320×240 пикселей. Приемники имеют различия в величинах напряжений питания и смещения, а также во временных диаграммах управления коммутатором.

Для формирования необходимых сигналов управления фотоприемником производится загрузка посредством ПК, соответствующей конфигурации ПЛИС, в микросхему ПЗУ, расположенную на плате УЭМ. В данном случае различие конфигураций ПЛИС состоит в построении схемы формирователя сигналов управления матрицей, вырабатывающей сигналы управления коммутатором с требуемыми временными параметрами.

В случае использования охлаждаемого приемника напряжения питания и смещения матрицы формируются микросхемами стабилизаторов напряжения, расположенными на плате УЭМ. Поэтому его электрическое соединение с модулем осуществляется непосредственно к входному разъему УЭМ посредством гибкого шлейфа. Для охлаждения матрицы до требуемой температуры используется холодильная машина, поставляемая фирмой-производителем в комплекте с матрицей и блоком управления холодильной машиной. Некоторые технические характеристики тепловизионного прибора на основе охлаждаемой матрицы, применяемой совместно с УЭМ, приведены ниже:

разность температур, эквивалентная шуму, К.....	0,05
формат матрицы, элемент.....	320×256
потребляемая мощность, Вт.....	40

При использовании болометрического приемника напряжения питания и смещения матрицы формируются микросхемами стабилизаторов напряжения, расположенными на переходной плате с установленной на ней матрицей. Переходная плата также содержит систему управления холодильным устройством. В данном случае холодильным устройством является элемент Пельтье, расположенный внутри герметичного корпуса приемника и служащий для обеспечения требуемого температурного режима матрицы. Система управления холодильным устройством, выполненная на специализированной микросхеме ШИМ преобразователя, обеспечивает точность регулирования температуры 0,01 К. Электрическое соединение переходной платы с платой электронного модуля осуществляется посредством соединения входного разъема УЭМ с его ответной частью, расположенной на переходной плате. Технические характеристики тепловизионного прибора на основе неохлаждаемой матрицы, применяемой совместно с УЭМ, приведены ниже:

разность температур, эквивалентная шуму, К.....	0,1
формат матрицы, элемент.....	320×240
потребляемая мощность, Вт.....	6

Таким образом, рассмотрены принципы реализации канала ЦОС на основе ПЛИС типа FPGA. Обозначены пути решения по вопросам построения унифицированной электронной системы обработки сигналов многоэлементных ИК-приемников по модульному принципу. Разработан электронный модуль, в основу которого положен принцип модульности и построения основных функциональных узлов системы на кристалле ПЛИС.

Модуль является унифицированным и используется совместно с приемниками различного типа, не требуя при этом внесения изменений в его электрическую схему. Благодаря применению ПЛИС модуль легко модифицируется, что позволяет сократить сроки и затраты проектирования приборов, построенных на основе УЭМ.

**Л и т е р а т у р а**

1. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 464 с.
2. Грушвицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 608 с.
3. Прохоренко А. ПЛИС как DSP. Электронные компоненты, 1999, № 5. [http://www.elcp.ru/index.php?state=izd&i\\_izd=elcomp&i\\_num=1999\\_05&i\\_art=11](http://www.elcp.ru/index.php?state=izd&i_izd=elcomp&i_num=1999_05&i_art=11)
4. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы "смотрящего" типа. — М.: Логос, 2004. — 444 с.
5. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. — Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. — 600 с.
6. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов: 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 1999. — 480 с.
7. <http://www.altera.com>
8. <http://www.analog.com>
9. Соляков В. Н., Медведев А. С., Жегалов С. И., Хомутова М. П. Перспективная система обработки сигналов многоэлементного фотоприемного устройства ИК-диапазона на основе сигнальных контроллеров серии "Мультикор"// Прикладная физика. 2005. № 2. С. 85—90.
10. Иванов В. П., Бугаренко А. Г., Лукин А. В., Мельников А. Н., Морозов А. Е. Инфракрасные объективы тепловизионных приборов и лазерные средства измерения их параметров// Там же. С. 91—93.

*Статья поступила в редакцию 5 июля 2006 г.*

**The unified system of processing of signals photoreception device infrared to a basis of a microcircuit of programmed logic such as FPGA**

*I. I. Kremis, Y. F. Odnolko*

Technological Institute of Applied Microelectronics SB RAS, Novosibirsk, Russia

*In article ways of construction of the unified system of processing of signals of multielement photoreception infrared device are considered. Opportunities of modular construction of system of processing of signals are considered, her structure and realization is resulted. The deve-*

*loped unified electronic module for infrared devices on a basis PLD such as FPGA is described. The module has the sizes 115×70×15 mm and consumes capacity 4 Watt. The function chart of the developed module and results of use of the unified module together with cooled infrared the receiver on basis HgCdTe 320×256 and not cooled microbolometer infrared the receiver are resulted on the basis of resistive amorphous silicon 320×240.*

УДК 621.383.8

## Разработка программно-аппаратного комплекса выходного контроля параметров электронно-оптических преобразователей

*А. Б. Беркин, В. К. Макуха, С. В. Степанов*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

*Созданное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс измерения и расчета таких параметров, как отношение сигнал/шум, коэффициент преобразования, коэффициент неравномерности свечения экрана, чистота поля зрения и частотно-контрастная характеристика. Измерено распределение интенсивности освещенности экрана с явно выраженной ячеистой структурой. Получена средняя ширина линии "сетки". Уменьшение яркости на линии составляет 10—20 % от фона экрана. Получена зависимость ширины линии "сетки" от освещенности фотокатода.*

Обязательной технологической операцией в производстве является выходной контроль параметров электронно-оптического преобразователя (ЭОП). Одним из препятствий роста производства является продолжительность времени, затрачиваемого на измерения параметров ЭОП и качества изображения. Кроме того, измерение параметров вручную требует постоянного внимания оператора, что может привести к ошибкам в результатах. Наличие четкого алгоритма в измерении параметров позволяет использовать для этой цели компьютер. Автоматизация процесса должна сократить проведение измерений, а главное, — снизить риск появления ошибок.

В настоящее время большое распространение получили пакеты программ LabView фирмы National Instruments (NI), позволяющие при автоматизации эксперимента свести программирование к конфигурированию виртуальных приборов. Однако такая система не всегда пригодна для использования в специфических целях, в том числе при обработке изображения, поэтому создание автоматизированных программно-аппаратных комплексов остается актуальным.

### Измерение параметров

Анализ изображения ЭОП невозможен без использования специального стендового оборудования, профессиональных видеокамер и плат захвата изображения (фреймграбберов), а также без знания характеристик излучателя и приемника.

Для анализа параметров изображения ЭОП на его фотокатоду создается тестовое изображение с заранее известными параметрами. С помощью видеокамеры и фреймграббера изображение в циф-

ровом виде передается в компьютер и может быть проанализировано. В зависимости от типа тестового изображения, оптической силы используемых в измерении объективов измеряемые параметры можно разбить на две группы.

Для *первой* группы параметров во время измерения характеристик на фотокатоду исследуемого прибора создается равномерная засветка. Для получения параметров этой группы анализируется вся область экрана ЭОП, а в оптической схеме используется оптика с однократным увеличением. Такими параметрами являются [1]: отношение сигнал/шум; коэффициент преобразования; коэффициент неравномерности свечения экрана; чистота поля зрения (ЧПЗ).

Для *второй* группы характерно использование в качестве тестового объекта изображения щели. Размер формируемого изображения на фотокатоду порядка 5 мкм. Для анализа такого изображения используется оптика с 10-кратным увеличением. Ко второй группе относится частотно-контрастная характеристика (ЧКХ).

Кроме того, при работе с 10-кратным объективом увеличиваются требования к качеству настройки оптической схемы, требующие автоматической или ручной фокусировки.

Полная автоматизация процесса измерения предполагает минимизацию человеческого участия. Получение изображений с видеокамеры, их анализ и сохранение полученных результатов должны происходить без участия оператора. Фокусировка оптической схемы также должна быть автоматизирована.

Для реализации данных условий было создано программное обеспечение, позволяющее макси