

персию групповой скорости и дисперсию высших порядков, что позволит управление параметрами выходных лазерных импульсов для получения более широкого спектра генерации и соответствующего сокращения длительности сжатых импульсов. Также введение элементов контроля набега фаз в NALM и UR и использовании активных и пассивных волокон с сохранением поляризации (PM волокна) излучения позволит упростить получение режима синхронизации мод.

Варируя длину резонатора, потери на соединениях, и положение активного волокна можно

перестраивать резонатор на другую частоту следования импульсов, что полезно для различных прикладных задач.

Простота конструкции, отсутствие юстируемых элементов (за исключением положения оптоволокна), коммерческая доступность компонент излучателя и его компактность позволяют рассматривать этот лазер как затравочный лазер для систем регенеративного усиления УКИ имеющих широкое практическое применение как в научных исследованиях, так и для решения множества технологических задач.

УДК 621.383.72

## ЭЛЕКТРОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПРИБОРА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ TCD1304DG

Щербаков Н.Г., Ивуть П.В., Сосенко В.А.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Описывается электронный модуль, предназначенный для формирования и обработки выходного сигнала ПЗС-линейки Toshiba TCD1304DG (ПЗС – прибор с зарядовой связью). Рассмотрен состав и особенности реализации электронного модуля.

**Ключевые слова:** ПЗС-линейка, электронный модуль, аппаратура для спектрофотометрирования.

## ELECTRONIC MODULE FOR GENERATING AND PROCESSING THE OUTPUT SIGNAL OF A CHARGE-COUPLED DEVICE TCD1304DG

Shcherbakou M., Ivuts P., Sosenko V.

*A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** An electronic module designed for generating and processing the output signal of the Toshiba TCD1304DG CCD line (a charge-coupled CCD device) is described. The composition and features of the implementation of the electronic module are considered.

**Key words:** CCD linear sensor, electronic module, spectrophotometry equipment.

*Адрес для переписки: Щербаков Н.Г., ул. Курчатова, 7, г. Минск, 220045, Республика Беларусь  
e-mail: shcherbakov.niipfp-bsu.loes@mail.ru*

ПЗС-фотоприемники линейного типа имеют широкую сферу применения: от сканеров штрих-кодов и сканеров для документов до спектрофотометрической аппаратуры [1; 2]. Актуальными задачами отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ являются разработка научной аппаратуры для спектрометрирования в оптическом диапазоне длин волн и ее использование для вопросов дистанционного зондирования Земли.

Для задач регистрации спектров исследуемых объектов в видимом спектральном диапазоне был разработан электронный модуль (ЭМ) спектрометра на основе ПЗС-линейки Toshiba TCD1304DG. Структурная схема электронного модуля представлена на рисунке 1. Модуль состоит из двух печатных плат: плата формирования выходного сигнала ПЗС-линейки и плата обработки данного сигнала.

ПЗС-линейка TCD1304DG представляет собой прибор, состоящий из 3648 высокочувствительных фотодиодов, расположенных в одну линию.

Каждый фотодиод регистрирует интенсивность падающего на его поверхность оптического излучения в видимом диапазоне длин волн, причем уровень аналогового сигнала фотодиода обратно пропорционален интенсивности оптического излучения. Схема дифференциального усилителя, включенная в состав ЭМ, предназначена для инвертирования выходного сигнала ПЗС-линейки (иными словами, чтобы малая интенсивность оптического излучения соответствовала малому уровню напряжения выходного сигнала ПЗС-линейки), а также для согласования диапазона напряжений выходного сигнала ПЗС-линейки с диапазоном напряжений преобразования аналого-цифрового преобразователя. С помощью внутренней схемы ПЗС-линейки, имеющей в своем составе сдвиговые регистры, сигнал с каждого фотодиода последовательно передается на выход ПЗС-линейки с частотой 500 кГц (в данном варианте ЭМ). Таким образом, выходной сигнал ПЗС-линейки представляет собой массив из 3648 аналоговых сигналов фотодиодов.

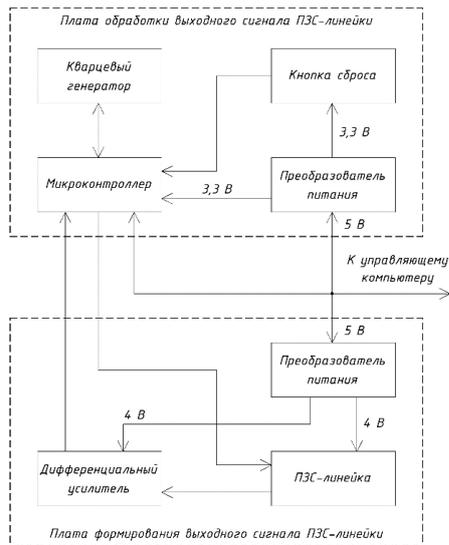


Рисунок 1 – Структурная схема электронного модуля для формирования и обработки выходного сигнала ПЗС-линейки TCD1304DG

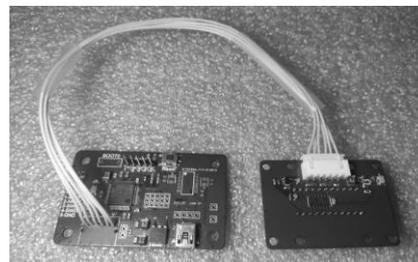
Для обработки массива аналоговых сигналов ПЗС-линейки TCD1304DG в состав ЭМ включен микроконтроллер (МК) STM32F405RG, содержащий аналого-цифровой преобразователь с разрешением 12 бит и скоростью преобразования 2,4 миллиона отсчетов в секунду. Для работы ПЗС-линейки требуется три управляющих сигнала: один тактирующий и два сигнала с функцией широтно-импульсной модуляции. Микроконтроллер STM32F405RG имеет в своем составе таймеры, используемые для управления ПЗС-линейкой (управление заключается в изменении экспозиции). Также используется модуль прямого доступа к памяти микроконтроллера, который записывает оцифрованные данные ПЗС-линейки в память МК без участия процессора микроконтроллера, что позволяет уменьшить нагрузку на процессор МК и, следовательно, ускорить работу ЭМ.

Управление электронным модулем, а также считывание его выходных данных осуществляется посредством интерфейса USB. Питание ЭМ предусмотрено от шины USB, соответственно напряжение питания ЭМ – 5 вольт. В соответствии с технической документацией на ПЗС-линейку TCD1304DG допускается напряжение ее питания со значением в 5 вольт, однако уровень выходного сигнала ПЗС-линейки зависит от значения напряжения ее питания [3]. По данным спецификации USB диапазон питающих напряжений: от 4,4 до 5,25 вольт (зависит от нагрузки, подключенной к шине), в котором шина сохраняет свою работоспособность [4], то есть нестабильность напряжения питания шины USB также создаст нестабильность уровня выходного сигнала ПЗС-линейки, поэтому в схеме предусмотрен линейный маломощный стабилизатор

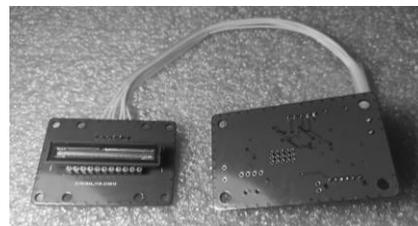
напряжения на 4 вольта LT1761ES5-BYP. Рекомендуемое напряжение питания микроконтроллера STM32F405RG – 3,3 вольта, в соответствии с чем в состав схемы включен линейный регулятор напряжения на 3,3 вольта.

ЭМ подключается к управляющему компьютеру посредством USB-кабеля. На базе USB модуля микроконтроллера STM32F405RG реализован класс USB-устройства Communication Device Class (Virtual COM Port). Обмен сообщениями организован по схеме «запрос-ответ». Команды, которые принимает ЭМ от управляющего компьютера: изменение значения экспозиции в микросекундах; команда на передачу оцифрованных данных. Ответ на команду по передаче оцифрованных данных ЭМ отправляет в форме массива из 3648 элементов с разрядностью 12 бит.

Внешний вид ЭМ для формирования и обработки выходного сигнала ПЗС-линейки TCD1304DG представлен на рисунке 2.



а



б

Рисунок 2 – Внешний вид электронного модуля для формирования и обработки выходного сигнала ПЗС-линейки TCD1304DG: а – вид сверху; б – вид снизу

### Литература

1. Трехдиапазонный маломощный спектрорадиометр для спутников формата CubeSat / Б.И. Беляев [и др.] // Восьмой Белорусский космический конгресс: материалы конгресса. – 2022. – С. 115–118.
2. Портативный альбедометр для работы в удаленных районах. / Г.С. Литвинович [и др.] // Приборостроение – 2022. Материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – 2022. – С. 398–399.
3. Техническое описание ПЗС-линейки TCD1304DG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spectralproducts.com/pdf/ToshibaTCD1304.pdf>.
4. Спецификация USB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification>.