

УДК 621.383

Кривабоков Дмитрий Андреевич, Курников Дмитрий Сергеевич

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ПЗС-СПЕКТРОМЕТРА

В данной работе представлена разработка микропроцессорной системы спектрометра оптического диапазона на базе ПЗС-линейки. Система основана на микроконтроллере STM32F401CDU6 и ПЗС-линейке TCD1304. Описаны основные компоненты системы, принцип работы и программное обеспечение. Разработанное программное обеспечение для ПК позволяет визуализировать и анализировать данные, полученные от ПЗС-линейки.

Спектрометр, оптический диапазон, ПЗС-линейка, микроконтроллер, STM32F401CDU6, TCD1304, ШИМ, DMA, USB, Python, Matplotlib, Scipy, Tkinter.

Krivabokov Dmitry Andreevich, Kurnikov Dmitry Sergeevich

PROGRAMMING A MICROCONTROLLER FOR A CCD SPECTROMETER

This paper presents the development of a microprocessor-based optical spectrometer system using a CCD line array. The system is based on the STM32F401CDU6 microcontroller and the TCD1304 CCD line array. The main components of the system, the principle of operation, and the software are described. The developed PC software allows for the visualization and analysis of data obtained from the CCD line array.

Spectrometer, optical range, CCD line array, microcontroller, STM32F401CDU6, TCD1304, PWM, DMA, USB, Python, Matplotlib, Scipy, Tkinter.

Введение

Спектрометры оптического диапазона широко используются в различных областях науки и техники, таких как физика, химия, биология, медицина, экология и др. Они позволяют измерять спектры излучения различных объектов, что дает ценную информацию об их свойствах.

В настоящее время микропроцессорные системы становятся все более популярными в качестве основы для спектрометров. Это связано с их невысокой стоимостью, компактностью, гибкостью и возможностью программирования.

Спектрометр состоит из диафрагмы 1, собственно спектрального прибора (призма или дифракционная решетка) 2 и чувствительного элемента (ПЗС-линейка) 3. Номер засвеченного пикселя соответствует определенной длине волны, присутствующей в спектре. Связь между номерами пикселей и длинами волн осуществляется на основе градуировочной кривой, построенной по известному спектру (например, от ртутной газоразрядной лампы).

Целью настоящей работы является разработка микропроцессорной системы, считывающей засветку пикселей на ПЗС-линейке. Разрабатываемый спектрометр предполагается использовать в качестве учебного прибора в рамках лабораторных занятий по курсу общей и экспериментальной физики для студентов физических и инженерно-технических специальностей и направлений.

Основная часть

В рамках выполненной работы была разработана микропроцессорная система спектрометра оптического диапазона на базе ПЗС-линейки. Эта система основана на микроконтроллере STM32F401CDU6 и ПЗС-линейке TCD1304.

Система состоит из нескольких ключевых компонентов, включая микроконтроллер STM32F401CDU6, ПЗС-линейку TCD1304. Электрическая принципиальная схема изображена на рис. 1.

Микроконтроллер STM32F401CDU6 является центральным элементом системы. Этот микроконтроллер обладает достаточной производительностью для управления ПЗС-линейкой и оснащен всеми необходимыми периферийными устройствами (таймеры для генерации широтно-модулированного сигнала, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с возможностью передачи данных в режиме прямого доступа к памяти, интерфейс USB).

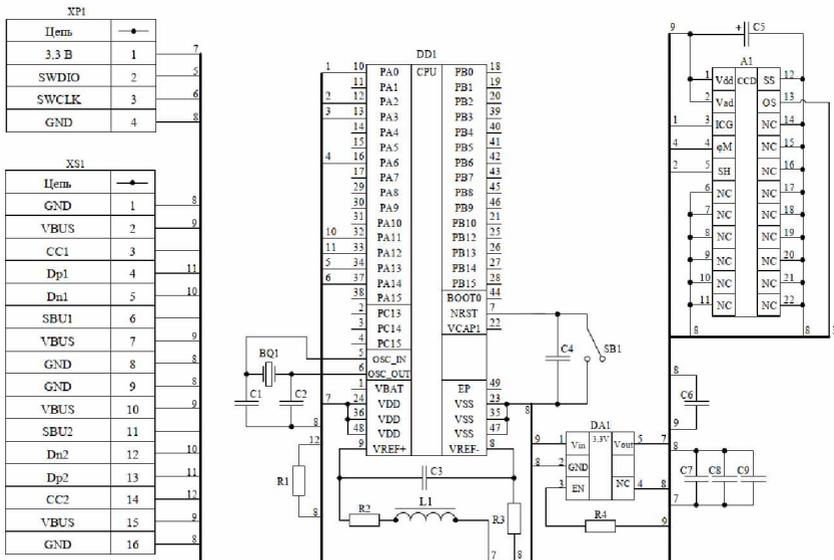


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

Для управления данной ПЗС-линейкой необходимо сформировать три сигнала с заранее известными временными характеристиками (рис. 2). После перехода сигнала ICG из состояния логической единицы в состояние логического нуля сигнал SH должен быть установлен в состояние логической единицы не позже чем через 1 мкс (t_2) и оставаться в этом состоянии минимум 1 мкс (t_3). После перехода сигнала SH из состояния логической единицы в состояние логического нуля сигнал ICG должен оставаться в состоянии логического нуля около 5 мкс (t_1). Восходящий фронт сигнала ICG должен опережать срез тактового сигнала фМ на 20 нс (t_4). Основой подхода для формирования сигналов является использование ШИМ (широтно-импульсной модуляции).

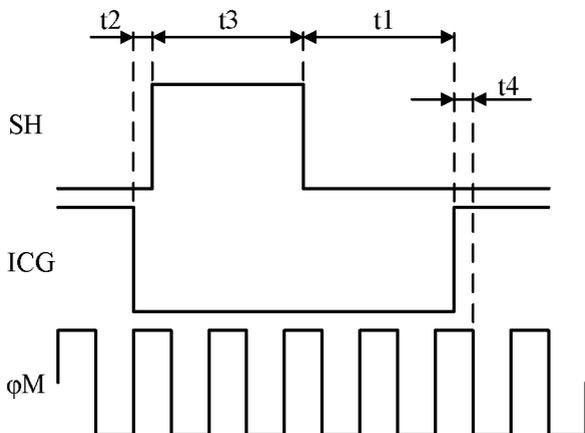


Рис. 2. Сигналы для управления TCD1304

Были использованы четыре таймера (TIM2, TIM3, TIM4 и TIM5) для генерации соответствующих ШИМ-сигналов. Каждый таймер настроен на генерацию определенного ШИМ-сигнала, который затем используется для управления соответствующим аспектом работы ПЗС-линейки или АЦП. В данной работе для формирования сигналов SH и ICH используются 32-разрядные таймеры TIM5 и TIM2, для формирования φM и триггера АЦП – 16-разрядные таймеры TIM3 и TIM4 соответственно.

Также было использован режим прямого доступа к памяти (DMA) для эффективного управления передачей данных и GPIO для управления вводом/выводом. Режим DMA позволяет переносить данные напрямую между памятью и периферийными устройствами, минуя процессор. Это значительно увеличивает скорость передачи данных и снижает нагрузку на процессор.

Важно отметить использование USB в режиме virtual com port для передачи данных на персональный компьютер (ПК). Это позволяет обеспечить быструю и надежную передачу данных между микроконтроллером и ПК, что особенно важно при работе с большими объемами данных, как в случае с ПЗС-линейкой.

Таким образом, таймеры микроконтроллера формируют управляющие сигналы, в ответ на которые ПЗС-линейка выдает дискретный сигнал. Данный сигнал оцифровывается АЦП и передается в память

микроконтроллера посредством DMA. По завершении работы АЦП оцифрованные данные передаются из памяти микроконтроллера через USB-интерфейс на ПК.

В дополнение к микроконтроллерной части, было разработано программное обеспечение на ПК для визуализации и анализа данных, полученных от ПЗС-линейки. Это ПО написано на Python и использует библиотеки Serial, Matplotlib, Scipy и Tkinter для чтения данных из COM-порта, обработки данных, построения графиков и создания графического пользовательского интерфейса (рис. 3).

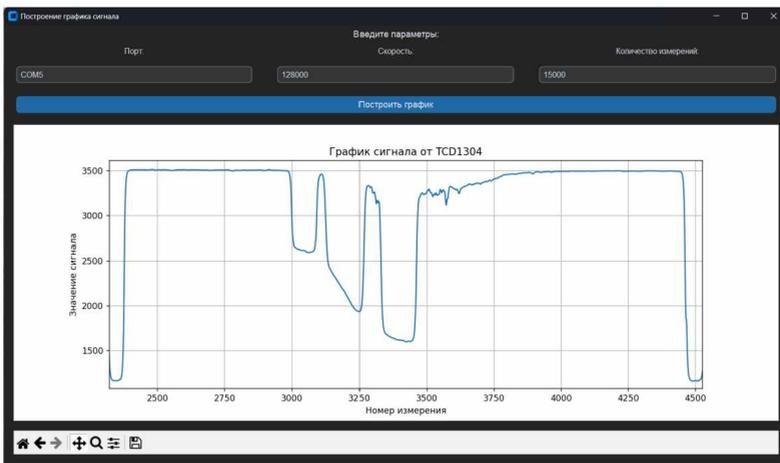


Рис. 3. Отображение сигнала с ПЗС-линейки

Перед визуализацией также используется фильтр Баттерворта для обработки данных с ПЗС-линейки. Фильтр Баттерворта применяется для сглаживания сигнала, полученного от ПЗС-линейки, что позволяет уменьшить уровень шума и улучшить качество данных.

Основные параметры фильтра Баттерворта:

1. Порядок фильтра (order): Определяет крутизну спада фильтра. Более высокий порядок приводит к более резкому переходу между полосой пропускания и полосой заграждения.

2. Критическая частота (cutoff frequency): Определяет частоту, на которой фильтр начинает ослаблять сигнал.

3. Тип фильтра: Может быть низкочастотным (lowpass), высокочастотным (highpass), полосовым (bandpass) или полосозаграждающим (bandstop).

В данном проекте порядок фильтра равен 1, что означает, что фильтр будет иметь относительно плавный переход между полосой пропускания и полосой заграждения. Критическая частота равна 0.1, что означает, что фильтр начнет ослаблять сигналы, частоты которых выше 10% от половины частоты дискретизации. Данный фильтр будет эффективно сглаживать высокочастотные шумы, оставляя низкочастотные компоненты сигнала практически без изменений.

Выводы

Данная работа является первым шагом для создания спектрометра оптического диапазона, применимого в учебных целях. Разработанная система обеспечивает высокую точность измерения спектра и удобный интерфейс для визуализации и анализа данных, что делает ее ценным инструментом для исследователей и специалистов в этой области. Это демонстрирует возможности современных микроконтроллеров и ПЗС-линеек в приложениях спектрометрии и подчеркивает важность эффективного программного обеспечения для обработки и анализа данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коробчук М. В., Веригин А. Н.* Использование программных средств и электронных компонентов, применительно к проектированию мехатронных вибрационных установок //Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. – 2021. – С. 212-216.
2. *Лебедевко Е. Г., Зверева Е. Н., Тунг Н. В.* Высокоточное определение углового положения точечного источника излучения с ПЗС-линейками //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – №. 3. – С. 398-404.
3. *Болл С. Р.* Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – Litres, 2022.
4. *Башкиров А. В. и др.* Конфигурируемый сложнофункциональный блок обработки цифровых сигналов //Вестник кибернетики. – 2023. – №. 3 (51). – С. 6-16.
5. *Латшин Д. А., Глушко А. Н.* Беспроводная архитектура акустико-эмиссионных систем с интерфейсом usb //В мире неразрушающего контроля. – 2011. – №. 4. – С. 69-72.

6. *Клец Д. М.* Метод повышения точности обработки данных, полученных в ходе испытаний мобильных машин, с помощью фильтра Баттерворта. – 2012.
7. *Шестаков О. В.* Вероятностно-статистические методы анализа и обработки сигналов на основе вейвлет-алгоритмов //М.: Аргамак-Медиа. – 2016.
8. *Бручковский И. И. и др.* Предварительная обработка спектров для анализа по методу дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии //Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2018. – №. 2. – С. 86-96.
9. *Пальчевский Е. В., Халиков А. Р.* Техника инструментирования кода и оптимизация кодовых строк при моделировании фазовых переходов на языке программирования С++ //Труды Института системного программирования РАН. – 2015. – Т. 27. – №. 6. – С. 87-96.
10. *Кудряцев А. А., Поскребышев И. А., Промыслов В. Г.* Выбор оптимальных параметров системы единого времени в промышленной компьютерной сети на основе анализа математической модели //Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения.– 2010.– С. 747-750.
11. *Спринджук М. В. и др.* Современные алгоритмы обработки данных транскриптомов: обзор методов и результаты апробации //Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – №. 2. – С. 54-62.

Кривабоков Дмитрий Андреевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

Курников Дмитрий Сергеевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: kurnikov.2000@yandex.ru.

Krivabokov Dmitry Andreevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

Kurnikov Dmitry Sergeevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: kurnikov.2000@yandex.ru.