

НОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 621.372

ПОРТАТИВНЫЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ЭЛЕКТРОНИКИ

© 2023 г. П. С. Мартьянов^а, *, В. А. Вагин^а, А. И. Хорохорин^а

^а Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН,
ул. Бутлерова, 15, Москва, 117342 Российская Федерация

*E-mail: La3232@mail.ru

Поступила в редакцию 09.01.2023 г.

После доработки 23.01.2023 г.

Принята к публикации 30.01.2023 г.

Рассмотрены особенности электроники портативного фурье-спектрометра инфракрасного диапазона. Приведены описание его наиболее важных узлов, обоснование использования соответствующей элементной базы; изложены структурные схемы, проведен анализ наиболее значимых электронных блоков устройства и их функционирования. Представлены результаты экспериментальных исследований.

DOI: 10.31857/S0033849423120148, EDN: HWSCFN

ВВЕДЕНИЕ

Разработанный в Научно-технологическом центре уникального приборостроения (НТЦ УП РАН) переносной малогабаритный инфракрасный фурье-спектрометр потребовал создания соответствующей электронной системы управления прибором и регистрации информации. Спектрометр работает в диапазоне длин волн 2...25 мкм со спектральным разрешением 2 см^{-1} и предназначен для получения спектров поглощения (оптической плотности) различных жидких или твердых образцов.

Уменьшение размеров интерферометра достигнуто за счет использования в качестве устройства перемещения подвижного отражателя точного параллелограмма, внутри которого установлен светоделитель [1, 2]. Габариты интерферометра $100 \times 100 \times 50 \text{ мм}^3$. Общая масса не превышает четырех килограмм.

Указанный спектрометр обладает рядом полезных эксплуатационных качеств. Прибор работает как от источника переменного напряжения 220 В, так и от низковольтного автономного источника питания (например, от автомобильного аккумулятора – 12 В). Управление спектрометром осуществляется ноутбуком, с помощью последнего обрабатывается получаемая спектральная информация, а также выполняется соответствующий спектральный анализ и делается заключение об исследуемом образце. Корпусом прибора является серийный транспортный контейнер с удобной ручкой для переноса прибора. Внешний вид разработанного устройства представлен на рис. 1.

1. ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ ПРИБОРА

В процессе проектирования спектрометра особое внимание было уделено разработке электронной части, которая используется для обработки данных и управления прибором. Структурная схема электронной части представлена на рис. 2. Были разработаны принципиальные электрические схемы блоков, проведено моделирование некоторых аналоговых цепей, на основе чего была подбрана необходимая элементная база, также была написана управляющая программа для микроконтроллера (МК), входящего в состав исследуемого спектрометра [3, 4].



Рис. 1. Внешний вид портативного ИК-спектрометра.



Рис. 2. Схема обработки данных и управлением устройством; МУД – модуль управления двигателем, МПИИ – модуль питания ИК-излучением.

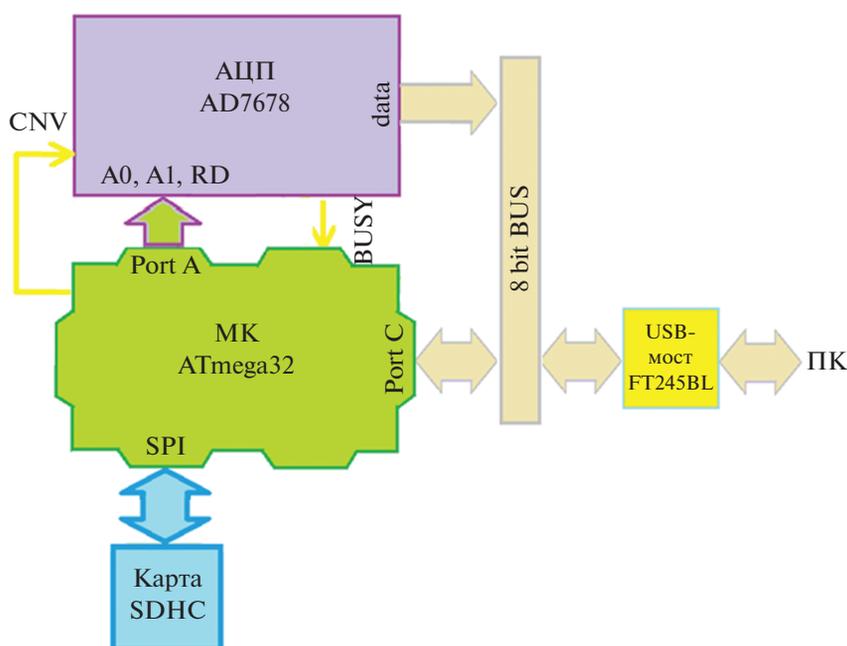


Рис. 3. Структурная схема модуля МПОП.

Система обработки данных и управления в фурье-спектрометре обеспечивает:

- 1) задание основных параметров управления спектрометром;
- 2) управление приводом подвижного зеркала (оптики), оцифровку и обработку данных измерений, передачу данных в персональный компьютер (ПК).

Основной канал включает в себя приемник инфракрасного (ИК) излучения и усилитель.

ИК-приёмник необходим для преобразования светового потока в электрический сигнал. Референтный канал необходим для позиционной привязки отсчета аналого-цифрового преобразователя (АЦП) к метке перемещения зеркала интерферометра.

Рассмотрим наиболее значимую часть прибора – модуль предварительной обработки и преобразования (МПОП) [7, 8]. Основными компонентами модуля являются: МК модели ATmega 32, АЦП и USB-мост (рис. 3).

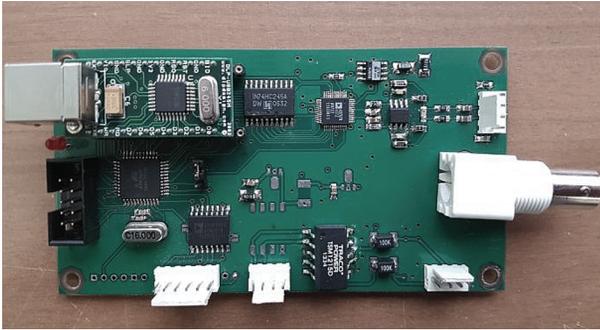


Рис. 4. Внешний вид МПОП (фото).

Основная задача МК заключается в считывании побайтно интерферограммы с АЦП, который работает в режиме последовательного приближения, и отправке пакетов цифровых данных по 512 байт на ПК, через USB-мост, для чего используется микросхема FT245BL. Одновременно передаются данные на флэш-карту типа SDHC в автономном режиме спектрометра. Кроме того, МК измеряет скорость перемещения зеркала с целью отбраковки неудачных интерферограмм.

В каждом пакете данных четыре байтных слова. Первые 12 бит слова несут значение скорости сканирования. Без передачи скорости интерферограмма может поступать в ПК напрямую, минуя порт МК. Метки перемещения зеркала формируются при переходе сигнала лазера спектрометра через нулевое значение и служат источником внешнего запуска АЦП, что исключает применение в спектрометре цифровых устройств с высокой разрядностью. Данные хранятся на микрокарте в формате FAT32. Запись файла интерферограммы происходит в реальном времени, а ее чтение может быть осуществлено, как с помощью МПОП, так и че-

рез внешнее устройство чтения карт памяти. Скорость обмена данными с ПК составляет 1 Мбайт в секунду [5, 6].

При разработке устройства использовался АЦП модели AD7678. Эта микросхема характеризуется тем, что преобразует непрерывный аналоговый сигнал в дискретное цифровое представление, используя двоичный поиск по всем возможным уровням квантования, прежде чем получить цифровой выход для каждого преобразования. Данный преобразователь является 18 разрядным, который имеет время преобразования сигнала 1.8 мкс и шум в диапазоне 0.035 мВ, а область входных сигналов ± 4 В.

Внешний вид разработанного печатного узла представлен на рис. 4.

2. ОПИСАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Работоспособность опытного образца спектрометра была продемонстрирована при измерении спектров пропускания углеводородных соединений (бензины, спирты) с помощью жидкостной кюветы. На рис. 5 представлена схема последовательности измерений. В спектрометр сначала устанавливалась кювета с эталоном и проводилось эталонное измерение спектра пропускания на всем оптическом пути от источника излучения до ИК-приемника. Затем устанавливалась кювета с исследуемым образцом и измерялся соответствующий спектр пропускания. После измерений и обработки данных регистрировали спектр пропускания исследуемого образца. Дополнительно существует возможность оценки качества исследуемого материала, на основе ранее полученной спектральной базы. В качестве примера на рис. 6 представлен спектр пропускания для изопропилового спирта.

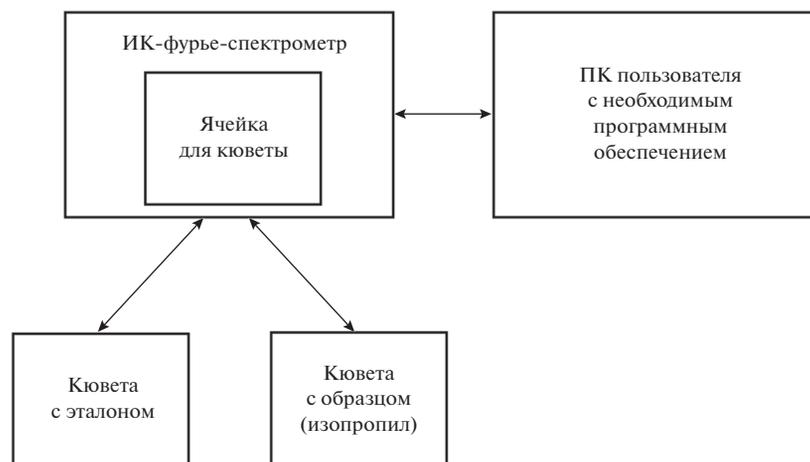


Рис. 5. Схема последовательности измерений.

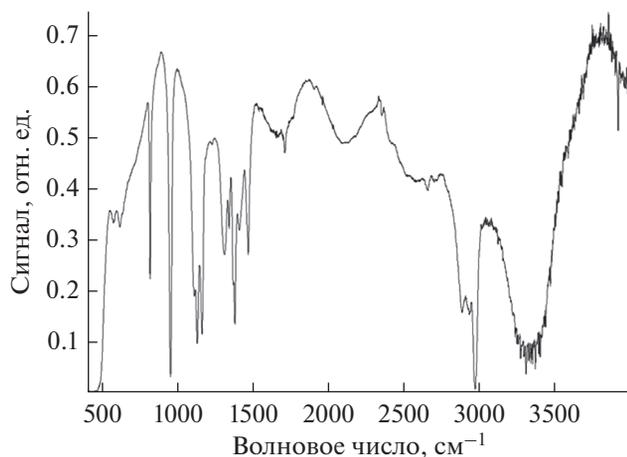


Рис. 6. Спектр пропускания для изопропилового спирта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан и изготовлен опытный образец портативного ИК-фурье-спектрометра.
2. Спроектированы электрические и структурные схемы системы управления устройством, включая модуль предварительной обработки и преобразования.
3. Создано программное обеспечение для опытного образца прибора.

4. Проведена опытная эксплуатация прибора.

Указанный ИК-фурье-спектрометр можно эффективно использовать в научных и технологических целях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин В.А., Мошкин Б.Е. Фурье-спектрометр. Пат. РФ № 2287784 // Оpubл. офиц. бюл. "Изобретения. Полезные модели" № 32 от 20.11.2006.
2. Вагин В.А., Мошкин Б.Е. // Оптический журн. 2019. Т. 86. № 2. С. 52.
3. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. М.: Мир, 1982.
4. Золотарев В.М. Методы исследования материалов фотоники. СПб: СПбГТУ ИТМО, 2008.
5. Murphy R.E., Sakai H. Aspen Int. Conf. on Fourier Spectroscopy / Eds. G.A. Vanasse, A.T. Stair, Jr., D.J. Baker. Hanscom: Air Force Cavendish Research Laboratory, 1971. P. 301.
6. Murphy R.E. Spectrometric Techniques / Ed. G.A. Vanasse. N.Y.: Acad. Press., 1977. V. 1. P. 229.
7. Мартынов П.С. // РЭ. 2018. № 11. С. 197.
8. Балашов А.А., Мартынов П.С., Хорохорин А.И. // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 1. С. 143.