

Спектрофотометр дневного неба

Алексей Галахов (Мурманская обл.)

Физические, химические и биологические процессы, происходящие на земле, в атмосфере и в воде, обусловлены наличием солнечной лучистой энергией. Особое внимание привлекает в связи с этим влияние на природу спектрального состава солнечной радиации [1]. Для проведения экологического мониторинга физического состояния атмосферы (от которого зависит спектральный состав) был разработан спектрофотометр дневного неба, регистрирующий спектр в диапазоне от 3000 до 8000 ангстрем.

Спектрофотометр выполнен на базе оптической части полихроматора «Полискан», выпускаемого Государственным институтом прикладной оптики (г. Казань). От известных спектрофотометров «Озон-1» [2] и «СФДН» [3], которые были выполнены с использованием одной и той же оптической базы, разработанный прибор отличается:

- упрощённой оптической частью (убрано одно поворотное зеркало; фотодетектор установлен в главной плоскости прибора), благодаря чему уменьшились оптические искажения, а устройство стало более компактным, что немаловажно при работе в экспедиционных условиях;
- использованием режима счёта фотонов, что улучшило отношение сигнал/шум и увеличило динамический диапазон регистрации спектров при разной освещённости;
- электронной частью, созданной на базе программируемого микроконтроллера PIC16F877, что даёт возможность программно изменять режим работы спектрофотометра;

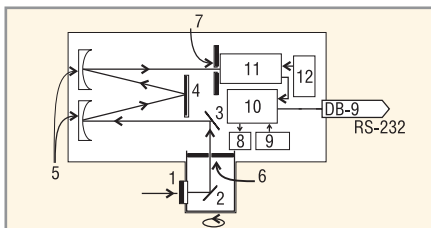


Рис. 1. Блок-схема спектрофотометра дневного неба

1 – входное окно; 2, 3 – поворотные зеркала; 4 – дифракционная решётка; 5 – сферические зеркала; 6 – входная щель; 7 – выходная щель; 8 – шаговый двигатель; 9 – плата концевых датчиков; 10 – плата управления и счётчиков фотонов; 11 – фотодетектор; 12 – управляемый источник высокого напряжения.

- использованием последовательно-параллельного порта RS-232 для записи данных, что позволяет выносить спектрофотометр на значительное расстояние от компьютера.

Блок-схема спектрофотометра показана на рисунке 1. Поворотное входное оптическое окно (1) снабжено каскетой, куда для ограничения полосы исследуемого спектра можно вставлять выбранный из набора «образцов цветных оптических стёкол» необходимый фильтр. Входная и выходная щели с регулируемыми диафрагмами установлены в фокусе соответствующего сферического зеркала. Сканирование спектра производится поворотом дифракционной решётки (4) синусным кинематическим механизмом, обеспечивающим линейность развёртки спектра по длинам волн. В качестве двигателя используется униполярный шаговый двигатель (ШД) привода головки записи/чтения от 5,25-дюймового флоппи-дисковода. Применение ШД позволяет точно позиционировать вал (не больше 5% величины шага) без применения обратной связи. Режим управления ШД – полушаговый («one and two phase-on half step»), что позволяет частично избавиться от нежелательного явления резонанса, присущего ШД. Границы анализируемого спектра определяются положением концевых оптронных датчиков, шторка которых расположена на движущейся каретке синусного механизма. Импульсы, определяющие направление движения каретки, формируются платой концевых датчиков (поз. 9 на рис. 1). Дискретность записи спектра установлена программным способом и составляет 0,5 ангстрем. В качестве фотодетектора используется фотоумножитель

ФЭУ-100, спектральная чувствительность которого лежит в диапазоне от 170 до 830 нм. Фотоприёмник работает в режиме счёта фотонов, что значительно увеличивает пороговую чувствительность и динамический диапазон регистрации по сравнению с режимом регистрации тока фотоумножителя. Основная электронная часть прибора расположена на плате управления и плате счётчиков фотонов. Принципиальная схема основной части показана на рисунке 2 и содержит следующие элементы: ФЭУ, импульсный усилитель, дискриминатор и многозарядный счётчик. Импульсный входной усилитель (К500ЛП116) и компаратор (К597СА1) собраны на цифровых микросхемах эмиттерно-связанной логики ЭСЛ, обладающих наибольшим быстродействием, необходимым для того, чтобы обеспечить временное разрешение отрицательных импульсов с выхода фотоумножителя – 5...10 нс. Порог ограничения компаратора определяется уровнем собственных шумовых импульсов ФЭУ, которые и определяют нижний предел регистрируемой интенсивности. В качестве входного счётчика фотонов используется четырёхразрядный двоично-десятичный счётчик К1531ИЕ10, обладающий наибольшим быстродействием среди схем ТТЛ-логики. Выходные импульсы со специальной схемы счётчика P2 (см. рис. 2) поступают на счётчик старшего разряда TMR1 микроконтроллера PIC16F877. Для совместной работы микросхем ЭСЛ и ТТЛ-логики используется преобразователь уровня К500ПУ125.

Используемый в схеме микроконтроллер выполняет следующие функции:

- управляет работой шагового двигателя (таймер TMR0, порт RD0-RD1, RD7);
- подсчитывает фотоны при помощи 16-разрядного таймера/счётчика TMR1 (TMR1H+TMR1L), работающего в асинхронном режиме;
- опрашивает состояние концевых оптронных датчиков (порт RD6), задаёт направление движения каретки синусного механизма;

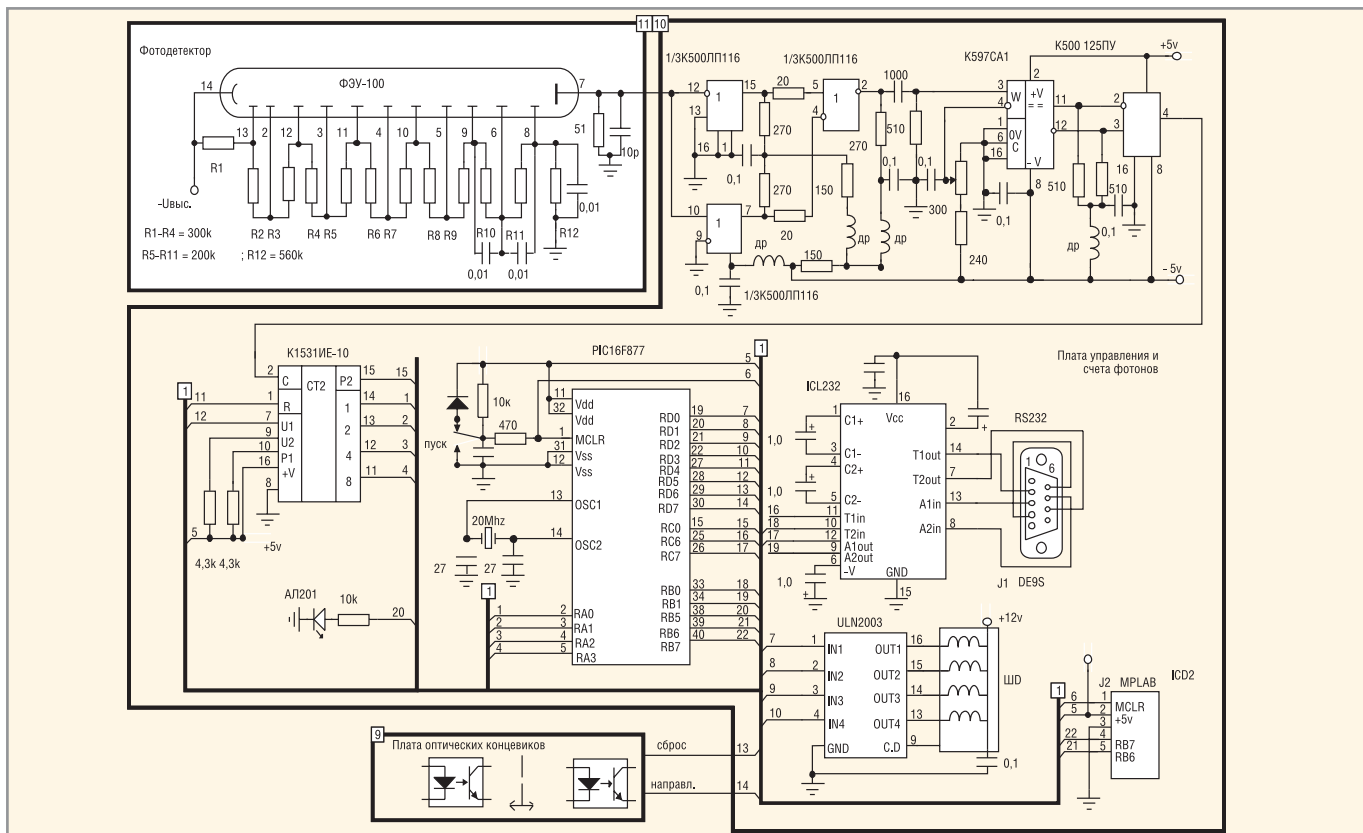


Рис. 2. Принципиальная схема спектрофотометра дневного неба

- модуль универсального синхронно-асинхронного приёмопередатчика USART обеспечивает режим последовательного интерфейса RS-232 с персональным компьютером;
- обеспечивает визуальную индикацию режима работы спектрофотометра (порт B5).

Протокол работы последовательного порта RS-232 (асинхронный, скорость 19 200 бит/с) с компьютером построен таким образом, что данные выставляются на линию (TD) только после получения подтверждения (RTS, CTS) о том, что предыдущий байт записан в буферную память РС. Сигналом конца потока данных явля-

ется передача процессором в линию последовательно двух синхробайтов – 95 и Е6. Микросхема ICL232 обеспечивает связь микроконтроллера с персональным компьютером по каналу RS-232. Для этой микросхемы требуется только одно напряжение питания +5 В; при этом она способна генерировать импульсы размахом ±10 В.

Разъём J2 обеспечивает подключение программатора MPLAB ICD2 для внутрисхемного программирования установленного на плату микроконтроллера через контакты порта RB6 и RB7 и вход MCLR.

Инициализация микроконтроллера и запуск программы при включении питания осуществляется внешним сигналом по входу MCLR путём нажатия кнопки «Пуск». Резонатор Y1 и конденсаторы C1, C2 определяют частоту F_{osc} микроконтроллера – 20 МГц.

Применение управляемого источника [4] для питания фотоумножителя (от 1020 до 1840 В) позволяет регистрировать спектры дневного неба при различной освещённости.

Исследуемый спектр через последовательный порт записывается в файл в двоичном коде как функция числа импульсов шагового двигателя, которые определяют положение дифрак-

ционной решетки. Для разметки полученных спектров в длинах волн (ангстремы) используются фраунгоферовы линии поглощения дневного спектра и известные линии спектральных ламп. Далее по известным точкам рассчитывается вся шкала спектра, и данные переписываются в новый файл как функция длины волн.

В качестве иллюстрации работы прибора на рисунке 3 показан спектр дневного неба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Тонкая структура спектра Солнца и её роль в эволюции биосферы. С-Пб.: НИЦЭБ АН России, 1992.
2. Ролдугин В.К., Коротков В.Г., Ролдугин А.В. Приборы и методика геофизического эксперимента. Мурманск: Полярный геофизический институт РАН, 1997. С. 39–41.
3. Галахов А.А., Ролдугин А.В., Карпечко А.Ю. Сб.: Техника и методика геофизического эксперимента. Апатиты: Полярный геофизический институт КНЦ РАН, 2003. С. 50–54.
4. Жавков В.В. Маломощные импульсные стабилизаторы напряжения. Системы автоматизации геофизических исследований. Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1984. С. 95–104.

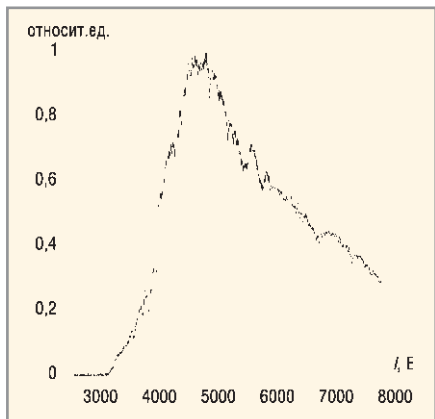


Рис. 3. Пример записи спектра солнечного неба