

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

© 2016 г. В.Л. ВЕСНИН, В.Г. МУРАДОВ

Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
e-mail : ufire-spectrum@yandex.ru

Создание спектрофотометрического комплекса на основе функционально полного спектрофотометра во многих случаях сводится к размещению в лаборатории готового к использованию покупного оборудования и к установке на компьютер необходимого программного обеспечения. Такой подход позволяет наиболее быстро решить задачу аппаратного обеспечения спектрофотометрических исследований. Но современные спектрофотометры представлены в основном импортными моделями приборов и весьма дороги. Вторым, и в ряде случаев ещё более серьёзным недостатком такого подхода является тот факт, что возможности «вторгнуться» в оптический тракт готового спектрофотометра и установить в нём какое-либо нестандартное устройство весьма ограничены, а такая необходимость нередко возникает как при проведении экспериментов, так и при проведении испытаний компонентов будущих приборов, которые должны выполнять измерения коэффициентов поглощения каких-либо веществ.

Альтернативой использованию готового спектрофотометра может быть создание спектрофотометрического комплекса на основе монохроматора, дополненного источником света, устройством для размещения образцов исследуемых веществ, фотометром, а также аппаратными и программными средствами для сопряжения этого оборудования с компьютером. Спектрофотометрический комплекс на основе монохроматора получается существенно более универсальным, так как допускает оперативное изменение своей конфигурации в зависимости от поставленной задачи.

В качестве основы для создания спектрофотометрического комплекса нами был выбран монохроматор МДР-41, выпускаемый ЛОМО. Этот прибор и поставляемые в комплекте с ним оптические блоки (осветитель, блок смены светофильтров, оптические рельсы) позволяют создать экспериментальную установку с весьма широкими возможностями и при необходимости легко заменять источники света, фотометрические головки и электронные блоки. Первая версия спектрофотометрического комплекса была создана в 2006 г. и подробно описана в работах [1, 2]. В последующие годы комплекс подвергся ряду модернизаций и в настоящее время базовая конфигурация комплекса соответствует схеме, показанной на рис. 1.

Фотометрическая головка (рис. 2) закрепляется на узле выходной щели монохроматора. В качестве фоточувствительного элемента использован германиевый фотодиод ФД-3А. Вопрос об обосновании выбора в качестве фотоприёмника германиевого фотодиода был подробно рассмотрен в работе [1]. Фотометрическая головка имеет собирающую линзу диаметром 26 мм, расположенную в непосредственной близости от выходной щели монохроматора. Фокусное расстояние линзы около 30 мм. Фотодиод ФД-3А смонтирован на держателе, который может перемещаться вдоль оптической оси системы и фиксироваться в необходимом положении с помощью стопорных винтов. На этом же держателе смонтирован входной усилитель фототока.

Одно из направлений проводимых в УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН работ связано с исследованием спектров поглощения насыщенных паров углеводородов. Поскольку плотность насыщенных паров жидкостей существенно зависит от темпера-

туры, то при проведении экспериментов с парами жидких углеводородов необходимо обеспечение постоянства температуры оптической кюветы, в которой размещаются жидкий углеводород и его насыщенный пар. При этом должно быть обеспечено отсутствие градиентов температуры по объёму кюветы. В большинстве реальных экспериментов требование отсутствия градиентов означает, что разность температур между различными участками кюветы не должна превышать 1°C. Такие требования исключают применение нагрева кюветы снизу, поскольку градиенты температур в этом случае будут весьма значительны. Как следствие, требуется разработка специального устройства для размещения кюветы.

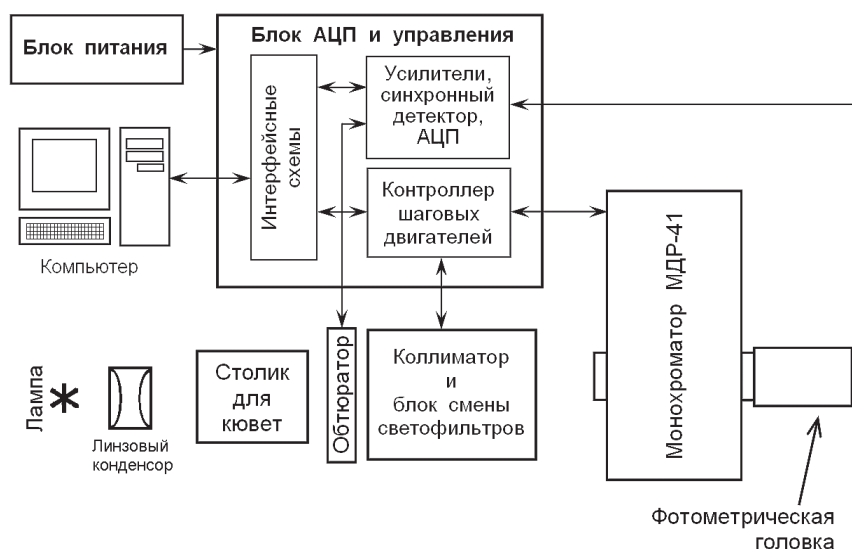


Рис. 1. Блок-схема спектрофотометрического комплекса.

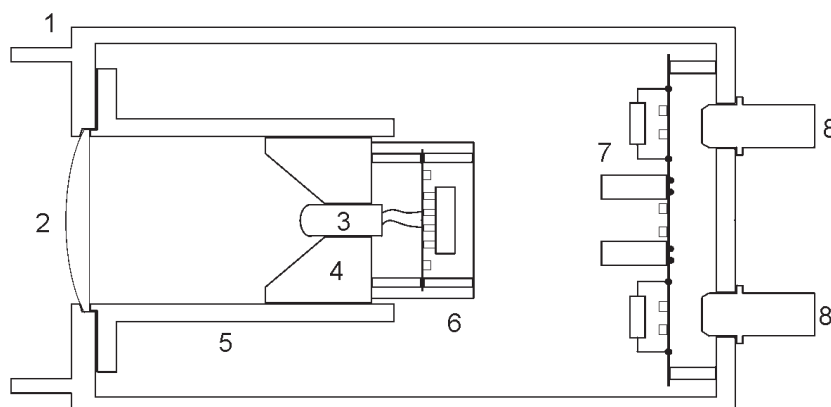


Рис. 2. Конструкция фотометрической головки: 1 – корпус, 2 – линза, 3 – фотодиод, 4 – держатель фотодиода, 5 – тубус держателя фотодиода, 6 – входной усилитель фототока, 7 – плата фильтров питания, 8 – разъёмы.

Для решения перечисленных выше проблем оптическая кювета размещена в теплоизолированной ячейке [3], снабженной электрическими нагревателями и вентиляторами, интенсивно перемешивающими воздух внутри ячейки (рис. 3). Также в ячейке размещается термодатчик. В качестве теплоизоляции использован пенополиэтилен толщиной 20 мм. Размеры ячейки вместе с теплоизоляцией составляют 180 x 120 x 110 мм. Ячейка размещается в оптическом тракте спектрофотометрического комплекса вместо столика для кювет.

Все функции управления ячейкой осуществляет микроконтроллер PIC16F873A. В том числе, с помощью микроконтроллера осуществляется оцифровка сигнала с тер-

модатчика, преобразование кода в температуру в градусах Цельсия, вычисление необходимой мощности нагревателя и управление нагревателем. Устройство управления обеспечивает задание температуры в интервале от +25°C до +55°C с шагом 1°C. Заданная температура должна не менее, чем на 4...5°C превышать температуру окружающей среды. Поддержание температуры производится с точностью не хуже $\pm 1^\circ\text{C}$.



Рис. 3. Схема термостатированной ячейки (вид сверху).

Перед проведением измерений исследуемая жидкость наливается тонким (1...2 мм) слоем на дно оптической кюветы длиной 100 мм. Кювета закрывается стеклянной крышкой для предотвращения утечки паров жидкости и устанавливается в термостатированной ячейке. Поток зондирующего оптического излучения проходит через область, заполненную насыщенными парами и не затрагивает слой жидкости.

Во всех экспериментах используется модулированный световой пучок, что позволяет отказаться от усилителей постоянного тока во входных каскадах комплекса, устранить дрейф нуля и снизить влияние фликкер-шума. Нужно отметить, что во многих спектрофотометрических исследованиях, в том числе и в проводимых нами экспериментах, необходимо применение теплового источника света (в нашем случае – галогенной лампы накаливания). И в большинстве случаев наиболее оптимальным способом модуляции светового потока от теплового источника света является применение электромеханического обтюлятора. При этом для детектирования сигнала удобно использовать синхронный детектор, управляемый сигналом от оптопары, смонтированной на обтюляторе.

Как правило, при спектрофотометрических исследованиях основным видом шумов является аддитивный шум, генерируемый фотоприёмником и входным каскадом усилителя фототока. При фиксированном коэффициенте усиления этот шум не зависит от уровня оптического сигнала. Но после того, как в ходе ряда модернизаций спектрофотометрического комплекса удалось значительно поднять интенсивность попадающего на фотоприёмник светового потока и снизить влияние аддитивного шума, обнаружился ещё и мультипликативный шум, который пропорционален уровню оптического сигнала и, как следствие, не поддаётся уменьшению путём усовершенствования оптической схемы комплекса. Уровень этого мультипликативного шума был весьма невелик и поэтому до последней модернизации комплекса он в большинстве случаев оказывался малозаметным на фоне аддитивного шума. Основной причиной мультипликативного шума являлись случайные изменения частоты вращения коллекторного электродвигателя обтюлятора. Влияние таких причин, как, например, собственные шумы в световом потоке галогенной лампы, было пренебрежимо мало.

В зависимости от особенностей схемотехники электронных узлов комплекса увеличение частоты вращения обтюлятора может приводить как к увеличению уровня сигнала на выходе синхронного детектора [1], так и к его уменьшению [4]. В обоих случаях зависимость уровня сигнала от частоты вращения обтюлятора (частоты модуля-

ции светового потока) весьма незначительна, например, в [1] изменение частоты модуляции более чем втрое приводит к изменению уровня сигнала в 1,04 раза. Однако, при определении коэффициента поглощения необходимо вычислять отношение сигнала, полученного при прохождении света через вещество, к сигналу, полученному от пустой кюветы. В случае слабопоглощающих сред эти сигналы мало отличаются друг от друга и влияние даже весьма малого мультипликативного шума может стать существенным. Для того, чтобы в принципе исключить такую возможность, при очередной модернизации комплекса было принято решение применить в обтюраторе синхронный электродвигатель, запитанный напряжением от источника с высокостабильной частотой. Дополнительными требованиями к такому двигателю являются малый размер в направлении оси вращения, а также высокая точность и жёсткость подшипников, исключающая нежелательные колебания крыльчатки обтюлятора.

Отвечающие таким требованиям электродвигатели затруднительно приобрести даже в условиях нынешнего обилия электромеханических компонентов. В то же время, этим требованиям соответствуют электродвигатели жёстких дисков персональных компьютеров, которые можно использовать вместе с корпусом жёсткого диска и схемой питания двигателя. Жёсткие диски большинства устаревших модификаций включают свой двигатель сразу после подачи на них питания, не требуя подачи каких-либо управляющих сигналов на интерфейс IDE. При создании обтюлятора магнитные диски и головки жёсткого диска были удалены, а на освободившийся шпиндель установлена алюминиевая крыльчатка диаметром 230 мм. Обтюратор имеет наружные размеры 250 x 250 x 45 мм и обеспечивает модуляцию светового потока с частотой около 260 Гц. Более подробное описание конструкции данного обтюлятора представлено в работе [4].

Опыт эксплуатации спектрофотометрического комплекса, созданного на основе монохроматора, показал, что именно такой подход является оптимальным в том случае, когда условия проводимых экспериментов могут потребовать оперативного изменения конфигурации комплекса. При этом современное состояние элементной базы в области электронных компонентов даёт возможность быстро и адекватно реагировать на возникающие потребности по созданию как устройств обработки сигнала и сопряжения с компьютером, так и вспомогательного оборудования. Элементная база в области электромеханических компонентов несколько беднее, чем в области электроники, однако, в большинстве случаев приемлемое решение удаётся найти и здесь. Таким образом, к принятию решения о покупке готового (и, как правило, очень дорогого) спектрофотометра следует подходить с осторожностью – во многих случаях следует обратить внимание на существенно более дешёвое решение, тем более, что именно такое решение часто предоставляет экспериментатору значительно более широкие возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веснин В.Л., Мурадов В.Г.* Спектрофотометрический комплекс на основе монохроматора МДР-41 для исследования спектров поглощения в диапазоне 400–1800 нм. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2008, т. 10, № 3, с. 719-723.
2. *Веснин В.Л., Мурадов В.Г.* Универсальный спектрофотометрический комплекс на основе монохроматора МДР-41. // Радиоэлектронная техника. Сб. науч. тр. – Ульяновск, УлГТУ, 2009, с. 86-89. <http://elibrary.ru/item.asp?id=24075339>
3. *Веснин В.Л., Мурадов В.Г.* Термостатированная ячейка для исследования спектров поглощения паров углеводородов. // Радиоэлектронная техника. Сб. науч. тр. – Ульяновск, УлГТУ, 2015, с. 167-170. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23884979>
4. *Веснин В.Л., Мурадов В.Г.* Влияние обтюлятора на мультипликативный шум спектрофотометрической аппаратуры при исследовании инфракрасных спектров нефти и смесей углеводородов. // Радиоэлектронная техника. Сб. науч. тр. – Ульяновск, УлГТУ, 2013, с. 159-164. <http://elibrary.ru/item.asp?id=24039613>