

О.Н. Улеников, Г.С. Хмельницкий

### МИКРОВОЛНОВЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР С РЕЗОНАТОРНЫМ СПЕКТРОФОНОМ

В сообщении представлены результаты разработки и приведены параметры газоанализатора на базе резонаторного спектрофона с источником монохроматического излучения на лампе обратной волны в диапазоне 118–180 ГГц.

Постоянно ухудшающаяся экологическая обстановка, в первую очередь загрязнение атмосферы газовыми выбросами антропогенного происхождения, требует организации системы мониторинга атмосферы и контроля выбросов нескольких десятков газов.

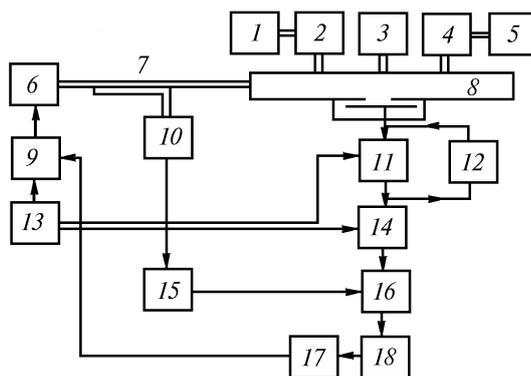
Существующие в настоящее время методы и средства не в состоянии сколько-нибудь удовлетворительно решить эту проблему, прежде всего, из-за малого числа газов, одновременно контролируемых одним прибором.

В то же время результаты СВЧ-спектроскопии миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов высокого разрешения позволяют развивать методы и создавать средства, решающие в значительной мере эти проблемы.

В качестве источника монохроматического микроволнового излучения служат лампы обратной волны, благодаря узкой линии излучения которых газоанализаторы на их основе имеют высокую избирательность, поскольку предельно снижается влияние мешающих линий поглощения, а широкий диапазон и высокая скорость электронной перестройки длины волны излучения позволяют оперативно и одновременно измерять концентрации большого числа газов.

Поскольку большинство газообразных загрязнений имеют чисто вращательный спектр, линии которого расположены в миллиметровой и субмиллиметровой области спектра, то СВЧ-газоанализаторы могут стать универсальным средством массового контроля выбросов предприятий и мониторинга загрязненной атмосферы.

В сообщении представлен СВЧ-газоанализатор, работающий в диапазоне 118–180 ГГц (длина волны порядка 2 мм) с резонаторным спектрофоном.



Блок-схема газоанализатора

На рисунке приведена блок-схема газоанализатора. Излучение от лампы обратной волны (ЛОВ) 6 через направленный ответвитель 7 поступает в камеру резонаторного спектрофона 8. Внутренние стенки камеры полированы, что приводит к многократному прохождению излучения через камеру. Это позволяет увеличить долю поглощенного в газе излучения и поднять чувствительность на порядок и более по сравнению с однопроходным спектрофоном [1].

Часть излучения направленным ответвителем 7 направляется на СВЧ-детектор 10 для контроля мощности выходящего из ЛОВ излучения.

Сигнал с мембраны конденсаторного микрофона поступает на преобразователь 11, выполненный по схеме частотного детектора, в контур которого включен конденсаторный микрофон [2]. Система снабжена блоком автоподстройки мембраны 12, который автоматически удерживает требуемое расстояние между электродами микрофона путем подачи напряжения на мембрану в диапазоне 0–40 В.

С преобразователя электрический сигнал поступает на синхронный детектор 14 и далее на АЦП 16, с которого осуществляется ввод в ЭВМ 18 типа IBM PC XT.

Сигнал, пропорциональный мощности излучения, после усиления в 15 поступает на второй вход двухканального АЦП 16.

По программе ЭВМ 18 управляет ЦАПом 17, который вырабатывает управляющее напряжение для блока питания ЛОВ 9, посредством которого осуществляется электронная перестройка длины волны излучения ЛОВ.

Опорный генератор 13 осуществляет синхронизацию работы блоков газоанализатора путем подачи меандра на блок питания 9 для частотной модуляции излучения, а также на синхронный детектор 14. Кроме того, с опорного генератора 13 подается высокочастотное синусоидальное напряжение частотой 5 МГц на преобразователь 11 для поддержки работы частотного детектора.

В газоанализаторе применена частотная модуляция излучения ЛОВ, поэтому регистрируется первая производная от контура линии поглощения газа, взаимодействующего с микроволновым излучением в камере спектрофона  $\delta$ . Таким образом, реализуется дифференциальная методика, позволяющая исключить неселективное поглощение и увеличить избирательность газоанализатора [3].

Кроме того, рабочее давление в камере спектрофона выбрано из расчета его максимальной чувствительности в районе 10 Торр [4], что также способствует сужению линий поглощения и увеличивает селективность газоанализатора.

Проба воздуха или газа через пылевой фильтр 1 и игольчатый натекагель 2 напускается в камеру спектрофона, давление в котором контролируется вакуумметром 3. Форвакуумный насос 5 через игольчатый натекагель 4 поддерживает требуемое давление в камере спектрофона  $\delta$ .

Газоанализатор апробирован на нескольких поглощающих смесях. В таблице представлены некоторые результаты испытаний. Кроме перечисленных в таблице газов, измерения также были проведены с парами метанола, этанола, муравьиной и уксусной кислот и рядом других газов и паров.

**Измеряемые газы, частота излучения, коэффициенты поглощения и пороговые концентрации СВЧ-газоанализатора**

Газ	$\nu_{\text{res}}$ , ГГц	$k$ , $\text{см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$	$C_{\text{min}}$ , ppm
NO	150,504	0,47	0,02
N <sub>2</sub> O	175,856	0,03	0,37
H <sub>2</sub> S	168,760	0,05	0,22
S <sub>2</sub> O	160,343	0,20	0,05
H <sub>2</sub> CO	145,706	0,03	0,37
NO <sub>2</sub>	123,966	0,003	2,80

Как видно из таблицы, в газоанализаторе реализуется высокая концентрационная чувствительность, достаточная для мониторинга атмосферы, и число одновременно измеряемых газов может быть весьма большим.

Для этой цели разработан пакет программ, поддерживающих работу газоанализатора и производящих обработку измеряемой информации с минимизацией мешающих факторов, применением быстрого преобразования Фурье и методов решения некорректных обратных задач.

В настоящее время ведется разработка приборного варианта микроволнового газоанализатора.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (пр. N 94-02-03081-а).

1. Казаков В. П. // Известия вузов. Радиофизика. 1980. Т. 23. N 7. С. 877—879.

2. Белов С. П., Демкин В. М., Печенкин В. И., Третьяков М. Ю. Субмиллиметровый газовый спектрометр РАД третьего поколения. Горький, 1988. 37 с. (Препринт / Ин-т прикладной физики АН СССР, N 201).

3. Хмельницкий Г. С. // ЖПС. 1991. Т. 55. N 6. С. 994—999.

4. Антипов А. Б., Капитанов В. А., Пономарев Ю. Н., Сапожникова В. А. Оптико-акустический метод в лазерной спектроскопии молекулярных газов. Новосибирск: Наука, 1984. 128 с.

Томский государственный университет

Поступила в редакцию  
24 марта 1995 г.

O. N. Ulenikov, G. S. Khmel'nitskii. **Microwave Gas Analyser with Resonator Spectrophone.**

A scheme of submillimeter gas analyzer with resonator spectrophone and backward-wave tube, as a source of radiation, is described. Results of first studies of real gas mixtures are presented.