

**СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ГАЗОВОГО СОСТАВА НА БАЗЕ ДАТЧИКОВ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ**

Разработана измерительная схема устройства диагностики газового состава, прототипами которой являются современные портативные газовые анализаторы. Характерным отличием предложенной схемы является использование сенсора поглощаемой мощности ИК излучения, обладающего возможностью адаптивной настройки характеристики преобразования. Достоинством разработанного устройства газовой диагностики также является наличие узлов, позволяющих проводить их автокалибровку, управление от внешних устройств, вывод информации на ЭВМ.

При анализе состава газовых смесей, широко используемом в различных видах диагностики, необходимо использовать устройства селективного измерения концентраций определенных газов относительно общей газовой среды [1]. Однако реакция на другие газовые компоненты затрудняет создание избирательных датчиков, обладающих высокой чувствительностью, надежностью и долговечностью. Одним из решений таких проблем является использование измерительных систем на основе поглощения инфракрасного (ИК) излучения [2].

Известны портативные газоанализаторы — ПГА широко применяющиеся для определения концентрации углеводородов, углекислого газа, кислорода с последующей выдачей сигнализации при превышении предельно допустимых уровней концентраций газов. Для измерения концентрации углеводородов и углекислого газа в таких приборах используется оптический датчик, принцип действия которого основан на поглощении ИК излучения.

Большинство газов способны поглощать ИК излучение. Это газы, состоящие из двух разных типов атомов, такие, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  и все углеводороды, такие как метан, пропан и другие природные газы. ИК излучение способно возбуждать верхние энергетические уровни молекул созданием дипольного момента совокупности различных атомов. Тепловая энергия ИК излучения при этом передается газу — он нагревается. Вместе с тем, интенсивность ИК луча, который проходит через объем газа, убывает как функция числа активных молекул газа в объеме, т.е. функция концентрации газа.

Способность газов взаимодействовать только с ИК излучением определенных длин волн использована для создания системы измерения концентрации определенного газа. Уменьшение интенсивности ИК луча по сравнению с известной первоначальной интенсивностью в заданной спектральной области позволяет прямо измерить концентрацию соответствующего газа. Молекулы одноатомного газа, такого как  $\text{N}_2$  или  $\text{O}_2$ , не взаимодействуют с ИК излучением и не могут быть обнаружены этим способом.

Система диагностики, предназначенная для обнаружения газа и измерения его концентрации по степени поглощения ИК луча, включает в себя:

- 1) источник ИК излучения;
- 2) измерительный объем, в котором находится исследуемый газ;
- 3) фильтр;
- 4) приёмник излучения.

Если ИК фотон нужной частоты взаимодействует с газом, проходя через тонкий слой измерительного объема, то вероятность его поглощения молекулой

пропорциональна толщине слоя и концентрации поглощающего газа. Т.о., луч интенсивностью  $J$ , проходящий через этот слой, будет ослабевать по экспоненциальному закону:

$$J=J_0\exp(-kCl), \quad (1)$$

где  $J$  – интенсивность излучения;  $J_0$  – начальная интенсивность излучения;  $k$  – коэффициент поглощения (затухания);  $C$  – частная концентрация измеряемого газа;  $l$  – длина измерительного объема.

Т.о., для заданной длины волны  $l$  обнаружение газа в значительной мере зависит от отношения интенсивностей  $J/J_0$ . Это отношение измеряется для определения концентрации газа.

Поглощение газом ИК-излучения проявляется только на тех длинах волн, которые могут возбудить более высокие энергетические состояния молекул. Это ставит коэффициент поглощения  $k$  в зависимость от длины волны ИК излучения. На рис.1 приведены несколько известных примеров спектров поглощения.

Т.к. разные газы имеют отличающиеся спектры поглощения, можно создать газовый детектор для конкретного газа введением селективного элемента для соответствующей длины волны на оптическом пути. Для этой цели были применены оптические фильтры.

На рис.2 показана принципиальная схема газового датчика: источник излучения 1 оптически коллимируется с приёмником ИК-излучения 4 с помощью полосового фильтра 3, расположенного перед ним. Полоса пропускания фильтра должна соответствовать полосе поглощения исследуемого газа. В результате уменьшения интенсивности излучения выходной сигнал убывает с возрастанием концентрации газа 2. В отсутствие поглощения на приёмнике падает напряжение  $U_0$ , которое соответствует интенсивности  $J_0$ . В присутствии газа результирующее отношение напряжений  $U/U_0$  эквивалентно отношению  $J/J_0$  в формуле (1).

В такой системе необходимо точно определять нулевой сигнал  $J_0$ , что представляется затруднительным в силу следующих причин. Можно градуировать датчик, но при длительном использовании интенсивность источника может изменяться. Кроме того, если произойдут изменения в оптике, например, загрязнения поверхности излучателя, нулевое значение неизбежно

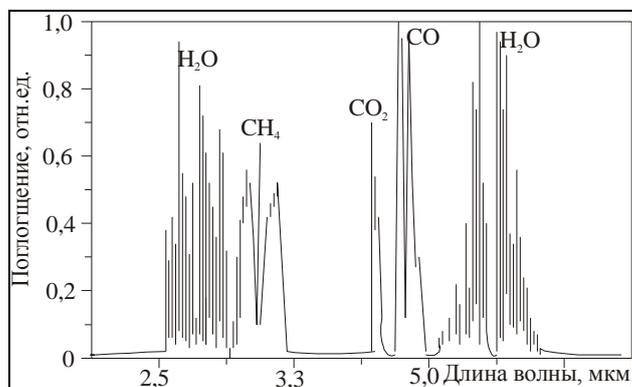


Рисунок 1 – Спектры поглощения ИК излучения некоторыми газами.

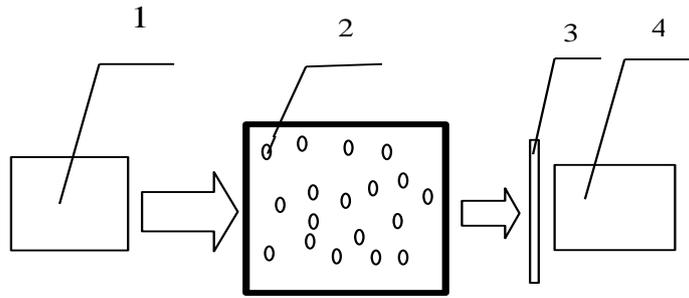


Рисунок 2 – Структура газового датчика.

изменится.

Для устранения этого недостатка может быть применена двулучевая схема датчика, где второй приёмник излучения взаимодействует с источником в ИК области, где почти нет поглощения (диапазон  $4,00 \pm 0,02 \mu\text{м}$ ). На рис.3 показана схема такого датчика, в которой 1 – источник излучения; 2 – ИК излучение; 3,5 – фильтры; 4,6 – приёмники излучения.

В такой схеме использования определяющей концентрацию газа, является отношение  $U_1/U_2$ , где  $U_1 \propto J_0 \exp(-kCl)$  – напряжение измерительного канала,  $U_2 \propto J_0$  – контрольного канала.

С учётом рассмотренных особенностей, была разработана измерения газового состава контролируемой среды (рис.4). Прототипами являются современные портативные газовые анализаторы ПГА, достоинствами которых являются:

- высокая чувствительность и точность измерений;
- широкий диапазон измеряемых концентраций;
- быстродействие;
- надёжность и долговечность;
- малый вес, габариты и энергопотребление;
- нечувствительность к высокой влажности, аммиаку, окислам азота и окиси углерода, а также к таким реагентам, как хлор, сера, фосфор, фтор, тетраэтил-свинец, «отравляющими термокаталитическими и другие газоанализаторы.

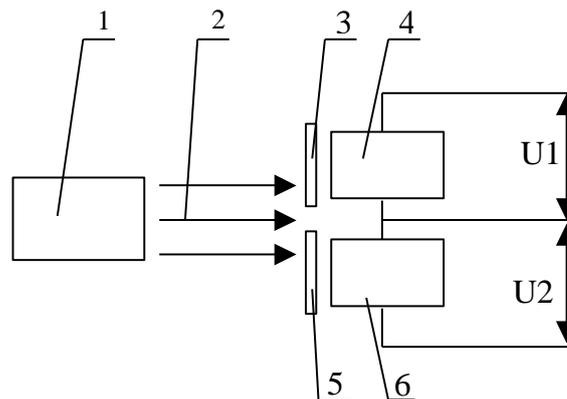


Рисунок 3 – Схема двулучевого датчика.

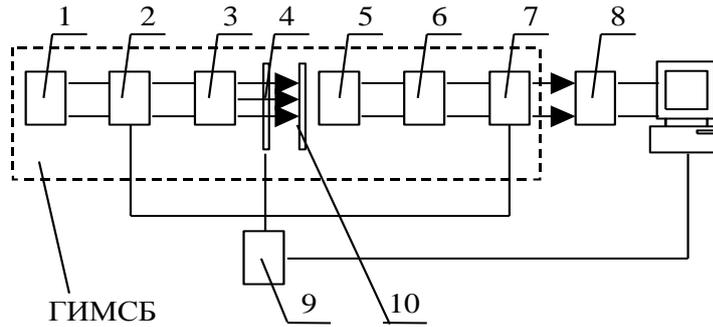


Рисунок 4 - Измерительная схема газового состава

Наряду с достоинствами газоанализаторы имеют и недостатки, главный из которых – невозможность адаптации характеристики преобразования ИК-датчика .

В качестве детектора ИК излучения используются различные тепловые приёмники: фотодиоды, фоторезисторы, термопарные преобразователи, пирозлектрические детекторы и др. Характерным отличием предложенной нами схемы является использование сенсора поглощаемой мощности ИК излучения, обладающего возможностью адаптивной настройки характеристики преобразования, что обеспечивается использованием в качестве исполнительного элемента датчика комбинированной транзисторной структуры [3].

ИК излучение, попадая на приёмник излучения 5, приводит к появлению на его выходе напряжения, пропорционального соответствующей мощности излучения  $P_{изл}$ . Т.о., если спектр поглощения газа соответствует ИК полосе пропускания фильтра 10 перед приёмником, уменьшение выходного напряжения прямо связано с количеством ИК поглощения соответствующим газом.

Сенсор поглощаемой мощности работает в импульсном режиме. Поэтому для обеспечения непрерывного выходного сигнала применяется импульсный источник ИК-излучения. Возможно использование в качестве источников и излучатели с непрерывной генерацией. Но в этом случае перед приемниками устанавливается модулятор излучения 4.

В разработанной системе излучателем является ИК-диод 3, подключенный к генератору 1 через формирователь 2 прямоугольных импульсов частотой 20 Гц и длительностью 10 мкс. Такие параметры импульсов обеспечивают стабильную работу сенсоров в квазистационарном режиме при сохранении оптимальной чувствительности. Выходной сигнал сенсоров, поступает через ВЧ-фильтр на входы малошумящих усилителей 6 с системой автоматической регулировки усиления 7 и преобразуется АЦП 8 в дискретный вид. Цифровой сигнал вводится в компьютер, где программными способами осуществляется накопление и корректировка информации о концентрации контролируемого газа. В случае изменения условий распространения опорного ИК-сигнала, программа через устройство контроля 9 корректирует частоту модуляции, изменяя чувствительность приемников [4].

Исходным уравнением для разработки цепи адаптивного управления является [5]:

$$P_{\text{пор}} = \frac{\tau^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha}{\rho \cdot \delta \cdot A \cdot \eta} \cdot \left( 2,4 - \frac{2}{3} \cdot \theta \cdot U_{\text{БЭ}} \right), \quad (2)$$

где  $P_{\text{пор}}$  – пороговая мощность ИК-излучения при которой на выходе сенсора появляется полезный сигнал;  $\tau$  - термическая постоянная сенсора;  $\varepsilon, \varepsilon_0$  – относительная и абсолютная диэлектрические проницаемости;  $\rho$  - пирозлектрический коэффициент;  $\delta$  - толщина пирозлектрика,  $\alpha$  - теплоотдача посредством теплопроводности и излучения;  $\eta$  - коэффициент эмиссии сенсора;  $A$  - площадь чувствительного элемента сенсора;  $U_{\text{БЭ}}$  - напряжение база-эмиттер в комбинированной транзисторной структуре сенсора;  $\theta$  - поправочный коэффициент ( $\theta = 0,7$ ).

Адаптивное управление датчиком проводится по алгоритму, показанному на рис. 5. Если величина выходного тока датчика меньше установочного максимального значения и больше минимального значения, то датчик находится на линейном участке передаточной характеристики. При этом величина выходного тока датчик адекватна поглощаемой мощности излучения. Если же выходной ток измерительного преобразователя меньше порогового значения, то к начальному току базы добавляется отрицательное по величине приращение, позволяющее сдвинуть передаточную характеристику в область меньших значений поглощаемой мощности излучения. После изменения тока настройки осуществляется проверка условий, определяющих функционирование измерительного преобразователя на рабочем участке передаточной характеристики. Если эти условия не выполняются, то повторяется процесс увеличения тока настройки. Подобным же образом происходит адаптация

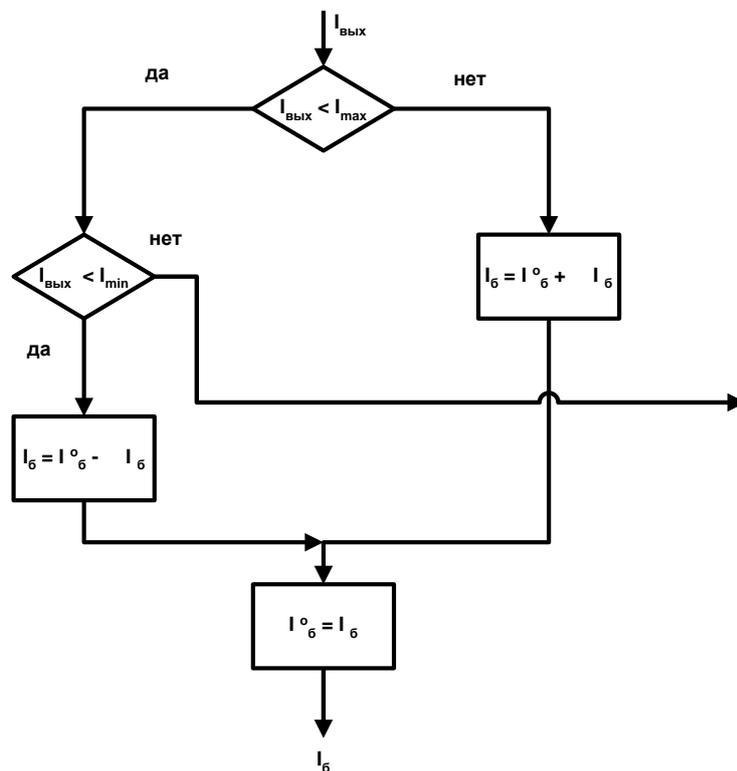


Рисунок 5 - Алгоритм адаптивного управления сенсором датчика.

датчика к уровню мощности излучения, больше максимального, при соответствующем токе настройки.

Часть измерительной схемы, выделенная пунктирной линией на рис.4, реализуется в виде датчика, расположенного в непосредственной близости от контролируемого объекта. Топология гибридной интегральной микросборки (ГИМСБ) датчика показана на рис.6, отличающейся интеграцией источника ИК-

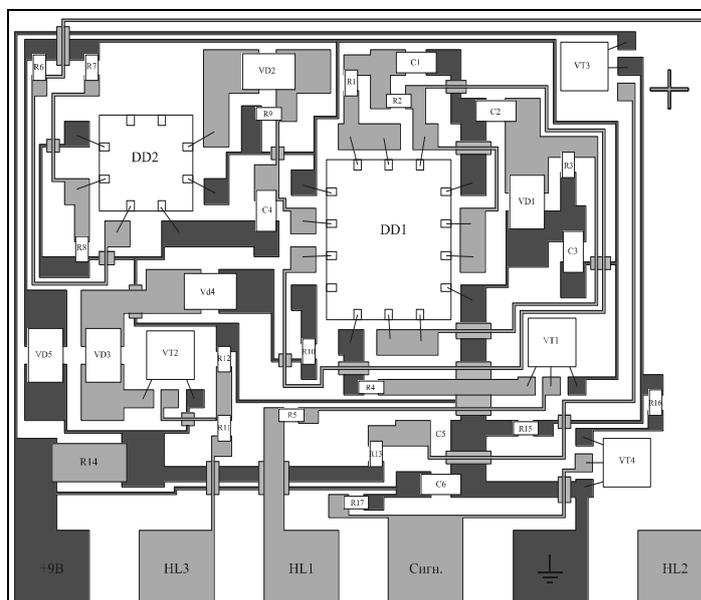


Рисунок 6 – Топология гибридной интегральной микросборки

излучения с сенсором поглощаемой мощности и схемами предварительной обработки и управления.

Достоинством разработанного устройства газовой диагностики также является наличие узлов, позволяющих проводить их автокалибровку, управление от внешних устройств, вывод информации на ЭВМ. Блоки обработки информации предназначены для подключения до 32 газоанализаторов-модулей.

### Литература

1. Како Н., Яманэ Я. Датчики и микроЭВМ. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд., 1986. – с.31-32.
2. Поскачей А.А., Чубаров Е.П. Оптико-электронные системы для измерения температуры. М., Энергоатомиздат, 1988.-с.46-47.
3. Киселев Е.Н., Костенко В.Л. Моделирование характеристик комбинированной транзисторной структуры / Сб. Науч. Трудов ЗГИА " Состояние, проблемы и направления развития производства цветных металлов в Украине " - под. Ред. Колобова Г.А. - Запорожье, 1998, с. 352-357.
4. P C A Hammes, P P L Regtien. An integrated sensor using the pyroelectric polymer PVDF, Sensors & Actuators A32 pp396-402 1992.
5. Костенко В.Л., Швец Е.Я., Киселев Е.Н. Автоуправляемые микросистемные датчики. – Технічна електродинаміка. Тематичний випуск

“Проблемі сучасної електротехніки” Ч. 6. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2002. с. 118-120.