

ВЫБОР ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

Чёрный В.В., магистрант; Косарев Н.П., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

На угольных шахтах ежегодно происходят десятки возгораний и взрывов метана. Проводя контроль концентрации взрывоопасных газовых смесей в нужный момент, можно избежать как людские жертвы, так и огромный материальный убыток. Именно поэтому следует обратить внимание на метод измерения, который имеет не только высокую точность, но и достаточно высокое быстродействие.

Выбору первичного преобразователя следует уделять особое внимание, т. к. от его параметров зависит корректность работы практически любой измерительной системы.

Оптический метод абсорбции основан на способности большинства газов избирательно поглощать лучевую энергию, и относится к методам спектроскопии абсорбции. В отличие от сложной и дорогостоящей спектральной аппаратуры для аналитических целей, в которой с помощью диспергирующих приборов обеспечивается спектральное разложение лучевой энергии, в оптических абсорбционных газоанализаторах выделения необходимых интервалов спектра осуществляется без применения диспергирующих элементов и поэтому методы, на которых основано действие оптических абсорбционных газоанализаторов, называют также бездисперсионными. Закон Бугера устанавливает связь между интенсивностью J падающего потока излучения и количеством энергии $dJdv$, которое поглощается бесконечно тонким слоем dx анализируемого газа в спектральном интервале dv :

$$dJdv = -K J dx dv, \quad (1)$$

где ν – волновое число ($\nu = 1/\lambda$, λ – длина волны в мкм); K – коэффициент поглощения (постоянная величина, характеризующая поглощения слоя и рассчитанная на единицу толщины при постоянном волновом числе).

Интеграция этого уравнения по x дает зависимость величины проходящего потока J от коэффициента поглощения K , толщины слоя x и величины падающего потока J_0 в спектральном интервале dv (закон Ламберта):

$$J \cdot dv = J_0 \cdot e^{-Kx} \cdot dv. \quad (2)$$

Для смеси j поглощающих газов, согласно закону Беера, коэффициент K определяется из соотношения:

$$K = \sum_{j=1}^j C_j \cdot K_j, \quad (3)$$

где K_j – коэффициент поглощения j -го компонента; C_j – концентрация j -го компонента в смеси. В свою очередь формула (1.28) с учетом изложенного может быть представлена в следующей форме:

$$J \cdot dv = J_0 \cdot e^{-A \cdot cx} \cdot dv, \quad (4)$$

где A – новый коэффициент, не зависящий от концентрации и характерный для молекулы поглощающего газа.

В устройствах бездисперсионной спектроскопии обычно имеют дело с некогерентными потоками лучевой энергии, поэтому через исследуемую смесь проходит интегральная величина потока, а спектральная область излучения шире, чем

область, в которой имеет место поглощение, и результат интеграции проходящего потока J_v по v будет иметь вид:

$$\int J_v dv = \int_1 J_{(0_1)} dv + \int_2 J_{(0_v)} \cdot e^{-A \cdot cx} dv \quad (5)$$

Первый интеграл берется по области, в которой поглощения нет ($A = 0$), второй интеграл – по той области, в которой наблюдается поглощение.

Для энергии, поглощенной в слое исследуемого газа, при постоянной длине волны получим выражение

$$J_n = J_0 \cdot (1 - e^{-A \cdot cx}) \quad (6)$$

Соответственно при интегральном поглощении имеем:

$$\int J_n dv = \int J_{(0_v)} \cdot (1 - e^{-A \cdot cx}) dv \quad (7)$$

Преимуществом оптических методов является высокое быстродействие анализатора. Недостатком является высокое влияние пыли на измерения концентрации метана. Использование бездисперсионной спектроскопии абсорбции в инфракрасной области (от 8 до 30 - 35 мкм) дает возможность значительно повысить избирательность, чувствительность, быстродействие (0,15 - 0,3с), пригодность для непрерывных измерений. Погрешность метода составляет менее 1 %.

Поток излучения, создаваемый светодиодом и направляемый на облучение оптического канала (ОК), представляет собой входной сигнал ОК. Поток излучения, прошедший слой тестируемого вещества, образует выходной сигнал ОК. Этот сигнал содержит информацию о концентрации ингредиента в тестируемом веществе.

Описывается он в следующем виде:

$$S_{\text{выхОК}}(\lambda, C) = S_{\text{вхОК}}(\lambda) \cdot K_{\text{ОК}}(\lambda, C) \quad (8)$$

Обе функции представляются графически, причем график функции $S_{\text{вхОК}}(l)$ имеет вид $S_{\text{вхОК}}(l, C=0)$, а график функции $S_{\text{выхОК}}(l, C)$ для различных значений концентрации ингредиента приведен на рис. 1. Полученные выражения спектральных плотностей потоков излучения используются для построения спектров входного и выходного сигналов ОК. Спектр выходного сигнала строится при максимальном значении концентрации ингредиента.

Информация о концентрации ингредиента в выходном сигнале представлена в виде изменения формы спектра. Входной величиной всех фотоприемников является поток излучения, а не отдельные спектральные составляющие. Выходной сигнал фотоприемника пропорционален интегральной характеристике сигнала:

$$U_{\Phi\Pi} = S_{\text{интС}} \cdot \Phi_{\text{выхОК}}(C); \quad (9)$$

$$\Phi_{\text{выхОК}}(C) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\text{выхОК}}(\lambda, C) d\lambda; \quad (10)$$

$$\Phi_{\text{выхОК}}(C) = C \cdot W. \quad (11)$$

Результатом измерений должна быть концентрация, а не величина выходного потока. Для этого следует установить обратную зависимость:

$$C = W^{-1} \cdot \Phi_{\text{выхОК}}(C). \quad (12)$$

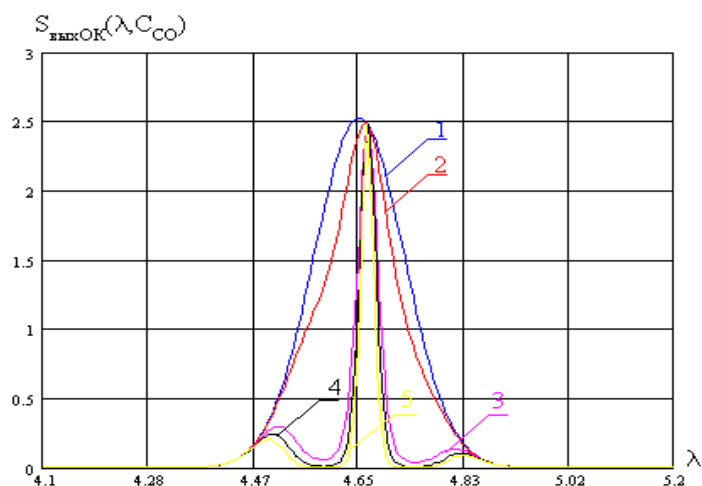


Рисунок 1 – Спектр выходного сигнала ОК при различных концентрациях ингредиента:
 1 – $S_{\text{выхОК}}(l, C=0,00)$; 2 – $S_{\text{выхОК}}(l, C=0,05)$; 3 – $S_{\text{выхОК}}(l, C=0,50)$; 4 – $S_{\text{выхОК}}(l, C=0,75)$;
 5 – $S_{\text{выхОК}}(l, C=1,00)$

Главной задачей является установление теоретической функции преобразования "концентрация в поток" и ей обратная "поток в концентрацию". Последняя предназначена для градуировки оптического канала и решения измерительных задач. Зависимость концентрации от потока излучения оказывается более наглядной и воспринимаемой, если она устанавливается не для потока излучения, а его относительного изменения:

$$C = W^{-1} \cdot \frac{\Phi_{\text{вхОК}} - \Phi_{\text{выхОК}}(C)}{\Phi_{\text{вхОК}}} \quad (13)$$

Эти зависимости представляются в графической форме. Обратная функция W^{-1} представляет собой решение уравнения относительно C . В этом выходной поток оптического канала входит в виде интегрального соотношения со сложной зависимостью от длины волны. Это значительно осложняет поиск решения в аналитическом виде, но за это решение может быть принято табличное представление зависимости, где аргумент и функцию легко поменять местами.

На рисунке 2 изображена функциональная схема измерителя концентрации метана для системы газовой защиты добычного участка.

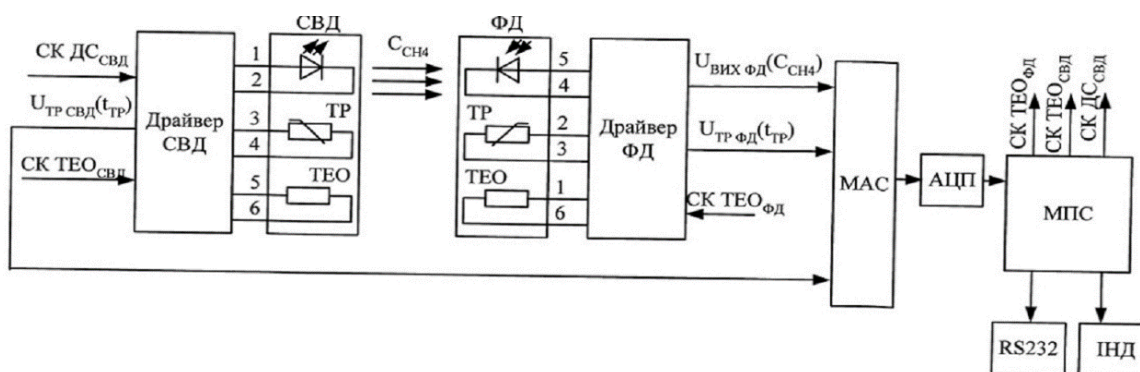


Рисунок 2 – Функциональная схема ИКМ

Как свидетельствует рисунок 2 микросхема не только выполняет преобразование значения концентрации в значение напряжения, но также усиливает сигнал, что является плюсом при работе с незначительными значениями сигнала.

Принципиальная схема устройства выглядит следующим образом (Рис. 3).

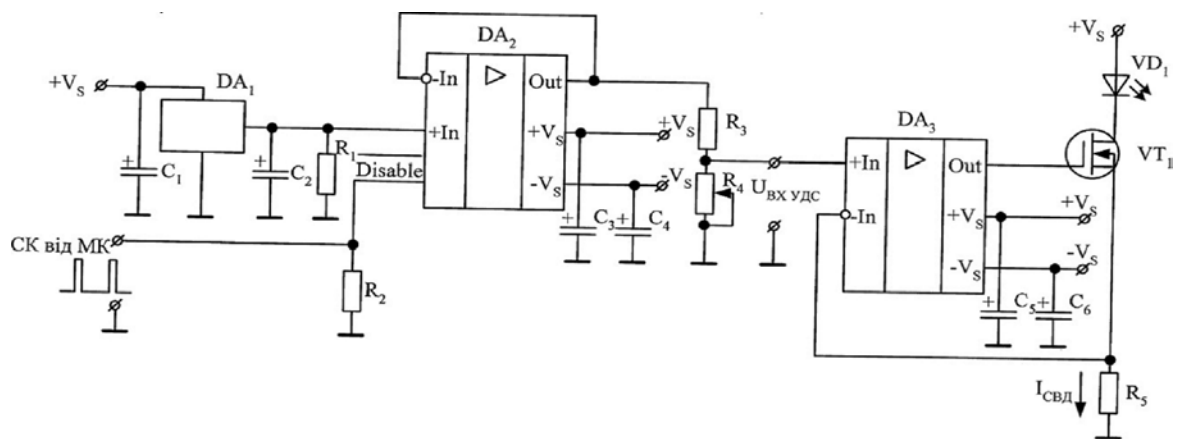


Рисунок 3 – Принципиальная схема управляемого источника тока

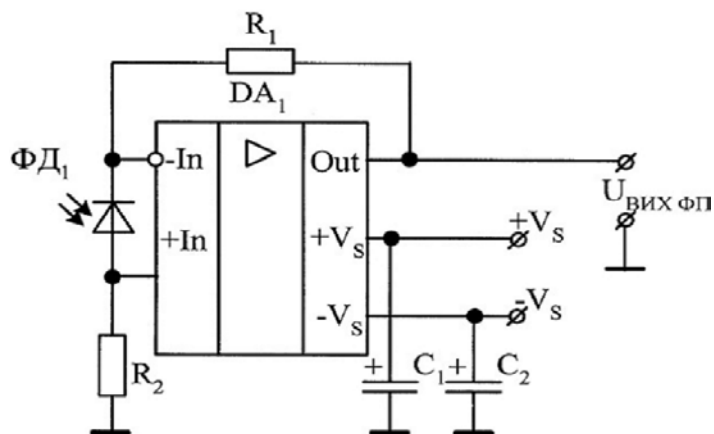


Рисунок 4 – Принципиальная схема фотоусилителя

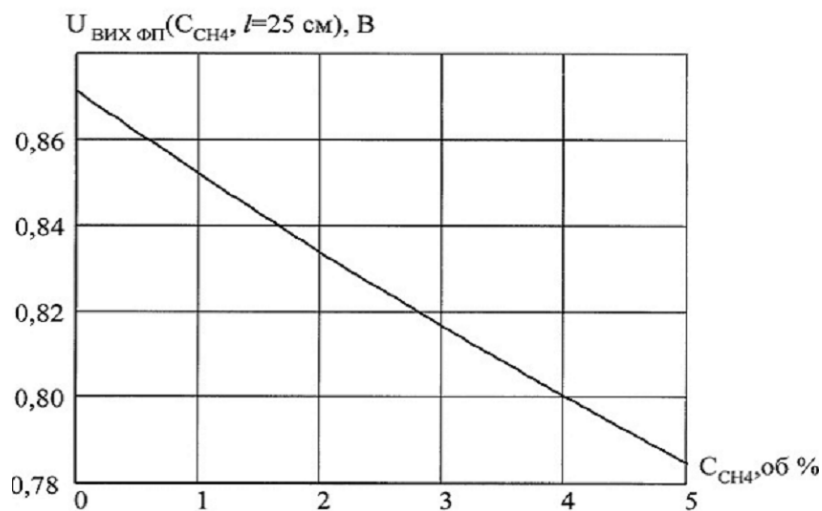


Рисунок 5 – Зависимость изменения выходного напряжения трансимпедансного фотоусилителя от концентрации метана

Перечень ссылок

1. МакНИИ «Техническая документация средств контроля рудничной атмосферы». - ГОСТ 24032-80 Приборы шахтные газоаналитические.
2. Карпов, Е. Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е. Ф. Карпов, Б. И. Басовский, И. Э. Биренберг. – Москва, 1984.
3. Чикунов, В. И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / В. И. Чикунов, А. А. Мясников, С. П. Старков.