

РАЗРАБОТКА БЛОКА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ

Вовна А.В., доц., к.т.н., (Ph.D.); Левшов М.М., студент

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Общая постановка проблемы. Для обеспечения работы и повышения точности измерителя концентрации кислорода, основанного на твердоэлектрлитической ячейке необходимо обеспечить ее температуру на уровне 750 °С, с точностью установки температуры не хуже $\pm 2^\circ\text{C}$. Поэтому обоснование и разработка блока контроля и регулирования температуры для данного вида измерителей является актуальной.

Постановка задач исследования. Целью работы является повышение точности измерителя концентрации кислорода в дымовых газах котлов, за счет обеспечения контроля и учета температуры твердоэлектрлитической ячейки.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- оценить дополнительную погрешность контроля концентрации газа от изменения температуры;
- разработка требований к установке температуры регулятором;
- анализ законов регулирования температуры для твердоэлектрлитической ячейки;
- обоснование и расчет исполнительного нагревательного элемента;
- разработать структурную схему блока контроля и регулирования температуры

Результаты разработки и исследований.

На основании экспериментальных данных определения э.д.с. сдвига [1] [2], которые проведены при равенстве концентраций кислорода на электродах. Температура управлялась с помощью программного регулятора. Измерения проведены в двух разных режимах:

- плавное изменение температуры в диапазоне от 749 до 775°С ($\Delta T=26^\circ\text{C}$), при этом диапазон изменения э.д.с. сдвига составлял от 1,7 до 2,05 мВ (см. рис. 1, а);
- периодическое изменение температура в диапазоне от 749,6 до 750,3°С ($\Delta T=0,7^\circ\text{C}$) с интервалом 10 с., диапазон изменения э.д.с. сдвига в данном эксперименте составлял от 1,85 до 2,15 мВ (см. рис. 1, б).

Из анализа полученных результатов (см. рис. 1) следует, что зависимость э.д.с. от температуры более чем на порядок ниже, чем от ее производной по времени. Процессы теплопроводности, происходящие в корпусе измерительного преобразователя, имеют разные скорости распространения тепла в ячейке. Поэтому температура распределена по объему неравномерно: на торцевых поверхностях, где расположенные электроды, она имеет разное значение. В результате разницы температур в твердом электролите возникает термо-э.д.с., которая при равенстве концентраций кислорода на электродах приводит к появлению электрического напряжения на ячейке. В случае неравных концентраций кислорода термо-э.д.с. вносит дополнительную разницу потенциалов, и определения концентрации с помощью уравнения Нернста, при концентрации кислорода $10^{06}\%$ термо-э.д.с. величиной 1 мВ приводит к погрешности не более $0,3^{06}\%$

В связи с этим для уменьшения переменной составляющей э.д.с. сдвига, что в свою очередь уменьшает погрешность измерения концентрации кислорода, необходимо использовать плавный регулятор температуры чувствительного элемента. Вследствие этого температурная неравномерность по объему термоэлектрлитической ячейки сводится к минимуму.

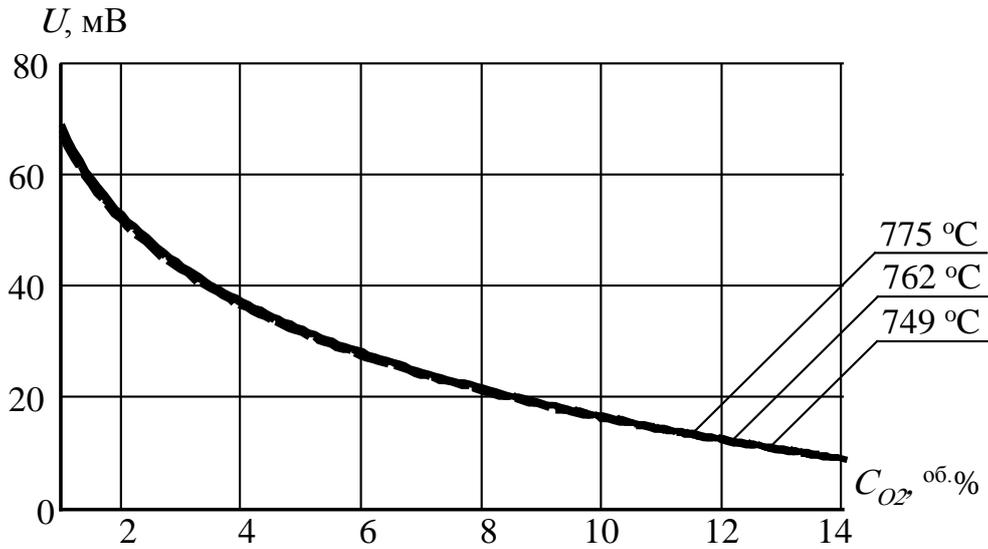
Требования к установке температуры плавным регулятором[1] [3]:

- номинальное значение температуры твердоэлектрлитической ячейки, °С 750;
- диапазон изменения установки температуры, °С от 748 до 752;
- значение абсолютной погрешности установки температуры, °С $\pm 0,3$;

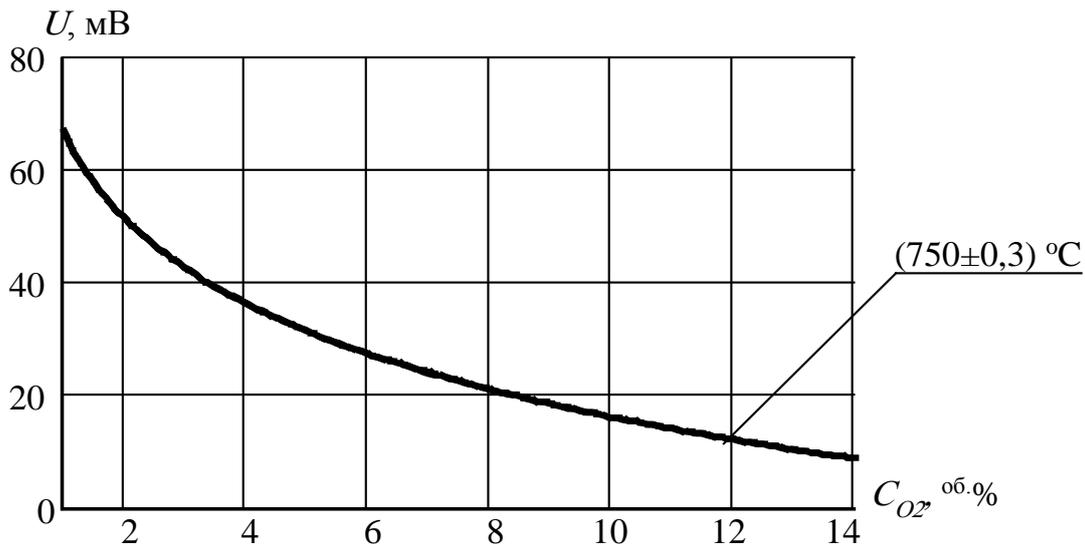
– постоянная времени терморегулятора, с

не более 10.

В качестве средства измерения температуры твердоэлектрорлитической ячейки решено использовать платиновый терморезистор, включенный в одно из плеч измерительного моста.



а) изменение температуры в диапазоне от 749 до 775 °C ($\Delta T=26^\circ C$)



б) от 749,7 до 750,3 °C ($\Delta T=0,6^\circ C$) с интервалом 10 с

Рисунок 1 – Изменение напряжения на выходе ТЭЯ при изменении концентрации кислорода в диапазоне от 1 до 14 об.% при разном режиме терморегулятора

Для решения задачи измерения температуры рекомендуется проводить балансировку измерительного моста при $T=0^\circ C$. Ток, протекающий через плечо измерительного моста рекомендуется выбирать порядка (5...10) мА. Напряжение питания моста принято равным 1.5В. Напряжение на выходе измерительного моста описывается выражением [3] (1)

$$U_m(T) = U_{mm} \cdot \frac{R(T) \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R(T) + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \quad (1)$$

$$R(T_0 = 0^\circ C) = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \text{ Ом}$$

Для приведения выгодного напряжения измерительного моста к унифицированному виду (0...5)В для удобства его дальнейшей обработки к его выходу подключен нормирующий преобразователь (рис 2).

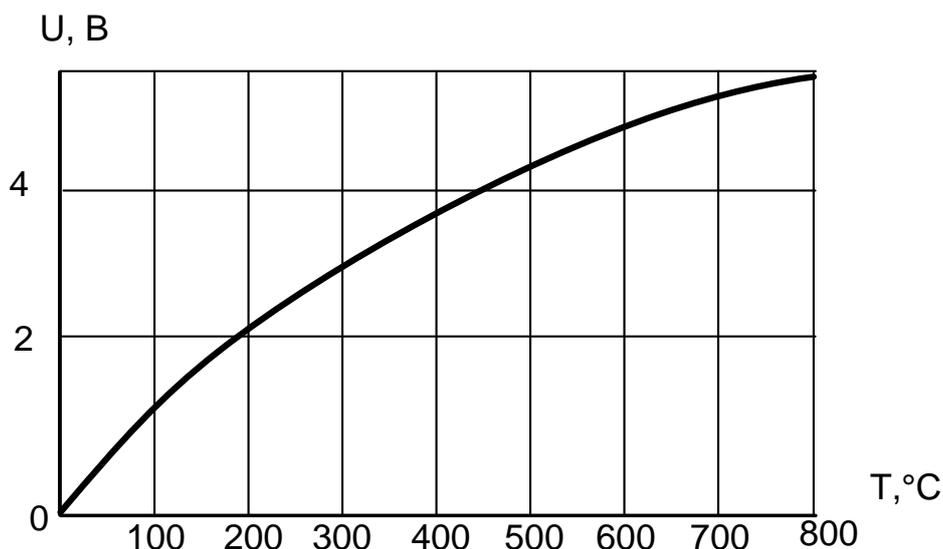


Рисунок 2 – Напряжение на выходе нормирующего преобразователя

Выходной сигнал нормирующего преобразователя, несущий в себе информацию о изменении температуры поступает на астатический двухпозиционный регулятор, с зоной неоднозначности представленной выражением [4] (2).

$$\varepsilon = \frac{1}{2} |T_2 - T_1| = \frac{1}{2} |752 - 742| = 2^\circ\text{C} \quad (2)$$

Установившийся режим работы блока контроля и регулирования температуры, соответствующий рис. 3, принято называть квазистационарным или режимом автоколебаний. Отличительной особенностью этого режима является наличие устойчивых гармонических колебаний температур каждого из элементов блока вокруг соответствующего им стационарного уровня. Данный режим позволит осуществить плавное регулирование температуры твердоэлектrolитической ячейки.[4]

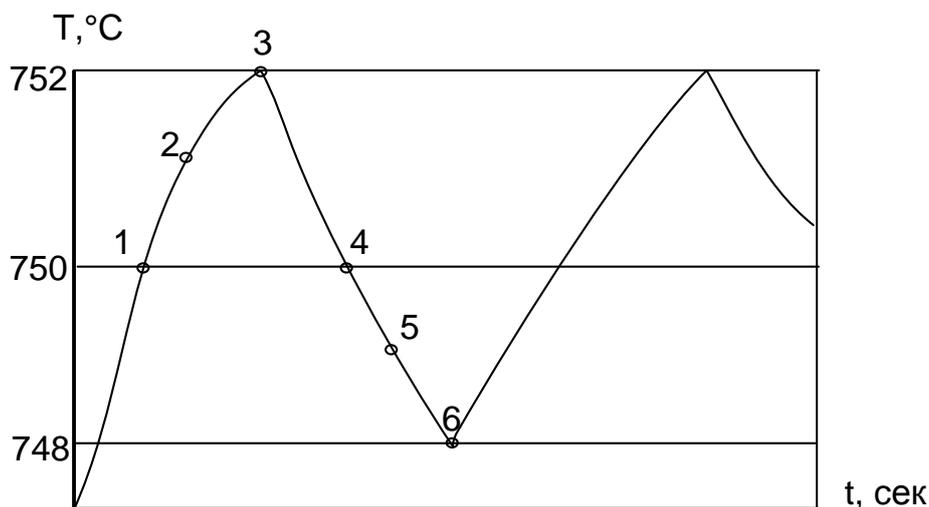


Рисунок 3 – График автоколебаний блока контроля и регулирования температуры

В точке 1, соответствующей температуре термостатирования нагревание объекта не прекращается, а продолжается за счет нечувствительности регулятора ε дальше, до точки 2. Зона нечувствительности $2 \cdot \varepsilon$ складывается в основном, из величины, обусловленной тепловой инерцией датчика и величины, обусловленной временем срабатывания реле. В точке 2 произойдет отключение нагревательного элемента. Однако температура будет

возрастать до точки 3 вследствие тепловой инерции объекта, а затем начнет падать по кривой 3-6. В точке 5 произойдет включение нагревателя.[4]

Для составления математической модели работы регулятора в режиме автоколебаний необходимо провести ряд экспериментов для получения точных значений теплопроводностей между анализируемой газовой смесью и элементами измерителя.

В качестве исполнительного нагревательного элемента выбран вольфрамовый спиральный нагревательный элемент, были рассчитаны его основные параметры:

Полезное и общее количество теплоты кДж, необходимой для повышения температуры нагреваемого материала до заданной величины [5] (3).

$$Q_{пол} = c \cdot m \cdot (t_k - t_n) = 0.291 \cdot 0,15 \cdot (750 - 165) = 25,54 \text{ кДж} \quad (3)$$

$$Q_{общ} = \frac{Q_{пол}}{\eta} = \frac{25,52}{0,8} = 31,92 \text{ кДж}$$

Мощность, кВт, нагревательного прибора определяют по формуле (4)

$$P = \frac{(0.00028 \cdot k \cdot Q_{общ})}{t} = \frac{(0,00028 \cdot 1,1 \cdot 31,92)}{0,1} = 0,098 \text{ кВт} \quad (4)$$

Определение силы тока, А, нагревательного элемента для однофазной сети осуществляется по формуле (5):

$$I = \frac{P \cdot 1000}{U} = \frac{0,098 \cdot 1000}{220} = 0,45 \text{ А} \quad (5)$$

Допустимая поверхностная удельная мощность, т.е. мощность, выделяемая с единицы внешней поверхности нагревателя (6)

$$\beta_{дон} = \beta_{эф} \cdot \alpha = 2 \cdot 10^4 \cdot 0,7 = 1,4 \cdot 10^4 \quad (6)$$

Диаметр, м, нагревателя круглого сечения (7)

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho_t \cdot (P \cdot 1000)^2}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot \beta_{дон}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 4,72 \cdot 10^{-5} \cdot (0,098 \cdot 1000)^2}{3,13^2 \cdot 220^2 \cdot 1,4 \cdot 10^4}} = 0,65 \text{ мм} \quad (7)$$

удельное сопротивление нагревательного элемента при различной температуре нагрева (8):

$$\rho_t = \rho \cdot k = 44,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1,07 = 4,72 \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

Длина, м, нагревательного элемента определяется по формуле [5] (9)

$$l = \sqrt[3]{\frac{P \cdot 1000 \cdot U^2}{4 \cdot \pi \cdot \rho_t \cdot \beta_{дон}^2}} = \sqrt[3]{\frac{0,098 \cdot 1000 \cdot 220^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 4,72 \cdot 10^{-5} \cdot (1,4 \cdot 10^4)^2}} = 3,45 \text{ м} \quad (9)$$

Исходя из вышесказанного, предложена следующая структурная схема системы терморегулирования

Информация об изменении температуры объекта терморегулирования ОТ через терморезистор включенный в измерительный мост ИМ поступает на нормирующий преобразователь НП. Нормирующий преобразователь НП усиливает сигнал моста, до уровня необходимого для регулятора температуры РТ. В зависимости от полученного сигнала регулятор температуры РТ изменяет подачу мощности от источника питания ИП на исполняющее устройство (нагреватель) ИУ.

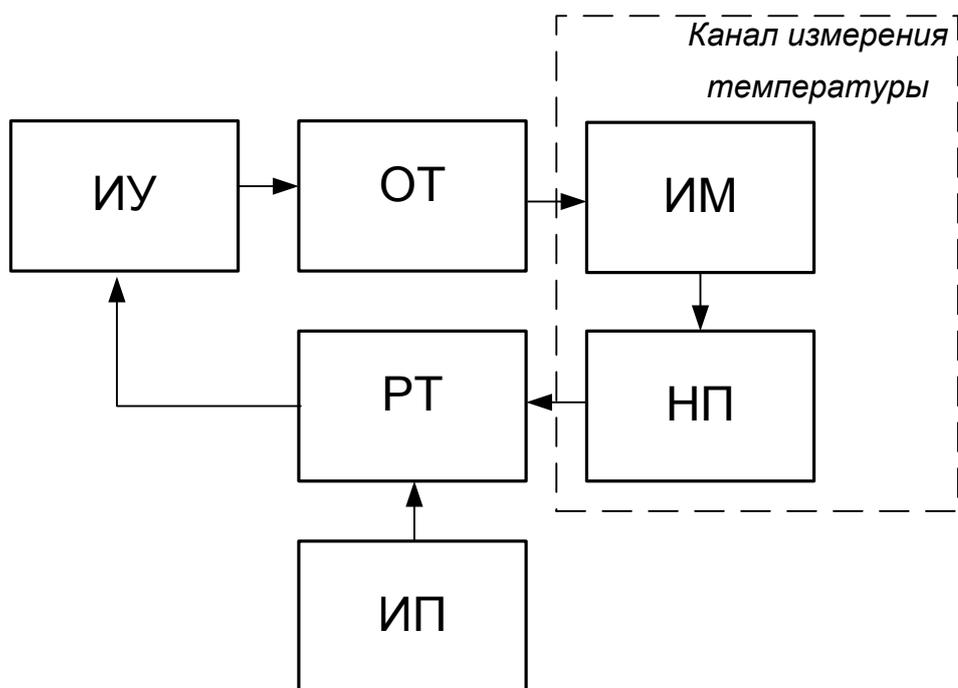


Рисунок 4 – Структурная схема системы терморегулирования

Выводы. При разработке системы терморегулирования измерителя концентрации кислорода в дымовых газах котлов были получены следующие результаты:

1. Разработаны требования к установке температуры плавным регулятором:
 - диапазон изменения установки температуры, °С от 749 до 751;
 - значение абсолютной погрешности установки температуры, °С $\pm 0,3$;
 - постоянная времени терморегулятора, с не более 10.

2. Произведен расчет канала измерения температуры, который обеспечивает получение информации о изменении температуры твердоэлектrolитической ячейки;

3. В качестве регулятора температуры был выбран астатический двухпозиционный регулятор, который обеспечит необходимую плавность изменения температуры;

4. Представлена структурная схема, состоящая из канала измерения температуры твёрдоэлектrolитической ячейки, регулятора температуры, подающего мощность от источника питания на исполнительный нагревательный элемент. Данная структурная схема позволит обеспечить температуру ячейки на уровне 750 °С, с точностью установки температуры не хуже $\pm 2^\circ\text{C}$.

Перечень ссылок

1. Гофман М.А. Повышение точности измерения концентрации кислорода в цифровых твердоэлектrolитных газоанализаторах / М.А. Гофман, М.В. Колечкин, О.И. Потатуркин, П.А. Чубаков // Автометрия. Российская академия наук. Сибирское отделение. – 2000. – № 6. – С. 82 – 87.

2. Вовна А.В., Левшов М.М. Разработка математической модели измерительного прибора концентрации кислорода в дымовых газах. Автоматизация технологических объектов и процессов. поиск молодых. 2013г. г. Донецк.

3. Герашенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И., Стаднык Б.И., Ярышев Н.А. Справочник: Температурные измерения – К.: Наукова думка, 1984 – 495 с.

4. Грабой Л.П., Ленская Л.П., Трошенко А.В. “Определение динамической ошибки регулирования двухпозиционного термостата”, Вопросы радиоэлектроники, ТРТО, вып. 1, 1971.

5. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию, М., Высш. шк., 1991 – 158 с.