

М.А. Анкуда, ст. преп.;
И.О. Орбей, доц., канд. техн. наук;
В.В. Сарока, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

АДАПТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Свойством резистивного полупроводникового сенсора, зависящим от концентрации газовой примеси, является электропроводность чувствительного слоя, в качестве которого используется поликристаллическая пленка полупроводниковых оксидов металла. Выходным аналитическим сигналом резистивного сенсора служит либо величина сопротивления чувствительного слоя, либо аналоговый сигнал по напряжению. В зависимости от типа детектируемой примеси (доноры или акцепторы электронов) и типа проводимости полупроводника (n или p -тип) сопротивление чувствительного слоя сенсора увеличивается или уменьшается.

Процесс измерения сопротивления обычно сводится к определению тока или напряжения какой-либо измерительной цепи. В настоящее время очень широкое применение находят измерительные цепи резистивных сенсоров, использующие операционные усилители. В качестве базовой схемы на основе операционного усилителя была предложена схема дифференциального усилителя, которая была выполнена на операционном усилителе M_9 (DA1) (см. рис. 1) [1].

Первичный полупроводниковый преобразователь R_0 содержит резистивный слой допированного оксида олова, который имеет чувствительность по проводимости $\Delta\sigma/\sigma \cdot 100 = 20\%/ppm$ к газовой смеси. Начальное сопротивление R_0 при отсутствии адсорбирующих газов лежит в пределах 300 ± 50 кОм. Сопротивления $R_{12} - R_{14}$ дифференциального усилителя, который выполнен на M_9 , будут равны начальному значению сопротивления R_0 .

Сопротивление на R_0 , обратно пропорциональное концентрации измеряемого газа, формирует выходное напряжение дифференциального усилителя, которое поступает на $\Delta - \Sigma$ аналого-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП M_2 сконфигурирован как 16 разрядный в диапазоне $0 - 1,25$ В с источником опорного напряжения M_1 , генератор на M_3 , M_{4-2} , монитор питания со сторожевым таймером M_5 , однокристалльный микроконтроллер с памятью программ M_6 , индикатор M_7 , приемопередатчик сигналов интерфейса RS-232 M_8 и оптоключный переключатель режимов работы на $D_5 - D_7, T_1 - T_4$.

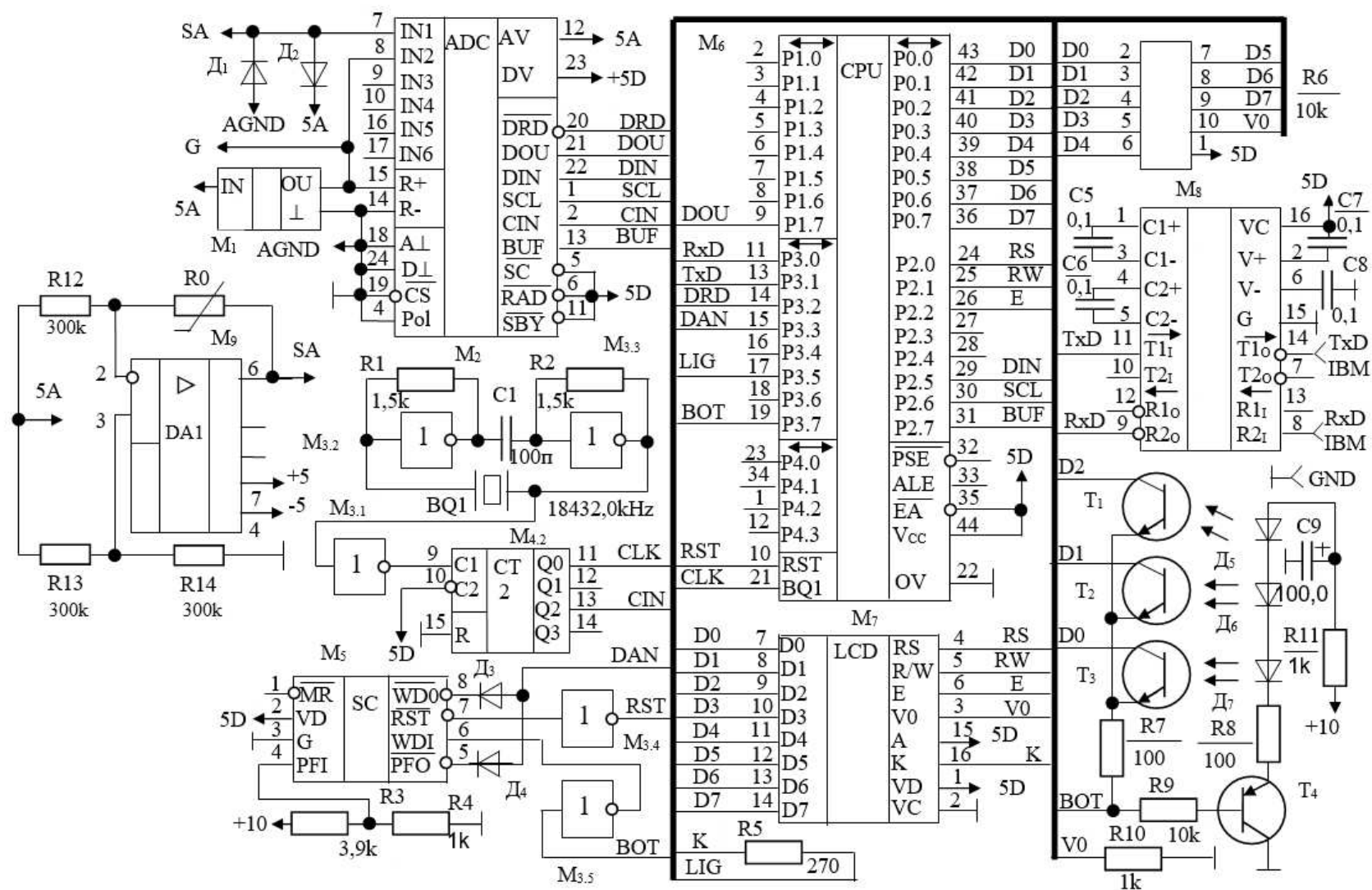


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная измерителя концентрации

Циклы работы блока синхронизирует программный таймер микроконтроллера M_6 .

Программное обеспечение контроллера реализует алгоритм адаптивной цифровой фильтрации сигнала с выхода первичного преобразователя M_9 . Обычно при цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами, имеющие конечную импульсную характеристику (КИХ). Фильтр с КИХ требует большого объема памяти для хранения усредняемых значений и матрицы весовых коэффициентов и имеет ограниченное возрастание точности с течением времени.

Для устранения подобных недостатков был предложен алгоритм цифровой фильтрации с использованием дополнительной локальной аппроксимации некоторой длины временной последовательности квадратичной или линейной зависимостью и определением интегральных значений показателя скорости и ускорения. Полученные значения вместе с суммой квадратов отклонений позволяют спрогнозировать временной параметр для формирования выходного значения на данном такте измерения.

Суть этого метода состоит в использовании скользящих локально-параметрических моделей, в качестве которых предлагается использовать линейную и квадратичную аппроксимации:

$$\begin{aligned} y(t) &= c_1 + c_2 t \\ y(t) &= d_1 + d_2 t + d_3 t^2, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} w_2 & w_1 \\ w_3 & w_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}; \\ \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} w_3 & w_2 & w_1 \\ w_4 & w_3 & w_2 \\ w_5 & w_4 & w_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}; \\ w_i &= (t_1)^{i-1} + (t_2)^{i-1} + \dots + (t_N)^{i-1}; \\ b_i &= (t_1 x_1)^{i-1} + (t_2 x_2)^{i-1} + \dots + (t_N x_N)^{i-1}. \end{aligned}$$

Данные уравнения является результатом применения метода наименьших квадратов и, в отличие от других весовых функций, не требует большого количества вычислений.

Для формирования выходного значения y_i может быть использовано любое значение времени t в диапазоне аппроксимации

$$t_k = [0 \quad \Delta t \quad 2\Delta t \quad \dots \quad (N-2)\Delta t \quad (N-1)\Delta t],$$

где Δt – время квантования.

Функциональная схема адаптивного фильтра приведена на рис. 2.

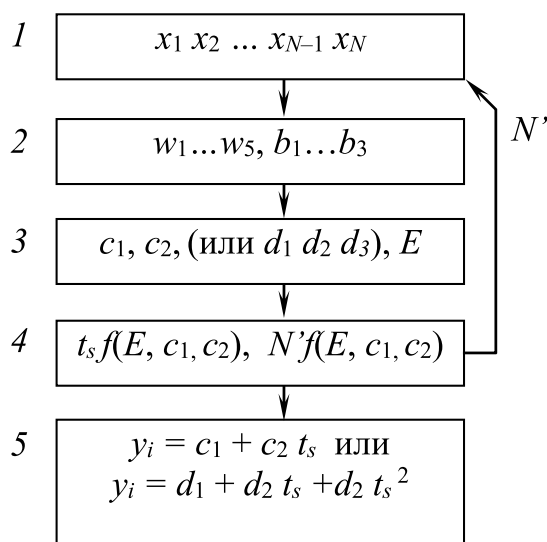


Рисунок 2 – Функциональная схема работы адаптации

Работа адаптации предполагает проведение постоянных расчетов по линейной или параболической аппроксимации. Блок 1 запоминает требуемую длину последних значений отсчетов АЦП в соответствии с окном аппроксимации N , блок 2 производит расчет значений $w_1 \dots w_5, b_1 \dots b_3$, блок 3 производит расчет c_1, c_2 (или d_1, d_2, d_3) и вычисление величины дисперсии отклонения E значений от аппроксимированных кривых. Блок 4 позволяет осуществлять выбор между линейной и квадратичной аппроксимацией и их параметрами. Блок 5 реализует аппроксимацию.

Таким образом, была получена измерительная схема с преобразователем на основе полупроводникового пленочного сенсора под управлением микропроцессорного контроллера, который позволяет производить измерения концентрации газовой смеси с реализацией адаптивной цифровой фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анкуда, М. А. Измеритель концентрации газовых смесей / М. А. Анкуда, И. О. Оробей, В. В. Сарока // Химическая технология и техника : материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 300-303.

2. Адаптивная цифровая фильтрация для обработки сигналов от полупроводниковых пленочных газовых сенсоров / И. О. Оробей [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 322–324.