

УДК 621.391

**И.О. Оробей, Д.А. Гринюк, М.А. Анкуда, Н.М. Олиферович**

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

## **АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СЕНСОРОВ**

*Аннотация.* Предложен вариант построения адаптивного цифрового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой для обработки информации пленочного сенсора, который характеризуется минимальным временем запаздывания при нестационарном исследуемом процессе на основании критерия серий, что не требует хранения всей выборки значений.

**I.O. Orobei, D.A. Grinyuk, M.A. Ankuda, N.M. Oliferovich**

Belarusian State Technological University

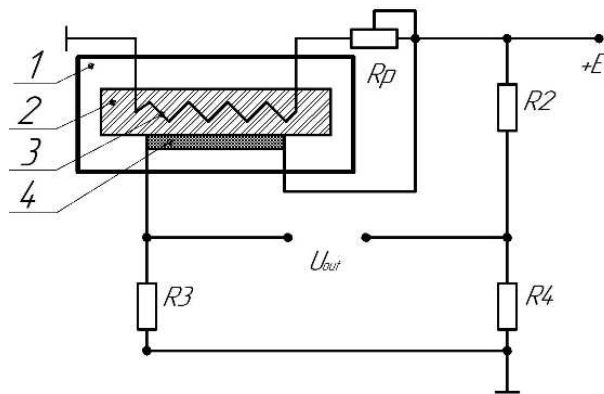
Minsk, Belarus

## **ADAPTIVE FILTERING OF INFORMATION FROM SEMICONDUCTOR FILM SENSORS**

*Abstract.* A variant of constructing an adaptive digital filter with an infinite impulse response for processing film sensor information is proposed. The filter is characterized by a minimum delay time for a non-stationary process under study and is based on the series criterion, which does not require storing the entire sample of values.

Принцип действия полупроводниковых пленочных сенсоров основан на изменении электрофизических свойств чувствительного слоя полупроводникового образца при изменении состава анализируемой газовой среды. Выходным сигналом первичного преобразователя служит либо величина сопротивления, которая в последующем преобразуется в напряжение.

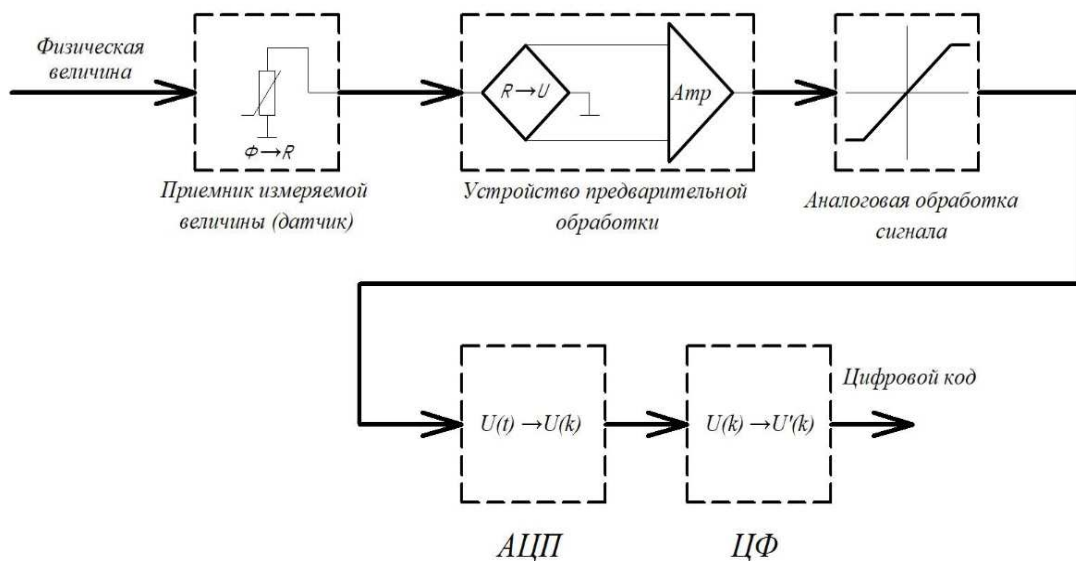
Полупроводниковый сенсор представляет собой небольшую изолирующую подложку ( $3 \times 3$  мм<sup>2</sup> или меньше), на которой расположены измерительные электроды и нагреватель. Поверх измерительных электродов наносится чувствительный слой [1].



**Рис. 1 – Электрическая схема газоанализатора полупроводникового типа: 1 – корпус чувствительного элемента; 2 – подложка керамическая; 3 – спираль нагрева; 4 – полупроводниковый чувствительный слой**

От источника напряжения  $+E$  происходит нагрев с помощью спирали 3 керамической подложки 2 и полупроводника 4. Температуру нагрева датчика можно устанавливать с помощью регулируемого резистора  $R_p$ . По краям легированного полупроводника, проводимость которого будет меняться под действием исследуемого продуваемого газа, размещают два электрода. В результате между электродами возникает некоторое параметрическое сопротивление  $R_\partial$ . Сопротивление  $R_\partial$  вместе с  $R_1, R_2, R_3$  образует мостовую схему, которая позволяет переводить изменение сопротивления датчика в электрический сигнал  $U_{out}$  для дальнейшей обработки.

Структура устройства обработки информации от полупроводниковых пленочных газовых сенсоров можно отобразить в виде схемы (рис. 2).



**Рис. 2 - Структурная схема газоанализатора полупроводникового типа**

Датчики служат источником информации и состоят из чувствительного элемента, схемы обработки полученного сигнала, а также для создания современных систем обработки информации предпочтительна выдача датчиком цифрового сигнала, что требует в их составе наличие аналого-цифрового преобразователя и блока цифровой фильтрации.

На этапе получения цифровой или аналоговой информации наиболее важным становится выделение полезного сигнала на фоне шумов, что реализуется с помощью различных схем фильтрации.

Для обработки в режиме реального времени слабых сигналов с нестационарным характером шумов и помех в измерительной технике можно использовать цифровые адаптивные фильтры, что актуально при использовании для обработки сигнала контроллеров с быстродействующим аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). [2]

В существующих методах цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами. Фильтр с КИХ требует большого объема памяти для хранения усредняемых значений и матрицы весовых коэффициентов и имеет ограниченное возрастание точности с течением времени [2].

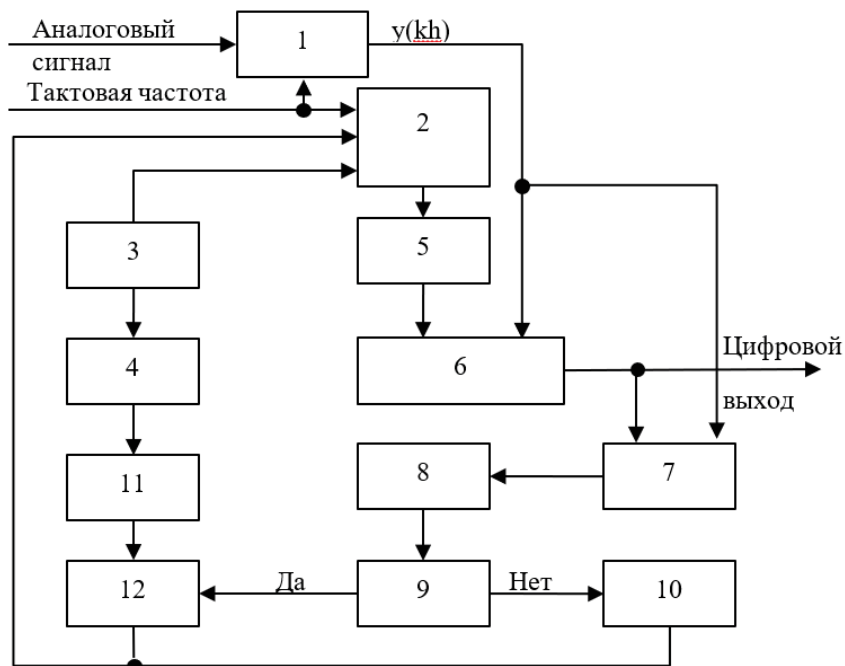
Сущность предложенного цифрового адаптивного фильтра основывается на использовании критерия серий для оценки статистической независимости или тренда данных с АЦП. Нестационарность вероятностных характеристик потока данных приводит к появлению тренда, т.е. к отсутствию статистической независимости. Поскольку данные с АЦП могут иметь разные функции распределения, то их исследования удобно проводить на основе свободных от распределений непараметрических методов, например, с помощью критерия серий.

Серией называется последовательность однотипных наблюдений, перед и после которой следуют наблюдения противоположного типа или таковые вообще отсутствуют. Для последовательности  $N$  наблюдений случайной величины каждое наблюдение  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) можно отнести к одному из двух классов: при выполнении условия  $y_i \geq Y_{\text{ср}}$ , где  $Y_{\text{ср}}$  – среднее значение или медиана последовательности  $y_i$ , наблюдение можно отнести к классу с ошибкой  $\varepsilon \geq 0$ ; в противном случае наблюдение относится к классу с ошибкой  $\varepsilon < 0$ . Наблюдения с  $\varepsilon = 0$  можно отбрасывать или относить к классу предыдущего наблюдения. Далее определяют число серий  $r$  в последовательности, среднее значение  $\mu$  и дисперсию  $\sigma^2$ :

$$\mu = \frac{2N^+N^-}{N} + 1; \sigma^2 = \frac{2N^+N^-(2N^+N^- - N)}{N^2(N - 1)};$$

где  $N^+$ ,  $N^-$  - число исходов, относящихся к классам с ошибкой  $\varepsilon \geq 0$  и с ошибкой  $\varepsilon < 0$  соответственно.

Далее задаются уровнем значимости и сравнивают экспериментальное число серий  $r$  с границами принятия гипотезы статистической независимости, определяемыми относительно  $\mu$  по уровню значимости. В разработанном фильтре использовано определение уровня значимости, соответствующего границам  $[\mu - r; \mu + r]$ . Через уровень значимости или связанные с ним величины можно определить вероятность статистической независимости данных.



**Рис. 3 – Адаптивный фильтр:** 1 – АЦП.; 2 - наращивание переменной состояния; 3 – инициализация начальных установок; 4 - расчет среднего и дисперсии для  $N$  наблюдений при статистической независимости отсчетов; 5 - вычисление весового коэффициента; 6 - авторегрессивная фильтрация скользящего среднего; 7 - определение ошибки и ее знака; 8 - подсчет числа серий; 9 - проверка конца наблюдений; 10 - наращивание переменной наблюдений при сохранении переменной состояния; 11 - определение вероятности статистической независимости; 12 - сброс переменной наблюдений с изменением переменной состояния

Функциональная схема фильтра приведена на рис. 3. В нем применен непосредственный подсчет серий  $r$  в блоке 8, причем наблюдение с  $\varepsilon = 0$  получает знак ошибки предыдущего наблюдения (блок 7). Вместо непосредственного подсчета  $r$  можно определять  $N^+$ , и  $N^-$  за  $N$  наблюдений в реальном процессе с последующим расчетом  $r$ .

Стандартный алгоритм критерия серий после определения  $\mu$ ,  $\sigma^2$  и  $r$  требует задания уровня значимости и сравнения экспериментально определенного числа серий  $r$  с границами принятия гипотезы статистической независимости процесса, определяемыми относительно  $\mu$  по уровню значимости. Если  $r$  окажется вне этой области, то гипотезу статистической независимости отвергают с принятым уровнем значимости, в противном случае процесс считают статистически независимым.

В предлагаемом способе адаптивной фильтрации, алгоритм которого приведен на рис. 3, использовано определение уровня значимости, соответствующего принятию гипотезы статистической независимости по заданным значениям  $\mu$ ,  $\sigma^2$  и  $r$ , т.е. уровня значимости, соответствующего границам  $[\mu-r; \mu+r]$ . Через уровень значимости или связанные с ним величины можно определить вероятность статистической независимости данных.

Сокращение памяти, необходимой для хранения отдельных значений усредняемой величины, в предлагаемом способе достигается использованием авторегрессивного фильтра скользящего среднего с ненулевым значением коэффициента только перед последним значением усредняемой величины. Весовые коэффициенты перед остальными отдельными отсчетами равны нулю, что исключает необходимость хранения в памяти всех цифровых отсчетов с выхода АЦП, кроме последнего.

### **Список использованных источников**

1. 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.
2. Фильтр с адаптацией по вероятностному критерию / И. О. Оробей [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 50-56