

*Подситкин К.С.*

*студент*

*Научный руководитель: Аверченков О.Е., к.т.н*

*Филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске*

## **ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ КАК ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ПОМЕХ В ГАЗОАНАЛИЗАТОРАХ**

*Аннотация: в настоящий момент газоаналитическая продукция применяется для решения узкого спектра задач, но в широком спектре отраслей промышленности. Из-за этого важно учитывать особенности помещений, где они будут применяться, в частности, возможное воздействие помех. Для борьбы с шумами предлагается использовать цифровые фильтры: заграждающий и Баттерворта.*

*Ключевые слова: цифровой фильтр, низкочастотный сигнал, заграждающий фильтр, фильтр Баттерворта.*

*Podsitkin K.S.*

*student*

*Scientific supervisor: Averchenkov O.E., k.t.s*

*Smolensk branch of NRU MPEI*

## **DIGITAL FILTERS AS SOFTWARE METHODS FOR ELIMINATING INTERFERENCE IN GAS ANALYZERS**

*Abstract: currently, gas analytical products are used to solve a narrow range of problems, but in a wide range of industries. Because of this, it is important to take into account the characteristics of the premises where they will be used, in particular, the possible impact of interference. To deal with noise, it is proposed to use digital filters: barring and Butterworth.*

*Keywords: digital filter, low-frequency signal, blocking filter, Butterworth filter*

На газоаналитические приборы, применяемые на производстве, часто воздействует помеха промышленной электросети с частотой 50 Гц. Учитывая, что информационный сигнал от измерительной ячейки изменяется тоже в низкочастотном диапазоне 1..100 Гц, возникает существенная погрешность, для уменьшения которой применяют всевозможные аналоговые и цифровые фильтры. В настоящее время для борьбы с подобными помехами чаще используются цифровые фильтры, причем, в большинстве случаев при реализации последних можно обойтись и без специализированных сигнальных процессоров. Например, используя универсальный 8-битный микроконтроллер, уже имеющийся в составе газоаналитических приборов, поскольку его ресурсов бывает достаточно для обработки указанного низкочастотного сигнала.

В нашем случае для борьбы с помехами на частоте 50 Гц, был использован заграждающий фильтр 2 порядка, который рассчитывается методом размещения нулей и полюсов [1]. Фильтр осуществляет режекцию сигнала на частоте 50 Гц, а также имеет полосу среза по 5 Гц в каждую сторону, что показано на рисунке 1 [2]:

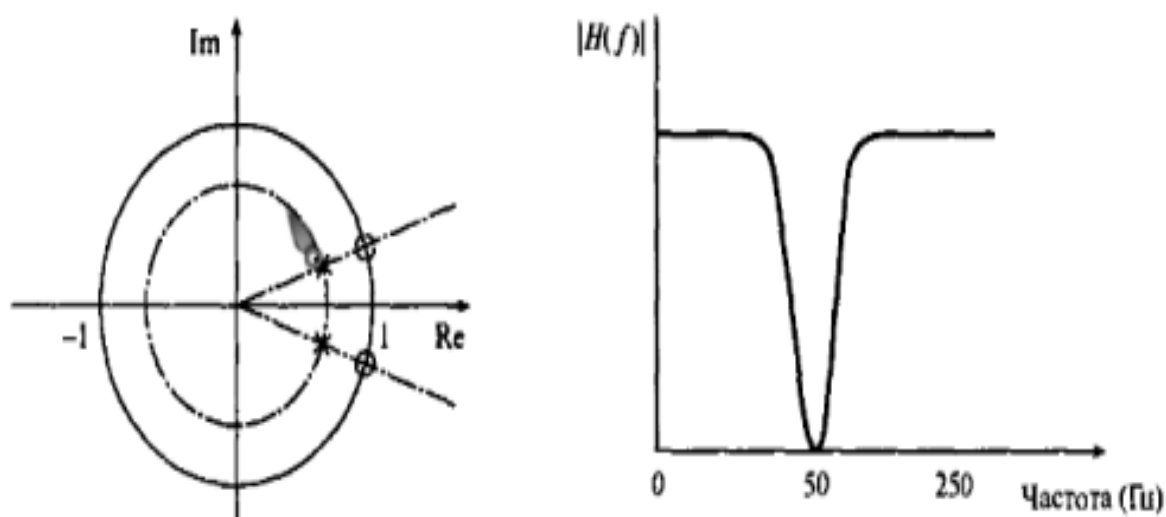


Рисунок 1 – Частотная характеристика и диаграмма нулей и полюсов заграждающего фильтра

Для подавления помехи с частотой 50 Гц пара комплексных нулей была помещена на окружности в точках с угловыми координатами:

$$\varphi_{1,2} = (F_{загр}/F_{дискр}) * 360^\circ = (50/1000) * 360^\circ = 18^\circ \quad (2)$$

Далее, с целью обеспечения полосы ослабления сигнала, полюса были помещены внутри самой окружности (на окружности с  $r < 1$ ). Учитывая ширину среза ( $W_{полосы} = 10$ ), воспользовались формулой 3:

$$r \approx 1 - (W_{полосы}/F_{дискр}) * \pi = 0,9698 \quad (3)$$

Затем, исходя из диаграммы, была рассчитана передаточная функция:

$$H(z) = \frac{(z - e^{-i \cdot 18^\circ}) * (z - e^{i \cdot 18^\circ})}{(z - 0.9686 * e^{-i \cdot 18^\circ}) * (z - 0.9686 * e^{i \cdot 18^\circ})} = \frac{1 - 1.9022 * z^{-1} + z^{-2}}{1 - 1.8424 * z^{-1} + 0.9382 * z^{-2}} \quad (4)$$

Схема заграждающего представлена на рисунке 2:

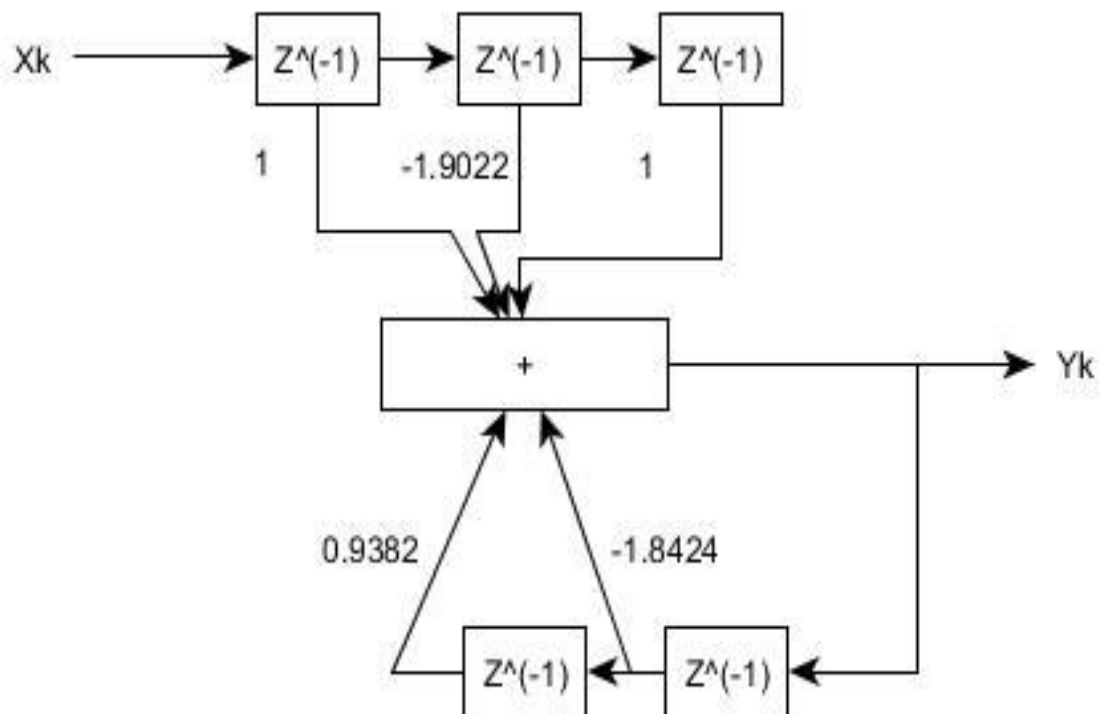


Рисунок 2 – Схема заграждающего фильтра

Полученная функция 4 была преобразована в разностное уравнение, которое было использовано при программировании:

$$y(n) = x_n - 1,9022 * x_{n-1} + x_{n-2} + 1,8424 * y_{n-1} - 0,9382 * y_{n-2} \quad (5)$$

Расчёт фильтра Баттерворта 2 порядка был осуществлён методом билинейного z-преобразования. Для этого был определён нормированный аналоговый фильтр-прототип нижних частот 1 порядка с передаточной функцией:

$$H(S) = 1/(S+1) \quad (6)$$

Затем была проведена деформация критичных частот (0,05 и 100 Гц):

$$\begin{aligned} \omega_{p1}^{\wedge} &= \text{tg}(\omega_{p1} * T/2) = 0,00016 \\ \omega_{p2}^{\wedge} &= \text{tg}(\omega_{p2} * T/2) = 0,3249 \\ \omega^2 &= \omega_{p1}^{\wedge} * \omega_{p2}^{\wedge} = 0,000052 \\ W &= \omega_{p2}^{\wedge} - \omega_{p1}^{\wedge} = 0,32474 \end{aligned} \quad (7)$$

Порядок фильтра был удвоен из-за применения преобразования «фильтр нижних частот в полосовой фильтр» [3]:

$$s = \frac{s^2 + \omega_0^2}{W * s} \quad (8)$$

Применив подстановку  $s = \frac{z-1}{z+1}$  [4] и соответствующие замены W и  $\omega_0^2$  было получено:

$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{W * (z-1) * (z+1)}{(z-1)^2 + W * (z-1) * (z+1) + \omega_0^2 * (z+1)^2} = \\ &= \frac{0,2451 - 0,2451 * z^{-2}}{1 - 1,50948 * z^{-1} + 0,5097 * z^{-2}} \quad (9) \end{aligned}$$

Схема полосового фильтра Баттерворта представлена на рисунке 3:

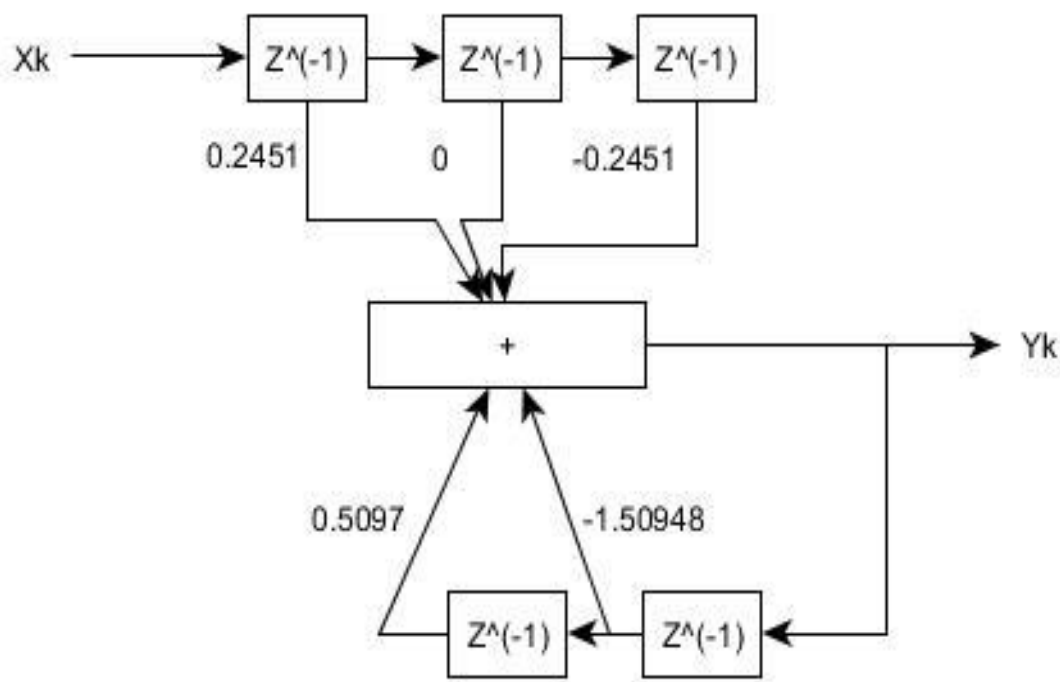


Рисунок 3 – Схема фильтра Баттерворта

Полученной передаточной функции 9 соответствует разностное уравнение:

$$y(n) = 0,2451 \cdot x_n - 0,2451 \cdot x_{n-2} + 1,50948 \cdot y_{n-1} - 0,5097 \cdot y_{n-2} \quad (10)$$

Для реализации фильтрации был описан массив значений дискретного входного сигнала (в данном случае с частотой  $F_{\text{дискр}} = 1000$  Гц). Так же был введён массив передаточных функций (с помощью полученных уравнений), которые были рассчитаны выше и длины импульсной характеристики. После этого и была начата обработка исходного сигнала: обнулился массив входных значений, получили новые значения для этого массива, затем поэтапно вычислены значения выходного сигнала, записаны предыдущие значения входного сигнала и выводим значение выходного сигнала. Такая процедура описывает работу обоих фильтров. Схема алгоритма изображена на рисунке 4:

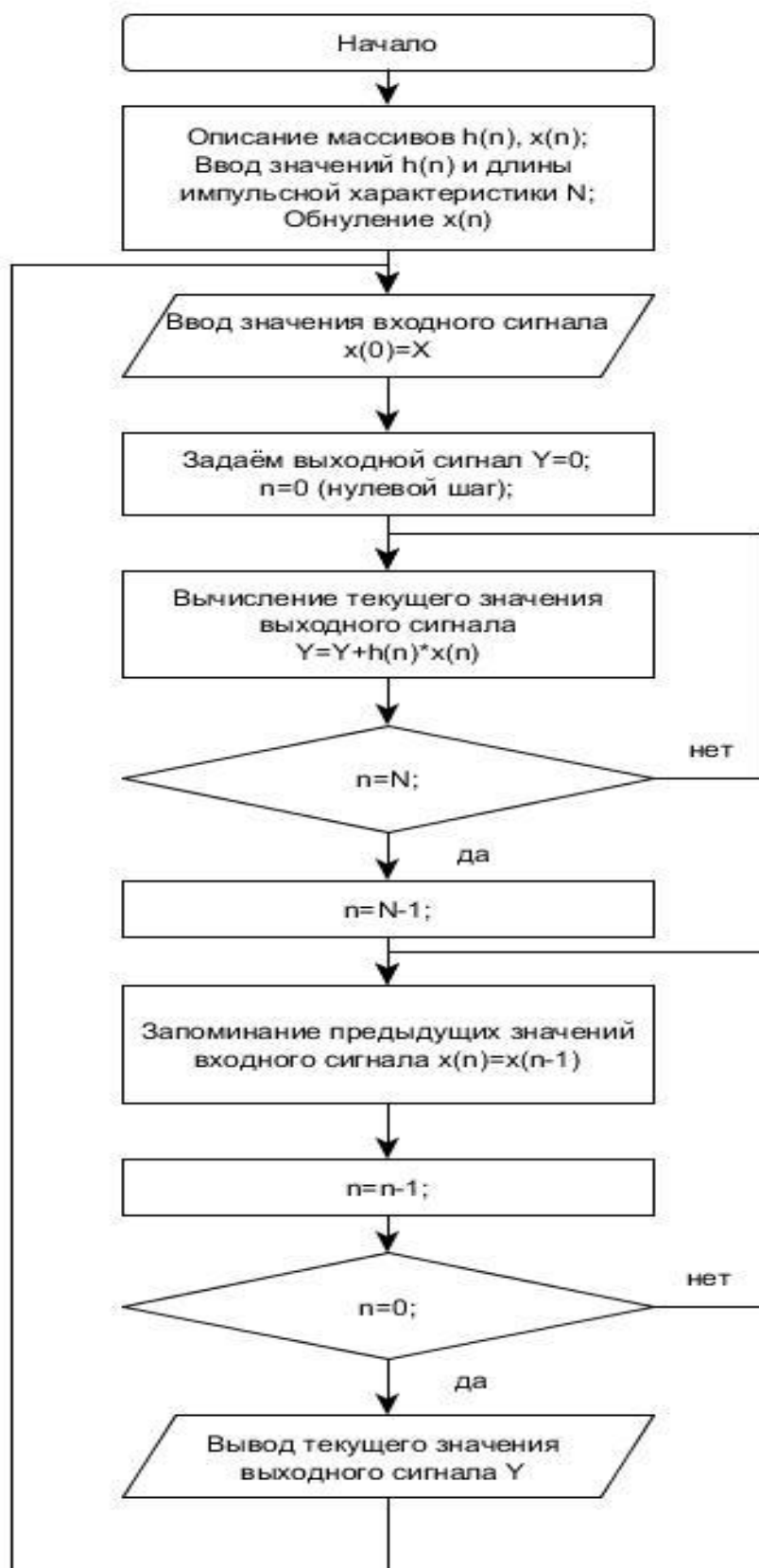


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма фильтрации

Для проверки полученных уравнений и алгоритмов проведено моделирование в системе Matlab, которая широко используется при

построении математических моделей, а также позволяет обрабатывать большие массивы чисел, что актуально при фильтрации сигналов [5]. Был задан исходный сигнал (гармонический сигнал с частотой 100Гц), который был подвергнут зашумлению высокочастотными помехами, а так же помехой с частотой 50 Гц. После чего, полученный результат был подвергнут обработке рассчитанными выше фильтрами, результат работы которых можно пронаблюдать на рисунках 5 и 6, где приведены соответственно: исходный зашумлённый сигнал и сигнал, обработанный цифровыми фильтрами.

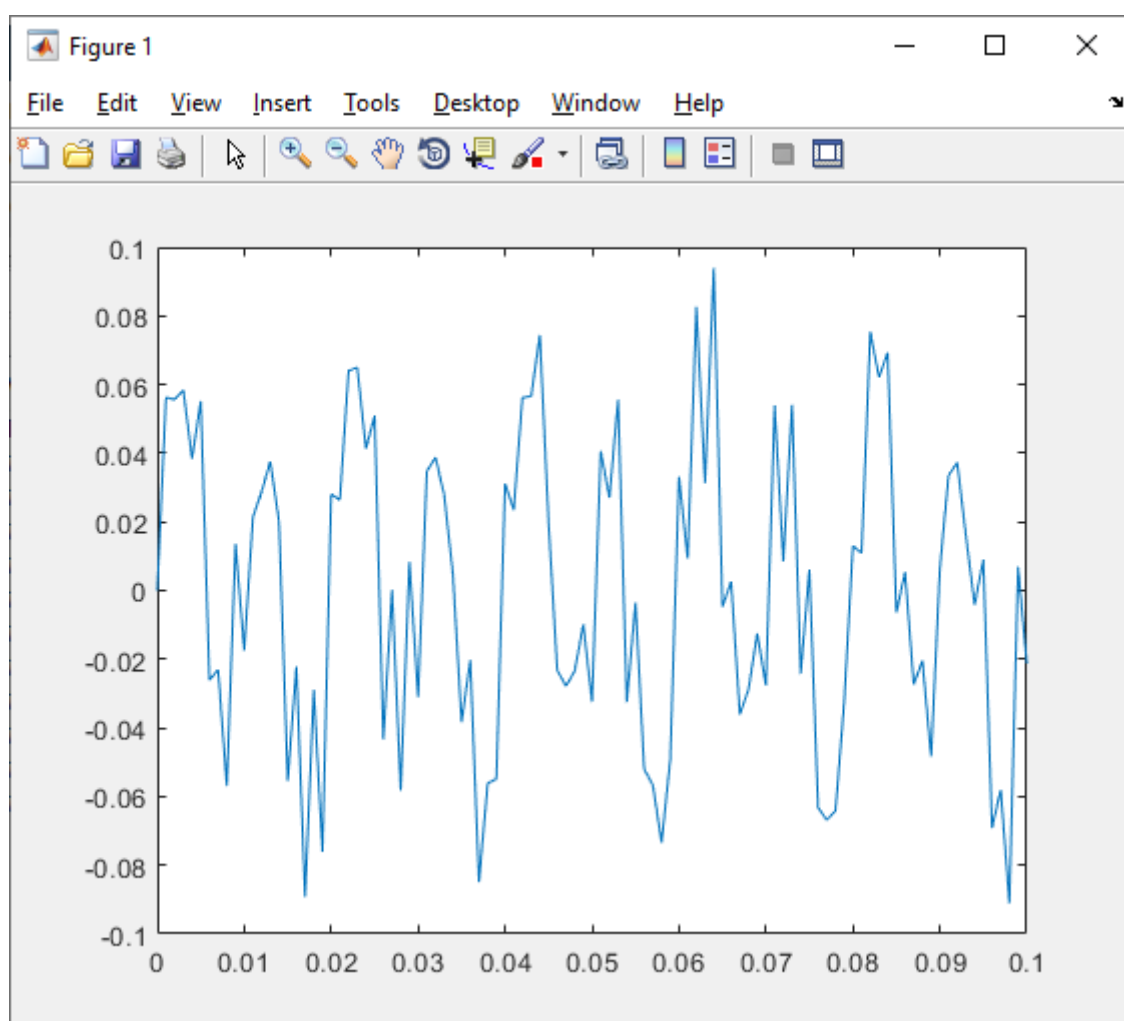


Рисунок 5 – Исходный сигнал (с шумом)

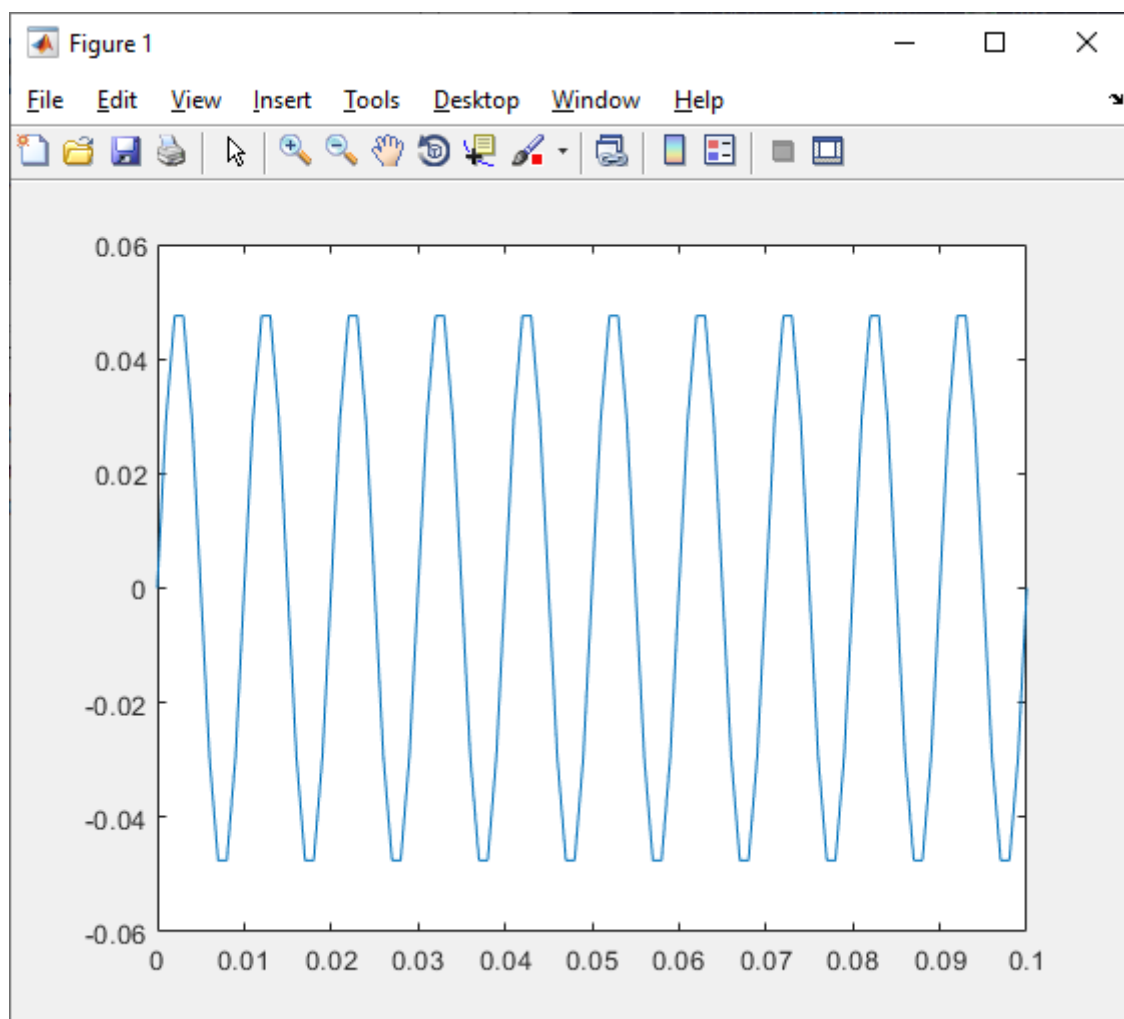


Рисунок 6 – Сигнал после применения фильтров

На рисунках видно, насколько сильно помехи влияют на передаваемый сигнал, и как изменяется сигнал после фильтрации. В итоге получили форму сигнала близкую к идеальной, то есть той, которая и была передана. Благодаря этому разработанные фильтры можно применить не только в газоанализаторах для устранения помех от сети питания и высокочастотных шумов, но и в других приборах, где нужно обрабатывать низкочастотные сигналы.

Планируется использовать разработанные программные средства после аппаратного тестирования и заводских испытаний в газоанализаторах, выпускаемых ФГУП «СПО «Аналитприбор».



### **Использованные источники:**

1. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Додэка XXI, 2008. — 720 с.
2. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение — 2-е изд, испр. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.
4. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е издание: М.: Вильямс, 2004 г., 989 с.
5. Курбатова Е. А. MATLAB 7. Самоучитель. — М.: «Диалектика», 2005. — 256 с.