

## АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В САУ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

**Пивник А.Н., студент; Яремко И.Н., доц., к.т.н.**

*(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк)*

Промышленные установки термостатирования (термостаты) широко используются в различных отраслях промышленности. Существуют различные методы классификации термостатов, которые делят по следующим основным признакам: по длительности эксплуатации, типу тепловой защиты, типу регулирующего воздействия, типу регуляторов и другим признакам.

В частности, термостатические камеры используются для проведения испытаний изделий электронной техники и материалов на воздействие пониженных и повышенных температур под электрической нагрузкой, для термостатирования в рабочем интервале температур с целью поверки и градуировки датчиков температуры, ртутных, спиртовых термометров, термометров сопротивления, термопар и иных объектов.

Разработанная система терморегулирования осуществляет текущую цифровую индикацию и цифровую установку заданной температуры. В таком случае лучший цифровой вариант реализации устройства управления.

Главными недостатками при использовании в качестве температурных датчиков термопар являются их низкая повторяемость и возникновение паразитных термо-ЭДС, что приводит к необходимости настройки разработанного [1]. Кроме того, так как величина сигнала на выходе термопары составляет всего лишь десятки милливольт, а длина подводящих проводников - единицы метров, то в условиях воздействия промышленных помех имеет место существенное снижение отношения сигнал/шум на входе АЦП.

Как показали испытания в реальных условиях, сигнал на входе АЦП микроконтроллера (рис. 1), записанный с помощью цифрового осциллографа, представляет собой смесь полезного сигнала и шума. Это приводит к «скачкам» в показаниях устройства, то есть к неправильному отображению текущей температуры нагревательной камеры, «дребезгу» исполнительных органов в области пороговых значений и соответственно к снижению ресурса, как электромеханических реле, так и термоэлектронагревателей.

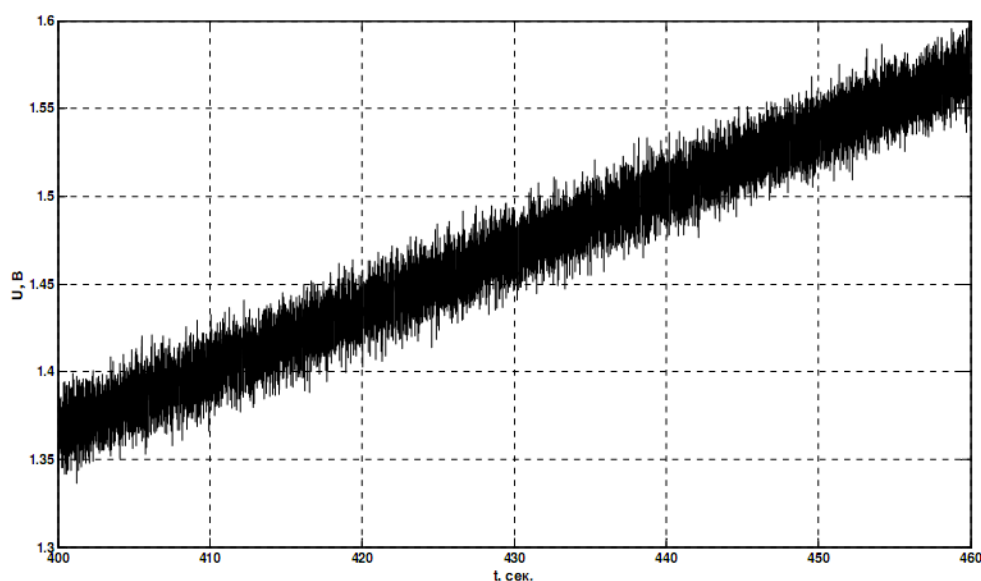


Рисунок 1 - Сигнал на входе одного из каналов АЦП микроконтроллера

Сигнал (рис. 1) соответствует диапазону температур нагревательной камеры от 100°C до 115°C.

Анализ полученного сигнала проведен в среде моделирования Matlab. Спектр указанного сигнала, построенный с использованием среды моделирования Matlab представлен на рис. 2.

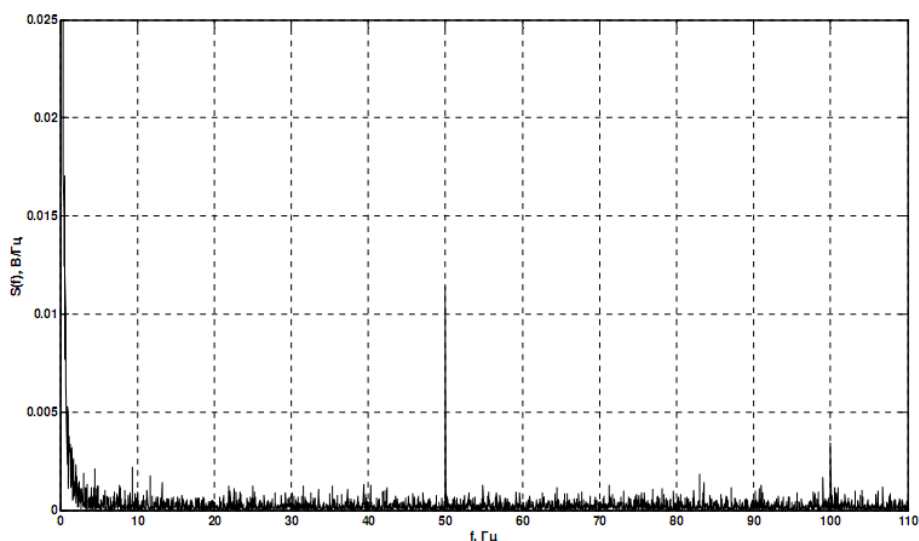


Рисунок 2 - Спектр сигнала на входе АЦП

Как видно из рис. 2, кроме полезной составляющей, несущей информацию об изменении температуры, спектр сигнала содержит также шумовую составляющую и составляющие на частотах 50 и 100 Гц, которые являются сетевыми помехами промышленных установок. Оптимальным путем устранения этих помех может быть использование цифрового усредняющего фильтра [2]. Этот фильтр представляет собой подвижное окно, которое сдвигается вдоль массива данных на один элемент с приходом каждого следующего отсчета сигнала (рис. 3).

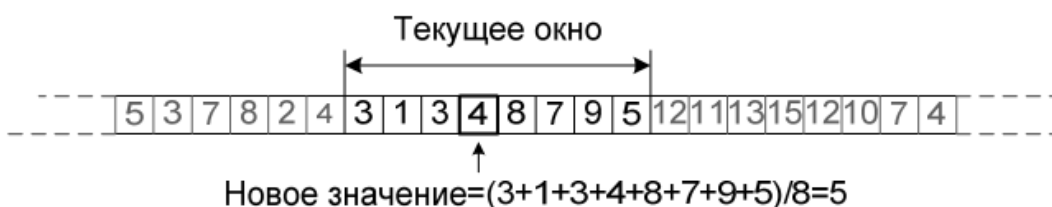


Рисунок 3 - Пример 8-элементного усредняющего оконного фильтра

Центральный элемент заменяется средним значением всех элементов этого окна. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) такого фильтра описывается выражением:

$$H(f) = \frac{1}{N} \left| \frac{\sin\left(\frac{N\pi f}{F_\delta}\right)}{\frac{\pi f}{F_\delta}} \right|,$$

где  $f$  - текущее значение частоты;  
 $N$  - порядок фильтра (количество элементов окна);  
 $F_\delta$  - частота дискретизации сигнала.

На рис. 4 представлена АЧХ 8-элементного ( $N=8$ ) усредняющего оконного фильтра. Как видно из рисунка, подбирая параметры  $F_0$  и  $N$  можно добиваться подавления гармоник на частотах  $\frac{nF_0}{N}$  ( $n=1,2,\dots, \frac{N}{2}$  - номер гармоники).

Достоинством оконного усредняющего фильтра является то, что для его реализации не требуются операции умножения. Для реализации оконного усредняющего фильтра с размером окна, равным  $N$ , на каждом такте требуется  $N - 1$  операция сложения и одна операция деления на  $N$ . Уменьшить количество операций, а следовательно, повысить быстродействие фильтра можно, если использовать следующую особенность: для сдвига окна на одну позицию достаточно вычесть из текущей суммы значение  $N$ -элемента и прибавить значение нового элемента окна с последующим делением, вновь образовавшейся суммы на  $N$ . Таким образом, вместо  $N - 1$  операций сложения на каждом такте можно использовать одну операцию вычитания и одну операцию сложения. Если  $N$  - четное, процедура деления может быть эффективно заменена операцией сдвига вправо.

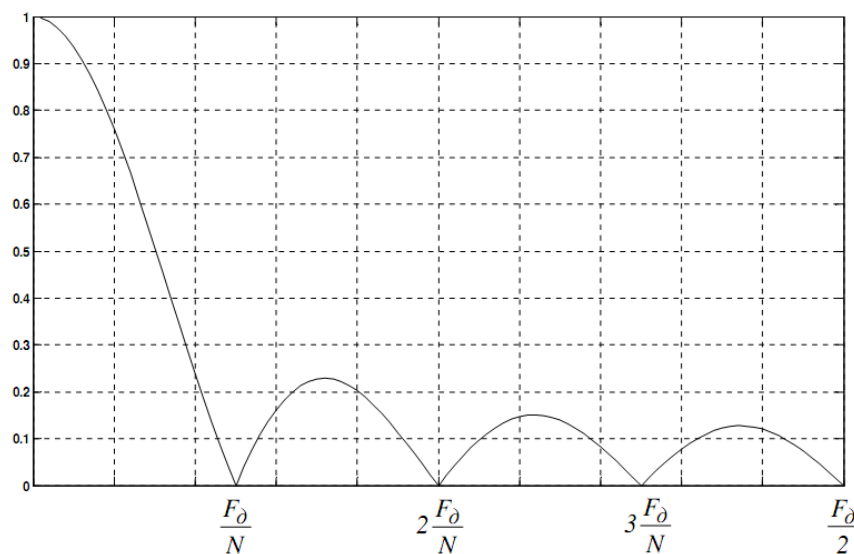


Рисунок 4 - АЧХ 8-элементного усредняющего оконного фильтра

Основываясь на приведенном выше, выберем  $F_0 = \frac{1}{T_0} = 200 \text{ Гц}$  и  $N=8$ . Период

дискретизации должен быть несколько скорректирован в сторону уменьшения -  $T_0=5$  мс. АЧХ фильтра для выбранных параметров и результат моделирования процесса фильтрации сигнала представлены на рис.5 и рис.6, соответственно.

Очевидно, что дисперсия шумов после фильтрации сигнала значительно меньше, чем у исходного сигнала (рис.1).

Применение цифрового фильтра требует корректировки программного обеспечения микроконтроллера.

Операция фильтрации может быть реализована согласно блок-схеме приведенной на рис. 7. Работа фильтра основана на циклическом буфере, который представляет собой набор шестнадцати ячеек ОЗУ (по две ячейки на один отсчет сигнала) содержащих текущие данные усредняющего окна. Для доступа к элементам окна используется регистр индексной адресации X. Применение цифрового фильтра требует корректировки программного обеспечения микроконтроллера - после блока готовности результата АЦП добавляется подпрограмма фильтрации сигнала температурного датчика.

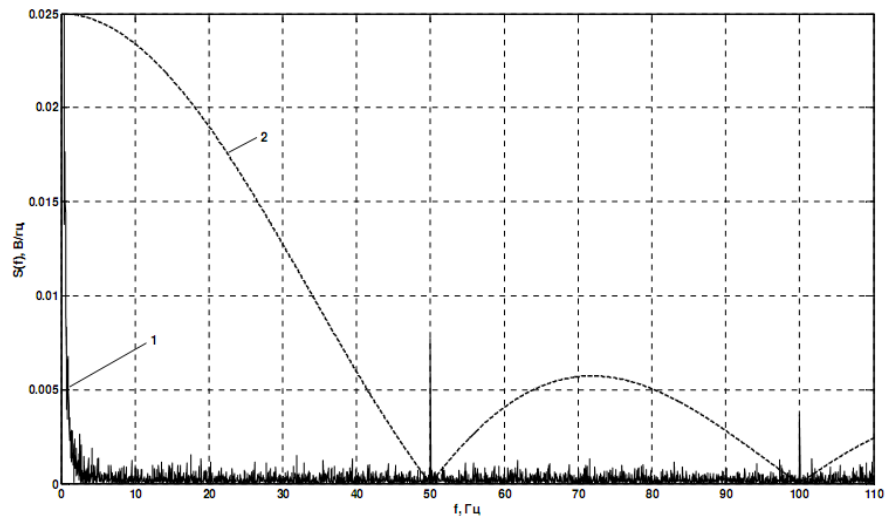


Рисунок 5 - Спектр сигнала (1) и АЧХ 8-элементного усредняющего оконного фильтра (2)

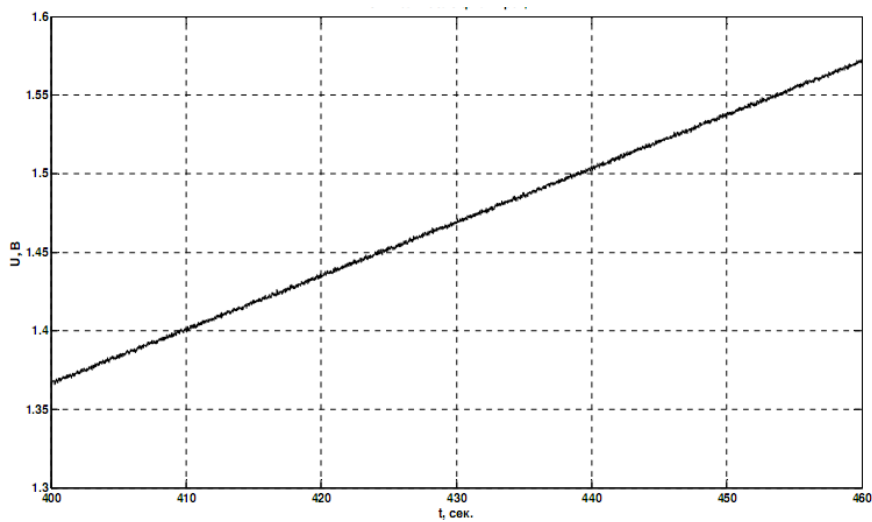


Рисунок 6 - Сигнал после фильтрации оконным фильтром

Поскольку технологический разброс при изготовлении термопар и АЦП может приводить к искажению коэффициента преобразования напряжения датчика в температуру, нужно определить его действительное значение  $K_{np\text{ действ.}}$ , с учетом действия цифрового фильтра. Напомним, что расчетный коэффициент преобразования равен  $K_{np} = 64^{\circ} C/B$ . Сигнал после фильтрации (рис. 6) как и сигнал до фильтрации (рис. 1) соответствует диапазону температур от  $100^{\circ}C$  до  $115^{\circ}C$ . Таким образом, реальное значение коэффициента преобразования :

$$K_{np\text{ действ.}} = \frac{115^{\circ}C - 100^{\circ}C}{1,57B - 1,37B} = 75^{\circ} C/B$$

Поскольку результат АЦП и соответственно результат фильтрации измеряется не в вольтах, а в уровнях квантования относительно опорного напряжения  $U_{on} = U_{num} = 5B$ , то в программе при умножении результата АЦП следует использовать значение коэффициента преобразования в этих единицах измерения:

$$K_{np} = \frac{K_{np\text{ действ.}} \cdot U_{on}}{2^{10}} = \frac{75^{\circ} C/B \cdot 5B}{2^{10}} = 0,3662^{\circ} C/ур.кв.:$$

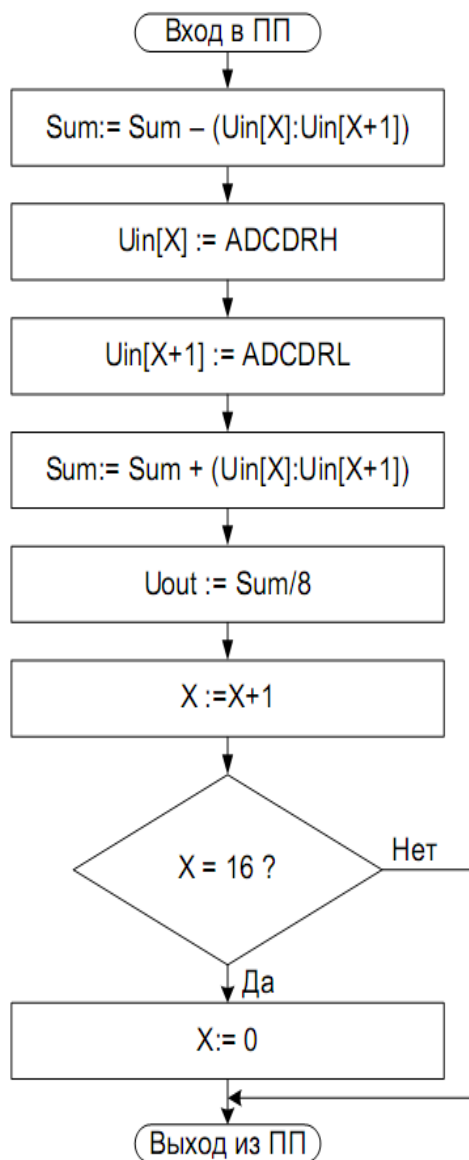


Рисунок 7 - Блок-схема подпрограммы фильтрации сигнала

После корректировки программы осуществляем проверку показаний разработанного устройства и их сравнение с показаниями контрольных приборов. Они не должны отличаться более, чем на  $\pm 1^\circ\text{C}$  – величину точности измерения температуры.

Таким образом, зашумление полезного сигнала приводит к нежелательным последствиям - неправильному отображению текущей температуры нагревательной камеры, «звону» исполнительных органов в области предельных значений и снижению ресурса, как электромеханических реле, так и термоэлектронагревателей. Для устранения этих препятствий используется цифровой усредняющий фильтр. А под него выполнена модификация управляющей программы.

#### Перечень ссылок

1. Датчики: Справочник // Под ред. Готра З.Ю., Чайковского О.И. Львов: Каменяр, 1995. – 312 с.
2. Барышев И.В., Мазуренко А.В., Горбуненко О.А. Прикладные вопросы цифровой обработки информации. Часть 1. Применение микроконтроллеров в РТС сбора, обработки и передачи информации. / И.В. Барышев, А.В. Мазуренко, О.А. Горбуненко, Харьков, ХАИ, 2006. – 112 с.