

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ФИЛЬТРОМ**

Янковский И.Г.

Научный руководитель: Тутов И.А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [igy@tpu.com](mailto:igy@tpu.com)

В данной статье рассматриваются способы решения задачи восстановления сигнала, получаемого с аналоговых датчиков, через аналогово-цифровой преобразователь, при помощи внедрения в систему цифрового фильтра помех.

Вид квантованного сигнала с датчика, после АЦП имеет резкий фронт нарастания и спада и ярко выраженный скачкообразный характер (см. рисунок 1).

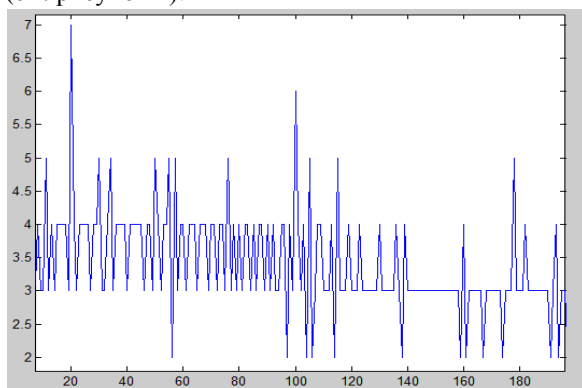


Рис. 1. Квантованный сигнал

При ПИД-регулировании такой сигнал оказывает негативное влияние на характер переходного процесса. Это влияние особенно ухудшает сигнал дифференциальной составляющей регулятора и вызывает столь же скачкообразное воздействие на объект управления, дополнительно уменьшая ресурс исполнительного механизма.

В качестве примера рассматривается установка для получения пластиковой нити. Температура пластика стабилизируется при помощи ПИД регулятора и должна поддерживаться с высокой точностью. Превышение температуры плавления на один градус (при температуре плавления 230°C) приводит к разложению пластика и делает его непригодным. Аналоговый сигнал с датчика температуры преобразовывается в цифровой. АЦП имеет недостаточную разрядность, вдобавок в цепь измерения наводятся промышленные помехи, в результате цифровой сигнал на входе регулятора имеет форму изображенную на рис 1, которые отрицательно влияют на качества регулирования.

Таким образом, сигнал управления, приходящий на исполнительный механизм, имеет скачкообразный нестабильный характер. Такой режим работы приводит к износу оборудования и к сокращению времени его эксплуатации.

Данную проблему зашумленного сигнала можно решить фильтрацией сигнала. Использование аналоговых фильтров несёт

конструктивные изменения, поэтому использование (программной) алгоритмической фильтрации для модернизации регулятора более целесообразно.

Наиболее популярными алгоритмами цифровой фильтрации являются алгоритмы скользящего среднего (Simple Moving Average)[1] и фильтр Калмана. С точки зрения снижения вычислительной нагрузки на процессор регулятора оправданно использование упрощённого алгоритма фильтрации Калмана[2].

Для решения задачи восстановления сигнала решено применить алгоритм фильтрации сигнала с датчика, реализуемый микроконтроллером Atmega 16.

**Алгоритм скользящего среднего (Simple Moving Average)**

Рассмотрим алгоритм скользящего среднего. Идея заключается в том, каждому элементу массива ставится в соответствие усреднённое значение суммы элементов в количестве (*размер массива-1*)/2 справа и слева от рассматриваемого элемента включая сам элемент. Более наглядна идея алгоритма отражена на рисунке 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Шаг	Размер окна	Формула подсчёта	Результат
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	1	1	(12)/1	12,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	2	3	(12+5+4)/3	7,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	3	5	(12+5+4+9+7)/5	7,4
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	4	5	(5+4+9+7+13)/5	7,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	5	5	(4+9+7+13+5)/5	7,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	6	5	(9+7+13+5+6)/5	8,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	7	5	(7+13+5+6+11)/5	8,4
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	8	5	(13+5+6+11+8)/5	8,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	9	3	(6+11+8)/3	8,3
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	10	1	(8)/1	8,0

Рис. 3. Идея алгоритма скользящего среднего на примере массива из десяти значений и размером окна усреднения 5.

Пример работы алгоритма скользящего среднего отражён на рисунке 4, где синяя кривая – зашумлённый сигнал, красный – действительный сигнал, зелёный – зашумлённый сигнал после аналогово-цифрового преобразования, розовый – восстановленный сигнал при помощи алгоритма скользящего среднего с размером окна усреднения 200.

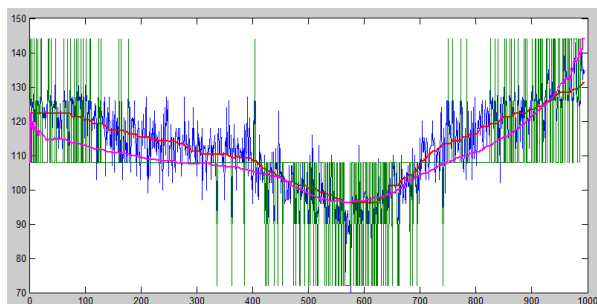


Рис. 4. Результат работы алгоритма скользящего среднего при размере окна усреднения 200

При увеличении размера окна усреднения качество восстановления сигнала повышается.

#### Алгоритм упрощенного фильтра Калмана

За основу взята идея упрощенного фильтра Калмана, расчётная формула приведена ниже

$$x_{k+1}^{opt} = (1 - K) \cdot x_k^{opt} + K \cdot z_{k+1} \quad (1)$$

где,

$x_k^{opt}$  – отфильтрованное значение датчика

на предыдущем шаге;

$z_{k+1}$  – текущее показание датчика;

$K$  – весовой коэффициент Калмана;

$x_{k+1}^{opt}$  – текущее значение параметра;

Предполагается, что на  $k$ -ом шаге имеется значение  $x_k^{opt}$ , которое наилучшим образом приближает истинное значение параметра, а так же показания датчика. В зависимости от точности датчика, ему придаётся вес  $K$ , тогда на показания с предыдущих итераций приходится вес  $(1-K)$ . Таким образом, чтобы найти наилучшее приближение к истинному значению параметра приходящего с датчика, необходимо подобрать коэффициент  $K$ . На рисунке 5 представлены сигналы: красный – сигнал без шума, синий с шумами, зелёный – сигнал с шумом после аналогово-цифрового преобразования, розовый – сигнал восстановленный по алгоритму упрощенного фильтра Калмана с весовым коэффициентом  $0,05$ .

Стоит отметить, что при уменьшении коэффициента Калмана, точность восстановления сигнала повышается, однако, вместе с этим увеличивается задержка реакции восстановленного сигнала по отношению к оригинальному. Поскольку, приоритет критерия точности восстановления формы выше, чем отставание восстановленного сигнала от оригинала, то для определения критерия использовались графики производных

восстановленных сигналов. Восстановленный сигнал, чей график производной имеет наименьшую амплитуду скачков, выбирается наиболее подходящим.

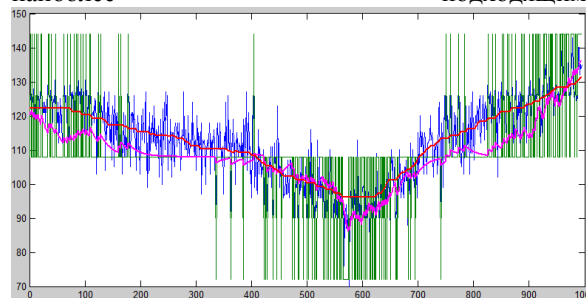


Рис. 5. Результат работы алгоритма упрощенного фильтра Калмана с весовым коэффициентом  $0,05$

#### Сравнение алгоритмов восстановления сигналов

На рисунке 6 представлен сравнительный график рассмотренных в данной статье алгоритмов восстановления сигналов с датчика. Красный – исходный аналоговый сигнал с датчика, розовый – сигнал, восстановленный с применением алгоритма упрощенного фильтра Калмана с коэффициентом  $K=0,05$ , чёрный – алгоритм скользящего среднего с окном усреднения 200.

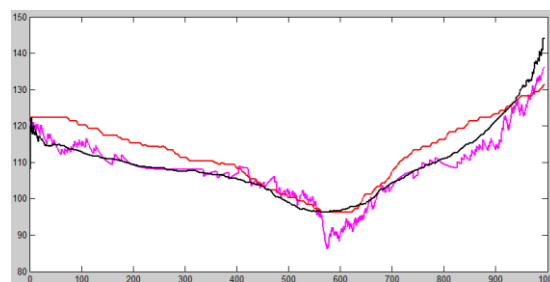


Рис. 6. Сравнительный график работы алгоритмов скользящего среднего и упрощенного фильтра Калмана, при восстановлении зашумленного сигнала, прошедшего аналогово-цифровое преобразование

Как видно из графиков рисунка 6, алгоритм скользящего среднего более точно восстанавливает исходный сигнал, в отличие от алгоритма упрощенного фильтра Калмана, следовательно он предпочтительнее для решения поставленной задачи восстановления. Анализ был проведён без учёта вычислительной нагрузки.

#### Список литературы

1. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. — М.: Радио и связь, 1997.- 112 с. — ISBN 5-256-01352-1.
- 2.Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси/ Пер. с нем. – М.:Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1982. -200 с.