

## НЕЛИНЕЙНЫЙ АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ В СИСТЕМАХ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Гринюк Д.А., Дайнеко Т.А., Олиферович Н. М., Сухорукова И.Г.,  
Силаков С.А., Понамарев Л.Ю.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск, Беларусь

В литературе очень часто указывается, что для обеспечения надежной работы исполнительного механизма лучше использовать для настройки ПИД-регулятора интегральный критерий интегрированной абсолютной ошибкой (*IAE*). Есть многолетний опыт подавления шумов с помощью установки перед устройством сравнения в регуляторе фильтра низкой частоты ФНЧ. Оптимальное использование такого решения затрудняется тем, что это увеличивает количество параметров настройки. Постоянная времени фильтра влияет на динамику канала регулирования, и фактически ее ухудшает. С точки зрения целей управления существуют какие-то оптимальные настройки ПИД-регулятора и фильтра, при которых можно наблюдать наилучший результат функционирования. Лучше производить совместный поиск параметров контура регулирования. Идет постоянная дискуссия как это производить по критериям, и по вариантам настройки [1]. Чем больше постоянная времени, тем меньше уровень шумов на входе исполнительного механизма, но хуже динамика.

Помимо установки фильтров есть еще один вариант снижения уровня шумом. В некоторых случаях может помочь установка управляемого ограничителя. В самом простейшем случае уровень ограничения можно формировать за счет некоторого фиксированного значения с использованием фильтра низкой частоты. Подобное решение было успешно использовано в схеме синхронного детектирования [2]. Достоинством ограничителя является то, что при правильной настройке он не увеличивает фазовый сдвиг сигнала и тем самым не влияет на динамику сигнала.

Управляемый ограничитель может быть установлен или после датчика, или перед исполнительным механизмом (рисунок 1).



SP – сигнал задания; x – выход с датчика; u – выход с регулятора на исполнительный механизм

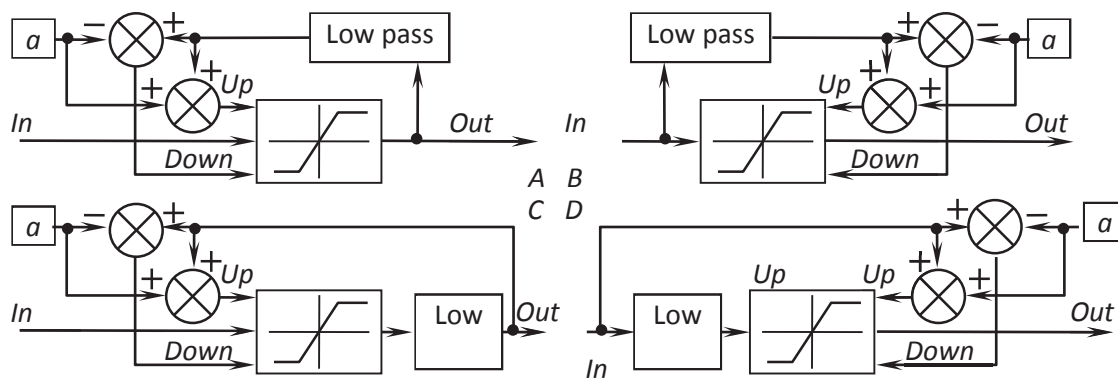
**Рисунок 1 - Общая структура регулирования обратной связью**

Выбор решения будет определяться динамикой объекта, уровнем шумов, и желаемым результатом.

Возможно несколько вариантов построения управляемых ограничителей (рис.2). Варианты *A* и *B* меньше всего способствуют ухудшению динамики прохождения информации. Варианты *C* и *D* могут способствовать кумулятивной эффективности управляемого ограничителя, одно применимо при сигналах с малой динамикой.

Применение варианта *A* при передаточной функции объекта и датчика соответственно

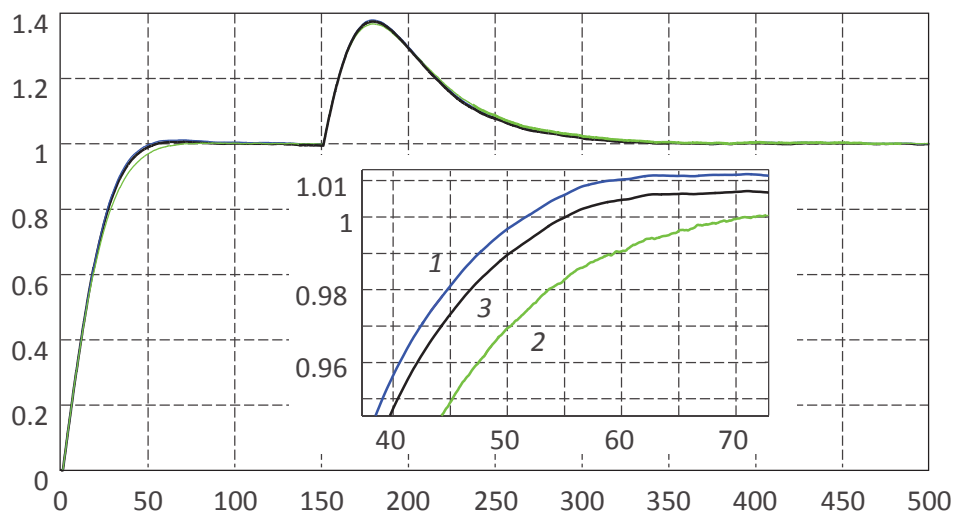
$$W = \frac{\exp(s)}{(13s+1)(37s+1)}; W_s = \frac{1}{8s+1}.$$



$a$  – запас по смещению;  $Up$  и  $Down$  – верхнее и нижнее ограничение; Low pass – ФНЧ

**Рисунок 2 - Варианты построения управляемых ограничителей**

Дисперсия шумов после измерительного преобразователя  $0,001$ . Настройки ПИД-регулятора были: коэффициент усиления  $1,9583$ ; время интегрирования  $26,08$ ; время дифференцирования  $19,29$ . Лучшие результаты ограничитель показывал при значении  $0,0003$  и постоянной времени фильтра первого порядка  $T=0.01$ . В итоге дисперсия после регулятора  $393 \cdot 10^{-3}$  снизилась до  $0,3342 \cdot 10^{-3}$ . Еще большее снижение произошло, когда величину  $a$  меняли в зависимости от скорости сигнала. Скорость определяли с помощью фильтра высокой частоты с постоянной времени  $0.0010$ . дисперсия снизилась до значения  $0.3060 \cdot 10^{-3}$ . Фильтр низкой частоты может быть заменен сглаживанием методом наименьших квадратов [3].



1 – без ограничителя; 2 – с ограничителем; 3 – с ограничителем и динамическим изменением  $a$

**Рисунок 3 - Результаты моделирования**

#### Список использованных источников

1. Micic A.D., Matausek M.R., Optimization of PID controller with higher-order noise filter, J. Process Control (2013) <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2013.10.009/>
2. Гринюк Д.А., Жарский С.Е., Оробей И.О., Струневская Т.Н. Оптимизация параметров фильтра с управляемым ограничителем для слабых сигналов // Наука и техника. 2003; (5). С.32-34.
3. Гринюк, Д. А. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей / Д.А. Гринюк, И.Г. Сухорукова, Н.М. Олиферович // Труды БГТУ. Сер. 3. - Минск: БГТУ, 2017. - № 2 (200). - С. 82-87.