

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В КАСКАДНЫХ СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Оробей И.О., Липский П. Л., Жук Р.С.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь

При синтезе современных высококачественных систем автоматического управления широко используются различные типы линейных устройств регулирования – от наиболее простых универсальных пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) алгоритмов до модального управления, аналитического конструирования регуляторов и д.р. До недавнего времени нелинейные свойства системы рассматривались как нежелательные элементы, которые усложняют ее поведение и анализ. При наличии нелинейных свойств в объектах управления, которые, не без труда, можно заменить на линеаризованные варианты, разработчикам систем управления приходится для каждого вида нелинейности разрабатывать особые подходы к синтезу. Тем не менее, исследования показали, что во многих случаях использование нелинейных законов управления может значительно улучшить параметры проектируемой системы [1–2]. Отдельно стоит упомянуть об удачных попытках использования при управлении технологическими процессами нечетких, нейронных и гибридных алгоритмов, которые, по сути, также являются нелинейными системами.

Публикации в области нелинейных систем с использованием ПИД-регуляторов можно разделить на ряд отдельных направлений.

Обширный класс публикаций посвящен проблемам построения адаптивных схем поиска настроек ПИД регуляторов для управления промышленными объектами. Сюда можно отнести и ранее упомянутые нечеткие, нейронные и гибридные алгоритмы, которые в последнее время получили развитие в различных направлениях теории управления.

Одним из старых направлений исследования нелинейных объектов является использование систем управления с переменной структурой. Имеется широкий круг публикаций, как общего характера, так и применимых для ПИД-закона управления. Очень широкое распространение получили нелинейные компенсаторы для замкнутых контуров управления.

Отдельно стоит ряд публикаций по использованию нелинейных функций для устранения недостатков, которые присущи непосредственно ПИД-закону регулирования [1]. Авторы пытаются за счет подпора нелинейных функций ошибки или управляющего воздействия решить проблему улучшения качества переходного процесса, устранить интегральное насыщение, повысить запас устойчивости и т.д.

Поведение нелинейных систем сложно прогнозируется, особенно если в контуре наблюдается несколько нелинейностей. В [2] была показана эффективность использования функции

$$\mu = \text{sign}(e) \ln((1 + \alpha|e|) - (1 + \alpha)) \quad (1)$$

Она нашла удачное применение и для ПИД-регуляторов с двумя степенями свободы 2DoF [3–4].

Однако ПИД регуляторы используются и в более сложных системах регулирования. К таким можно отнести каскадные системы регулирования (в автоматизированном электроприводе их называют подчиненные). В самой простейшей каскадной си-

стеме регулирования используют два регулятора. Внешний регулятор предназначен для обеспечения качества и устойчивости системы регулирования, внутренний для обеспечения быстродействия. В качестве внешнего регулятора обычно используют ПИ- или ПИД-регуляторы, внутренний обычно П- иногда ПД- регулятор [5].

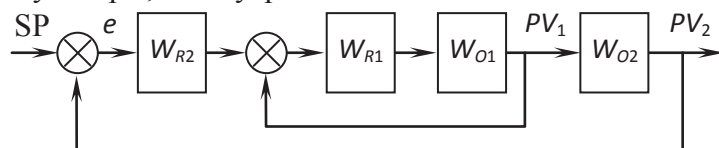


Рисунок 1 – Структура каскадной системы автоматического регулирования (САР).

SP – сигнал задания; e – сигнал ошибки; PV_1 – вспомогательный сигнал PV_1 – выходная переменная; W_{R1} , W_{R2} – передаточные функции внутреннего (вспомогательного) и внешнего (основного) регулятора соответственно; W_{O1} , W_{O2} – передаточные функции внутреннего и внешнего объекта соответственно

Задача стояла в том, что бы проанализировать насколько целесообразно использование нелинейных регуляторов для каскадных систем регулирования.

Наибольшее влияние на настройки регуляторов оказывает наличие транспортно-го запаздывания в свойствах объекта управления. По этой причине исследование проводились для объектов с разной величиной запаздывания во внутреннем контуре.

В качестве критерия сравнения был выбран интегральный критерий

$$\int_0^{\infty} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (2)$$

хорошо зарекомендовавший себя в ряде предыдущих работ [1, 3, 5].

Результаты моделирования показали, что нелинейный ПИД-регулятор следует применять осторожно. Улучшение качества переходного процесса при отработке сигнала задания наблюдается только при использовании нелинейного ПИД-регулятора для внешнего регулятора. Использование статических нелинейных функций для внутреннего регулятора приводили к ухудшению качества регулирования.

Литература

1. Сухорукова, И. Г. Применение в ПИД-законе регулирования нелинейных функций преобразования ошибки / И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. - Минск : БГТУ, 2013. - № 6 (162). - С. 95-98.
2. Hryniuk D., Suhorukova I., Orobei I. Non-linear PID controller and methods of its setting // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2017, pp. 1-4.
3. Hryniuk D. Complex tuning of the PID controller according to integral criteria. / D. Hryniuk, [et al.] 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2018, pp. 1-4.
4. Анализ эффективности ПИД-регуляторов с двумя степенями свободы с помощью интегральных критериев / Д. А. Гринюк [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2018. - № 2 (212). - С. 82-88.
5. Гринюк Д.А. Оптимизация каскадной системы регулирования для распределенных объектов на основе интегральных критериев. / Д.А. Гринюк И.О. Оробей, И.Г. Сухорукова // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. - 2007. - Вып. XV. — С.97-100.