

Особенности численной оптимизации в программе *VisSim* ПИД-регулятора с высшими производными

Д.С. Саленко, Н.А. Малышкин
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье методом численной оптимизации при моделировании исследуется возможность повышения качества системы за счет введения в тракт регулятора высших производных. Показано, что в ряде случаев для работоспособности процедуры оптимизации необходим фильтр низких частот, по меньшей мере, в тракте для вычисления третьей производной (и производных более высокого порядка). Приведен пример объекта, в котором склонность к колебаниям столь сильна, что даже регулятор с четвертой производной недостаточно эффективен, чтобы существенно повысить качество системы в сравнении с полученной устойчивой системой при использовании традиционного ПИД-регулятора.

Ключевые слова: управление, регулятор, численная оптимизация, регулятор со старшими производными, ПИД², ПИД³, ПИД⁴

ВВЕДЕНИЕ

Методы численной оптимизации регуляторов для замкнутых систем в последнее время широко и плодотворно используются на основе разработанных наборов целевых функций и методик с использованием программы *VisSim* [1–9]. Эти методы позволяют рассчитать коэффициенты регулятора при известной модели объекта.

Однако даже в классе простых моделей объектов, описываемых рациональной передаточной функцией в области преобразований Лапласа, при неблагоприятном сочетании коэффициентов полиномов в числителе и знаменателе отыскание достаточно эффективного регулятора даже при использовании указанных методов и методик остается трудной задачей.

В этом случае целесообразным может оказаться использование второй, третьей и так далее производных от ошибки в регуляторе. В данной статье исследуется возможность численной оптимизации регуляторов для регуляторов с высшими производными, анализируются некоторые выявленные особенности и даются рекомендации для дальнейших исследований.

1. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТОИМОСТНАЯ ФУНКЦИЯ

В работе [10] предложено создавать так называемый «банк моделей объектов», который включал бы наиболее сложные примеры моделей объекта. Это создает набор сложных задач, которые до сих пор не решены или решены недостаточно эффективно. Использование для исследований модели из указанного банка позволяет надежно сопоставить различные методы расчета регуляторов и их результаты.

На этом основании используем модель объекта в виде следующей передаточной функции:

$$W_o(s) = \frac{s^3 + 4s^2 - s + 1}{s^5 + 2s^4 + 32s^3 + 14s^2 - 4s + 50}. \quad (1)$$

В качестве стоимостной функции для оптимизации используем следующий интеграл:

$$\Psi(\Theta) = \int_0^{\infty} [t \cdot |e(t)| + 10 \text{pos}\{e(t) \cdot de(t) / dt\}] dt \quad (2)$$

Здесь функция $\text{pos}\{F\}$ означает положительную часть функции F , то есть

$$\text{pos}(F) = \max\{F, 0\} = \begin{cases} F, & \text{if } F \geq 0, \\ 0, & \text{if } F < 0. \end{cases} \quad (3)$$

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

На *Рис. 1* показана структурная схема для моделирования и оптимизации ПИД-регулятора в соответствии с соотношениями (1) – (3). Там же на графике показан полученный переходный процесс при ступенчатом входном воздействии. Видно, что переходный процесс далек от удовлетворительного, хотя система остается устойчивой. Три признака неудовлетворительного переходного процесса: обратный ход процесса вплоть до стартового значения и дальше, обратное перерегулирование на 50% и прямое перерегулирование на 60%.

Для устранения указанных недостатков могут быть применены различные методы, как известные, так и новые. В частности, может быть использован дополнительный внешний контур. Можно показать, что внешний контур эффективен

только для улучшения переходного процесса при ступенчатом скачке задания, приложенного непосредственно к входу регулятора, но вовсе не эффективен при ступенчатом скачке помехи, приложенной к выходу объекта. Основное назначение систем автоматического управления состоит в подавлении именно помех. Этот способ с позиции подавления помехи не эффективен. Если же требуется улучшение переходного процесса именно при ступенчатом изменении задания, то решение этой задачи достигается простым введением фильтра на входе системы. В частности, можно ввести фильтр третьего порядка со следующей передаточной функцией:

$$W_F(s) = \frac{1}{(s+1)(s+1)(2s+1)} \quad (4)$$

Соответствующая структура для моделирования показана на *Рис. 2*. Красной линией на графике показан результат фильтрации фильтром (4) ступенчатого скачка. Синей линией показан переходный процесс в системе, то есть выходной сигнал этой системы. В этом переходном процессе обратный ход процесса не превышает 10%, перерегулирование не превышает 2%, обратное перерегулирование отсутствует, поэтому данный переходный процесс можно признать удовлетворительным, если не считать того факта, что этот процесс является лишь откликом на входной скачок, а отклик на скачок помехи остается таким же, как процесс на *Рис. 1*.

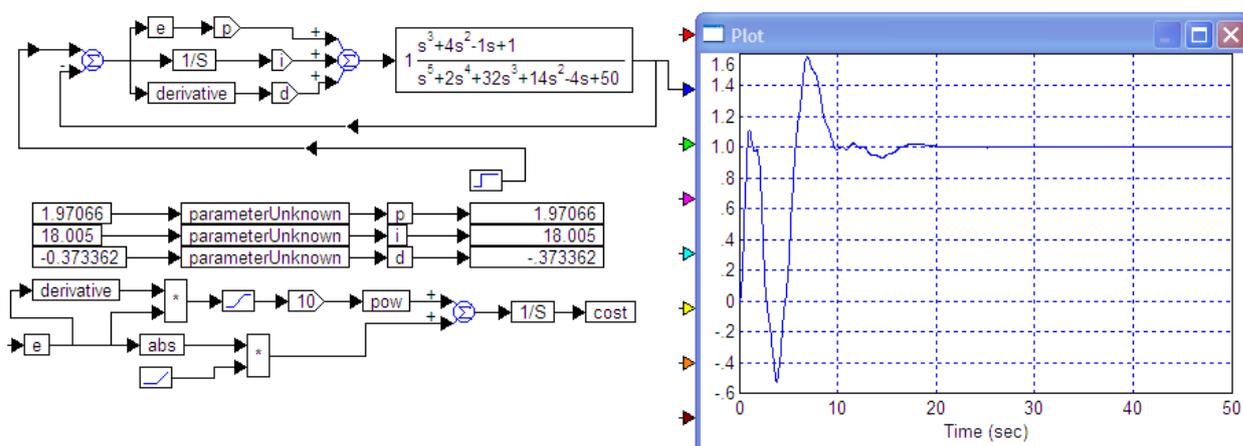


Рис. 1. Структурная схема для моделирования и оптимизации ПИД-регулятора в соответствии с соотношениями (1) – (3) и результат моделирования (коэффициенты и переходный процесс)

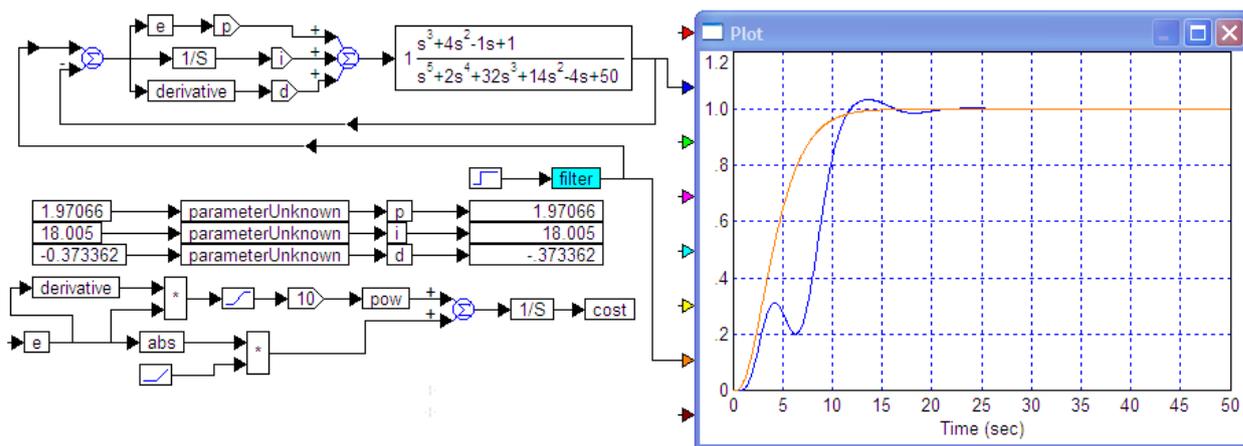


Рис. 2. Структурная схема для моделирования с использованием фильтра (4) и результат моделирования (переходный процесс)

Можно исследовать влияние весового коэффициента k в стоимостной функции (2). В соотношении (2) этот коэффициент принят равным 10. На *Рис. 3* показаны результаты увеличения этого коэффициента до значений 50 и 200. Видно, что с увеличением этого весового коэффициента обратное перерегулирование

уменьшается, соответственно, от значения 50 % при $k = 10$ до 25% при $k = 50$ и даже практически до нуля при $k = 200$. Однако при этих же условиях прямое перерегулирование возрастает от 60 % до 70 % и 75 %, соответственно, и при этом возрастают колебания в системе. В последнем случае количество колебаний явно превышает

пять, и переходный процесс не затухает даже по прошествии 50 секунд, тогда как при $k=10$ переходный процесс заканчивался по прошествии 20 секунд. Из этого можно заключить, что возможности ПИД-регулятора практически

исчерпаны результатами, показанными на *Рис. 1*, и улучшение одного из показателей переходного процесса непременно ухудшает другие его показатели.

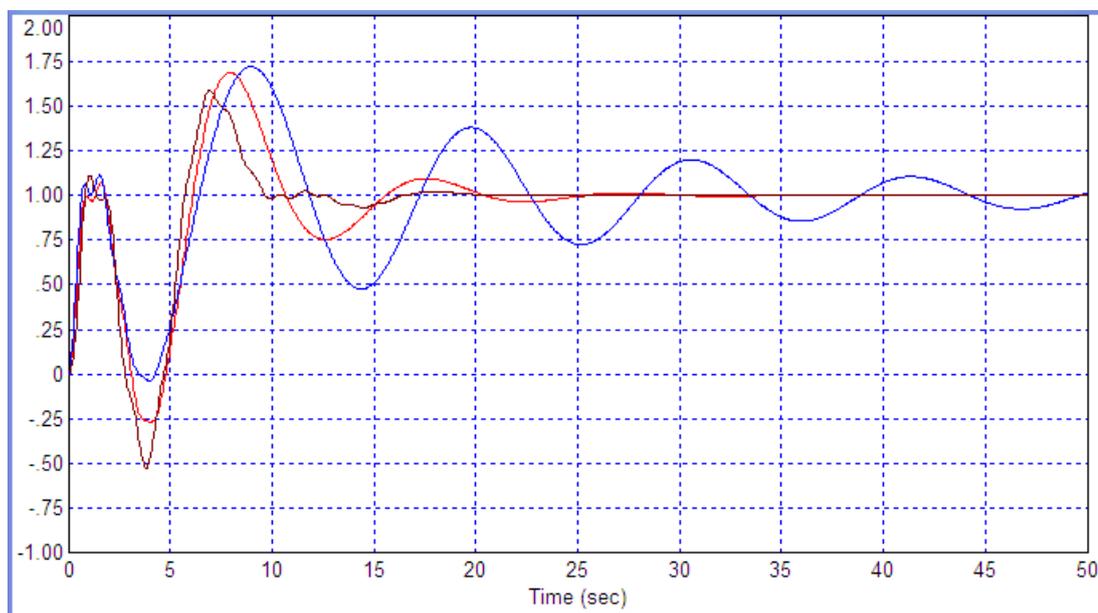


Рис. 3. Переходные процессы в системе по *Рис. 1* при изменении весового коэффициента в (2): черная линия $k=10$, красная линия $k=50$, синяя линия $k=100$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА С ВЫСШИМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

На *Рис. 4* показан переходный процесс в системе с ПИДД-регулятором, то есть регулятором, содержащим наряду с традиционными трактами также тракт с двойной производной.

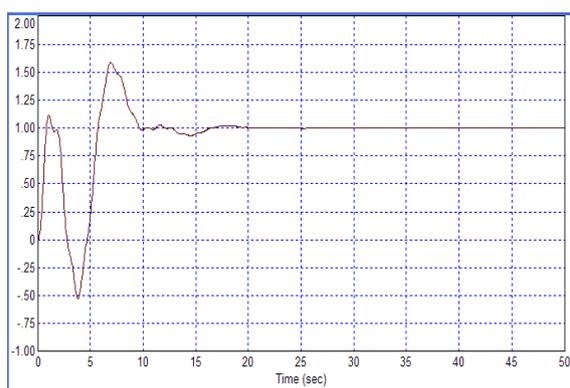


Рис. 4. Переходный процесс при использовании второй производной в регуляторе в системе по *Рис. 1*.

Этот регулятор в литературе иногда также называется ПИД²-регулятор, где степень 2 указывает на то, что используется не только первая производная, но и вторая. При этом коэффициенты регулятора оптимизированы в структуре, аналогичной структуре, показанной на *Рис. 1*. Этот процесс не имеет явных преимуществ

в сравнении с процессом, полученным в структуре на *Рис. 1*.

На этом основании следует осуществить попытку введения производных более высокого порядка, чем вторая. Нами было предпринято попытки оптимизации регулятора, содержащего вторую и третью производную, то есть ПИД³-регулятора. Соответствующая структурная схема показана на *Рис. 5*. Автоматическая оптимизация коэффициента при старшей производной в этом случае не получается вследствие возникающей ошибки моделирования, а именно: выходной сигнал или искомый коэффициент достигает недопустимо большой величины вследствие неустойчивости одного из промежуточных переходных процессов в процедуре оптимизации. Не помогает устранить проблему даже введение ограничения на значение произведения коэффициентов, которое делается путем перемножения всех используемых коэффициентов, взятия модуля этого произведения, пропускание результатов через нелинейность типа «зона нечувствительности» с шириной, равной 1000. Это ограничение работает таким образом, что если произведение всех коэффициентов менее 1000, то на выходе вычислителя этой функции получается ноль, и этот результат никак не влияет на стоимостную функцию. Если же это произведение по величине больше 1000, то величина превышения этого произведения над указанным порогом добавляется к стоимостной функции, и в результате поисковая процедура не пойдет по

пути, который связан с увеличением коэффициентов за указанные пределы.

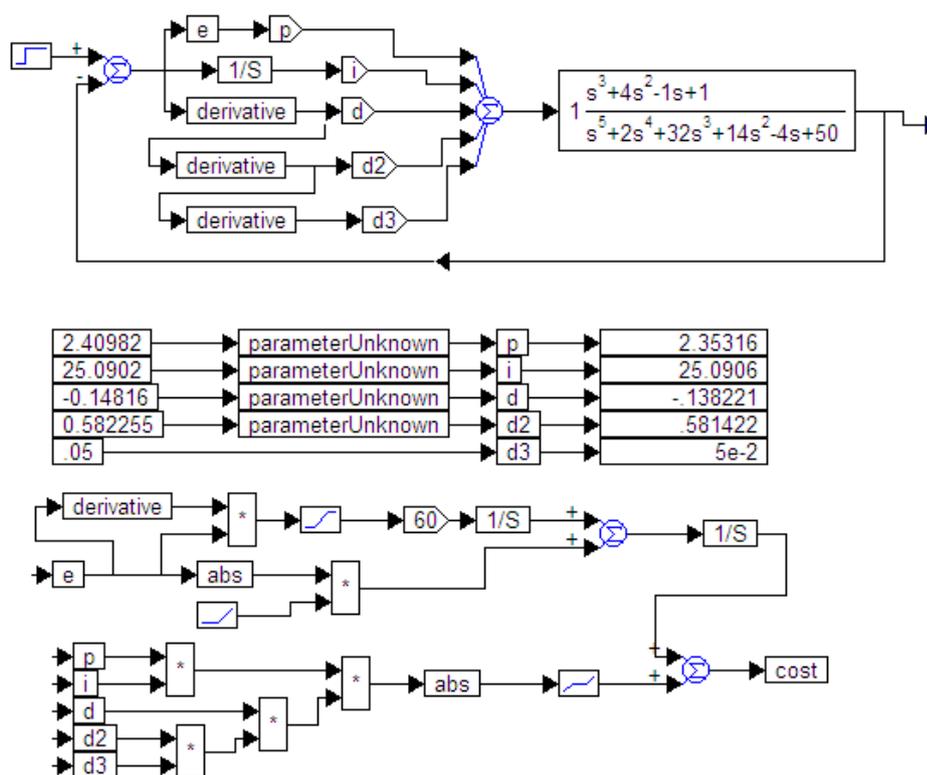


Рис. 5. Структурная схема и результат оптимизации при фиксировании старшей производной

Поскольку даже указанное ограничение не позволило автоматически отыскивать полный набор коэффициентов, включая коэффициент тракта с третьей производной, нами был использован способ оптимизации при фиксации одного из коэффициентов, а именно коэффициента при третьей производной.

Эмпирическим путем было найдено для этого коэффициента оптимальное значение, равное 0,05. При фиксации этого коэффициента остальные коэффициенты регулятора найдены в итоге процедуры оптимизации. Полученный переходный процесс показан на Рис. 6.

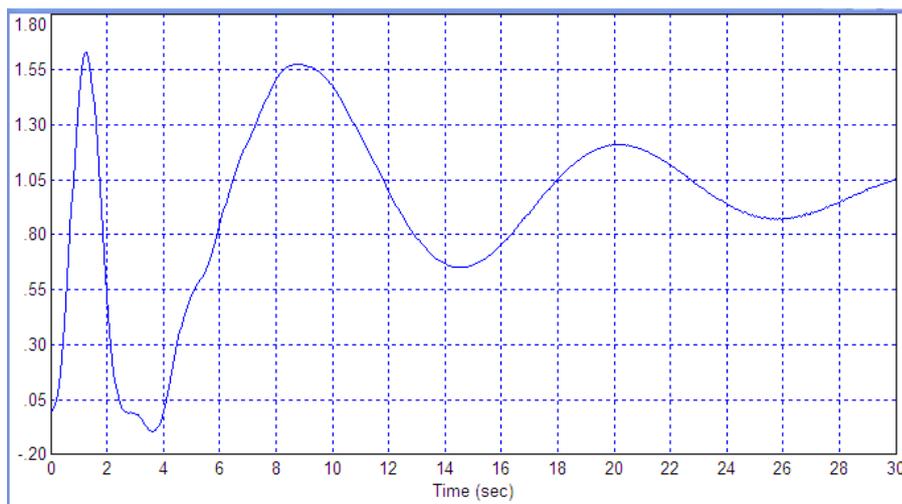


Рис. 6. Получаемый переходный процесс в системе по Рис. 5

Этот процесс в сравнении с процессами на Рис. 1 и Рис. 4 обладает единственным преимуществом: обратное перерегулирование практически отсутствует. При этом сохранился

обратный ход переходного процесса практически на 100% скачка управляемой величина, также прямое перерегулирование осталось почти на том же уровне около 60 %, при этом эта величина

достигается дважды, а не единожды, как в процессах на *Рис. 1* и *Рис. 4*.

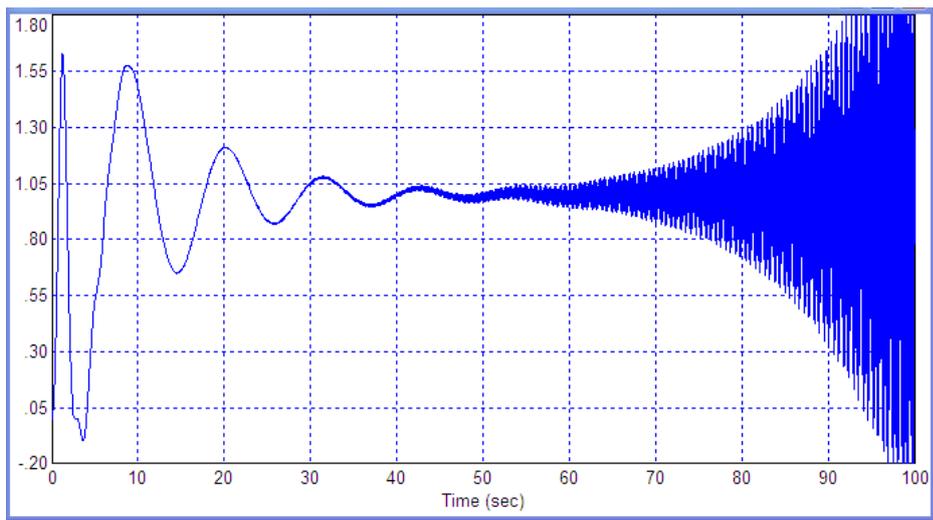


Рис. 7. Тот же процесс, что и на *Рис. 6*, но при большем времени моделирования: видно, что система неустойчива

Указанный недостаток данного процесса, к сожалению, не единственен. Если этот процесс продолжить далее, как показано на *Рис. 7*, выясняется, что этот процесс неустойчивый. В нем постепенно зарождаются и неограниченно увеличиваются высокочастотные колебания. Поэтому данный результат нельзя признать удовлетворительным.

4. ВВЕДЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ В ПИД-РЕГУЛЯТОР С ВЫСШИМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Для устранения рассмотренной выше проблемы целесообразно ввести фильтр канал третьей производной. На *Рис. 8* показана структурная схема модели с соответствующей модификацией, где передаточная функция фильтра имеет следующий вид:

$$W_{F1}(s) = \frac{1}{(s+1)}. \quad (5)$$

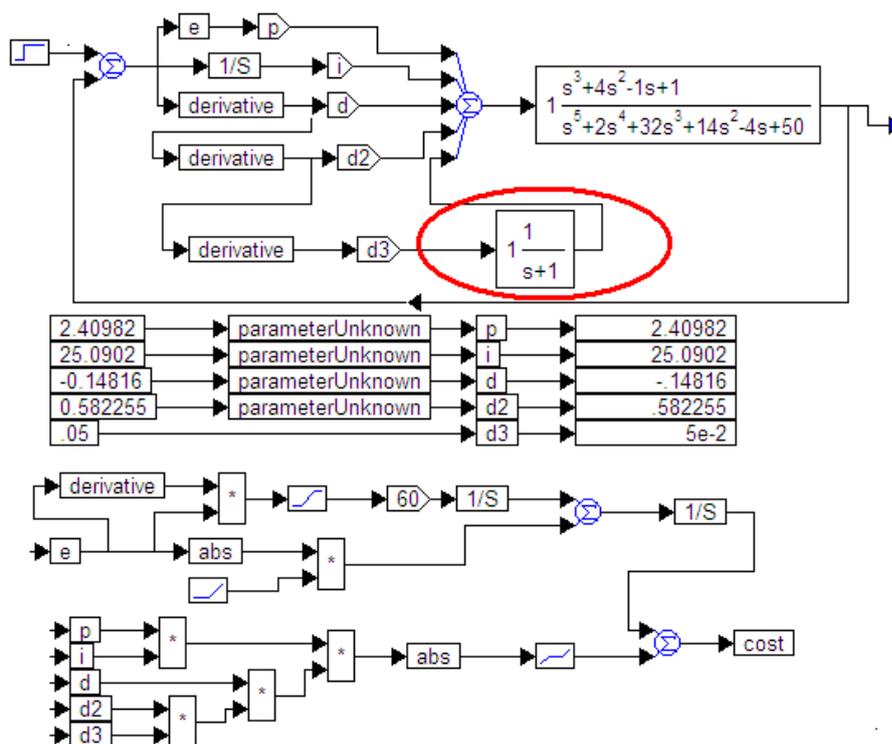


Рис. 8. Структурная схема после введения фильтра в старшую производную, что делает систему устойчивой

Полученная система устойчива, о чем свидетельствует переходный процесс в ней, показанный на *Рис. 9*. Указанная модификация позволила осуществить оптимизацию всех

коэффициентов регулятора, включая коэффициент в тракте третьей производной. Результат оптимизации показан на *Рис. 10*, где даны полученные коэффициенты регулятора.

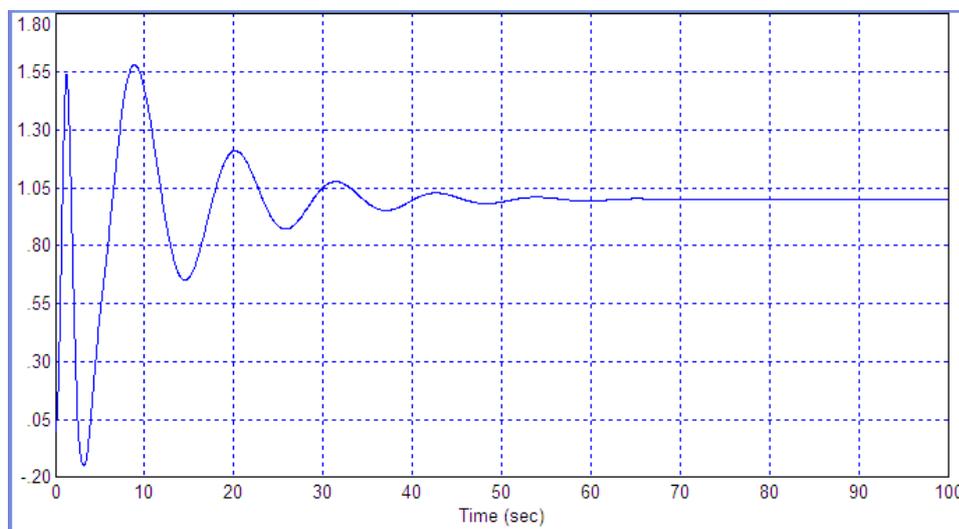


Рис. 9. Переходный процесс в системе по *Рис. 8* – система устойчива

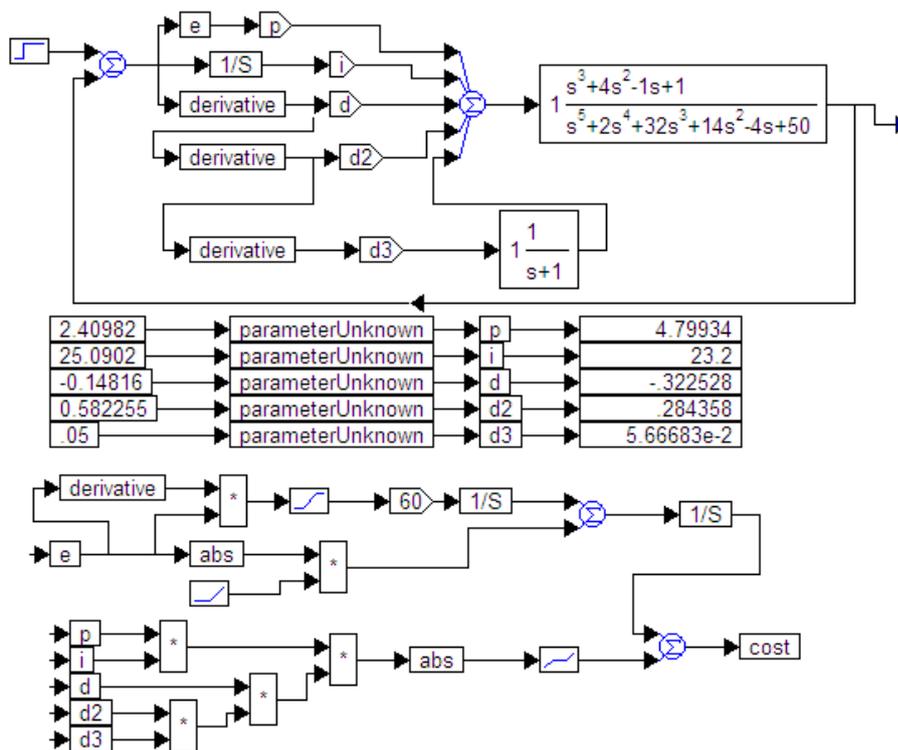


Рис. 10. Структурная схема после введения фильтра в старшую производную ПИД³-регулятора и результат оптимизации всех коэффициентов регулятора

Анализ результата, показанного на *Рис. 11*, позволяет утверждать, что в полученной системе обратное перерегулирование резко снизилось, а именно, оно стало менее 10%. Два других недостатка не устранены, то есть обратный ход переходного процесса все же имеет место и составляет полный диапазон (100%), прямое перерегулирование составляет 60%. Кроме того, в системе имеется несколько ярко выраженных

колебаний и длительность переходного процесса составляет около 50 секунд или чуть более, тогда как процессы, показанные на *Рис. 1* и *Рис. 4*, заканчиваются примерно через 20 секунд после их начала.

Для дальнейшего развития этих идей осуществлена попытка введения четвертой производной, то есть оптимизация ПИД⁴-регулятора. Соответствующая структурная схема

показана на *Рис. 12*. Результаты оптимизации в виде рассчитанных коэффициентов этого регулятора даны в правой средней части *Рис. 12*. Получаемый переходный процесс показан на *Рис. 13*. Анализ этого процесса показывает, что

ведение четвертой производной в регулятор также не обеспечило существенного улучшения процесса. Действительно, процесс на *Рис. 13* идентичен процессу на *Рис. 11*.

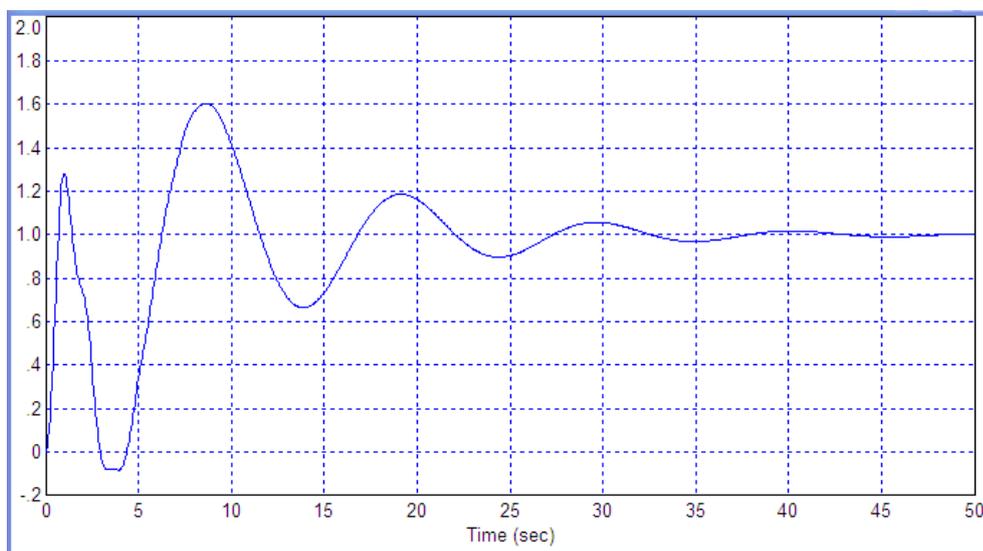


Рис. 11. Переходный процесс в системе по *Рис. 10* – система устойчива

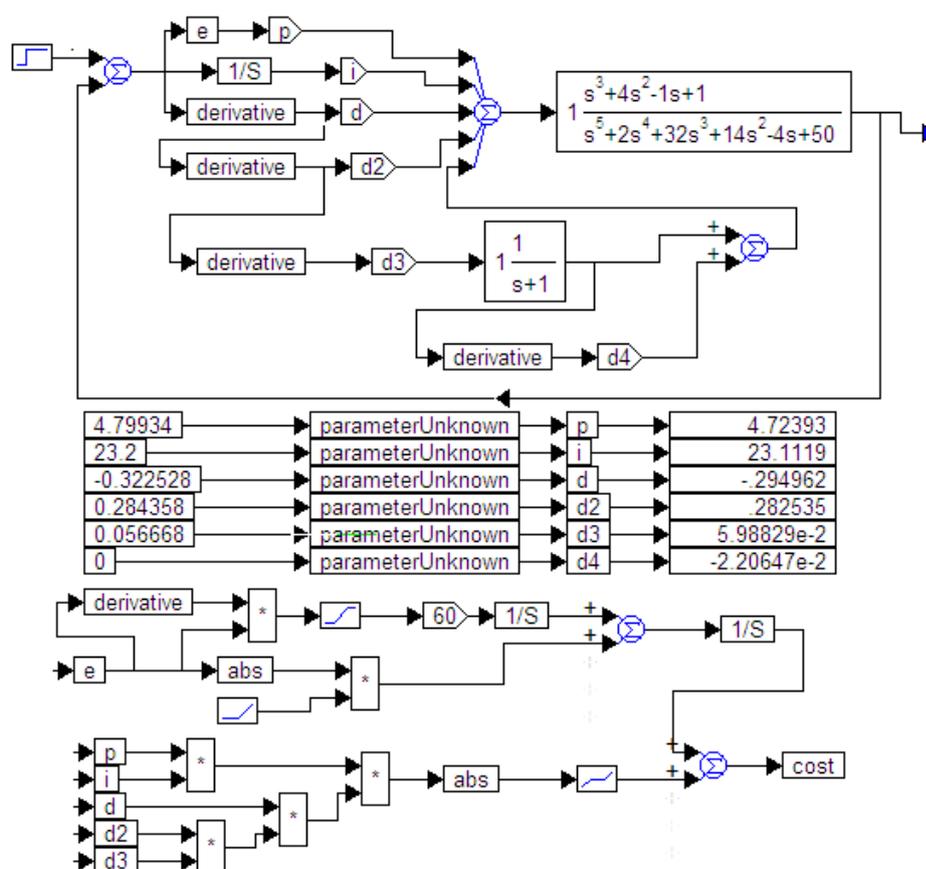


Рис. 12. Структурная схема для расчета ПИД⁴-регулятора и результат оптимизации всех его коэффициентов

Для наглядности на *Рис. 14* показан вид старшей (четвертой) производной в регуляторе. Величина этого сигнала не превышает уровня 0,07, весь сигнал затухает после девятой секунды.

Наиболее неудовлетворительный участок переходного процесса всей системы развивается на интервале от второй до четвертой секунды от начала процесса. В сигнале старшей производной

нет никаких особенностей на этом интервале, поэтому неудивительно, что этот сигнал не

оказывает никакого действия для подавления этого неудовлетворительного обратного всплеска.

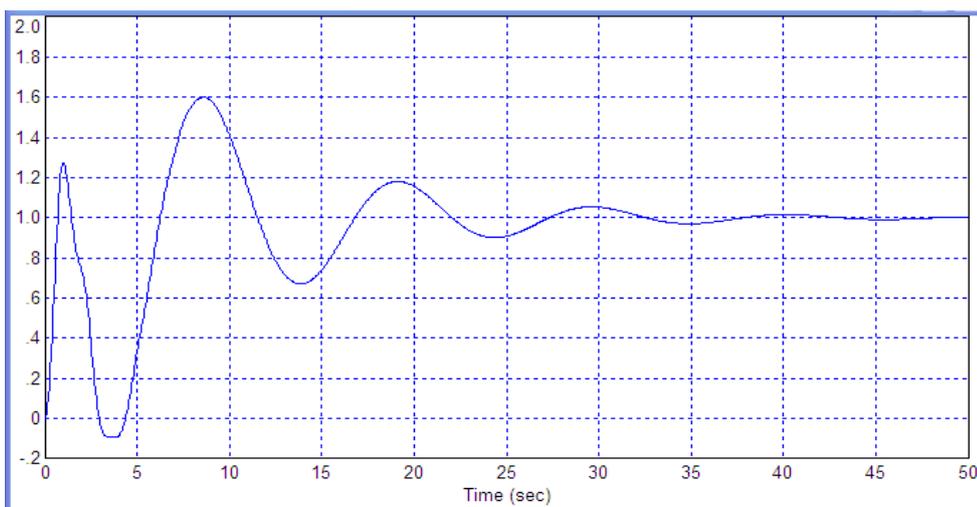


Рис. 13. Переходный процесс в системе по Рис. 12 – система устойчива, но существенного улучшения качества переходного процесса не получено

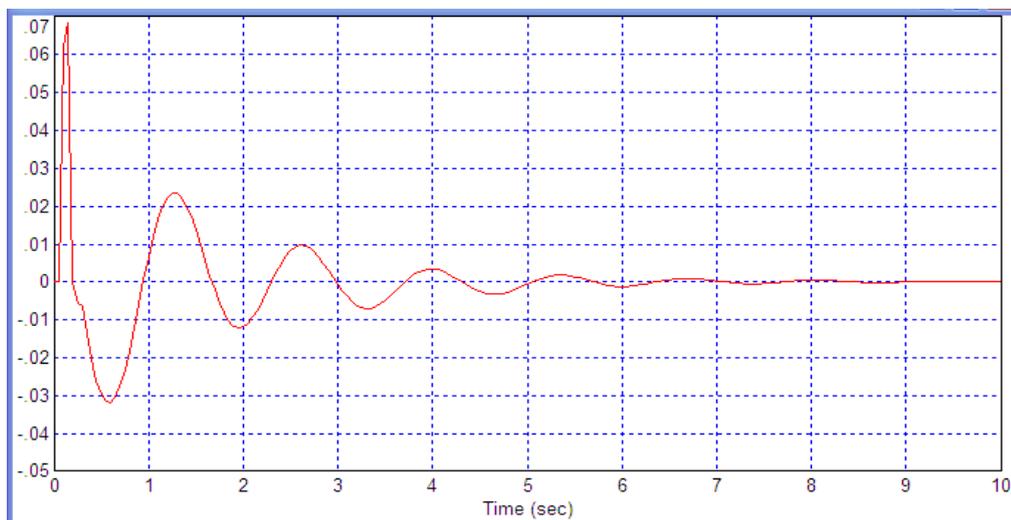


Рис. 14. Вид изменения четвертой производной в системе по Рис. 12: видно, что сигнал мал, и что он практически полностью затухает за первые 9 секунд процесса, длящегося 45 секунд (что видно из графика Рис. 13)

5. РАССМОТРЕНИЕ УПРОЩЕННОГО ПРИМЕРА

Для сравнительного анализа осуществим численную оптимизацию регулятора для объекта, модель которого получена из модели (1) путем изменения отрицательного коэффициента в числителе на положительный:

$$W_o(s) = \frac{s^3 + 4s^2 + s + 1}{s^5 + 2s^4 + 32s^3 + 14s^2 - 4s + 50} \quad (6)$$

Оптимизация ПИД-регулятора для этого случая дает следующие коэффициенты, которые показаны на Рис. 15. Переходный процесс в этой системе показан на Рис. 16. Видно, что переходный процесс характеризуется достаточно высоким качеством, а именно: перерегулирование не превышает 10 %, обратный ход также не

превышает 10 %, число ярко выраженных колебаний не превышает двух.

p	128.644
i	207.735
d	15.9848
d2	374663
d3	-4.0741e-2
d4	-3.62599e-2

Рис. 15. Полученные коэффициенты при оптимизации ПИД⁴-регулятора для объекта (6)

Можно упростить регулятор, понизив порядок дифференцирования до трех. Оптимизация упрощенного таким образом регулятора дает коэффициенты, показанные на Рис. 17. Соответствующий переходный процесс показан на Рис. 18. Цена отказа от четвертой производной выражена в увеличении величины перерегулирования почти до 20 % и аналогичного

увеличение вдвое интервала обратного хода, то есть также до 20 %.

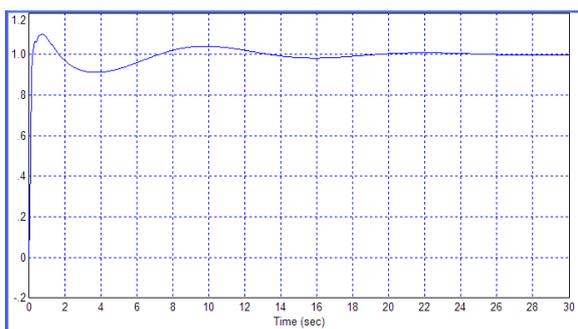


Рис. 16. Переходные процессы в системе с объектом (6) и ПИД⁴-регулятором с коэффициентами согласно Рис. 15

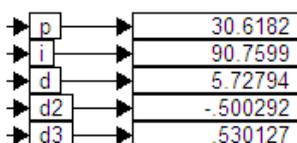


Рис. 17. Полученные коэффициенты при оптимизации ПИД³-регулятора для объекта (6)

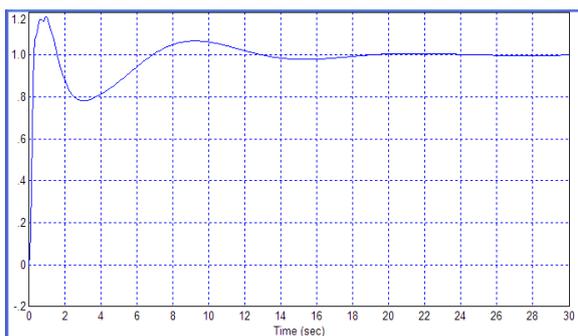


Рис. 18. Переходные процессы в системе с объектом (6) и ПИД³-регулятором с коэффициентами согласно Рис. 17

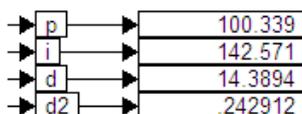


Рис. 19. Полученные коэффициенты при оптимизации ПИД²-регулятора для объекта (6)

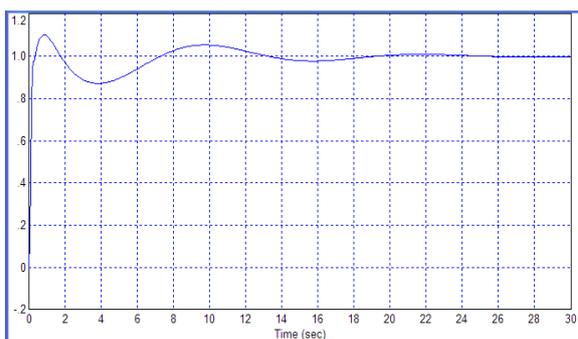


Рис. 20. Переходные процессы в системе с объектом (6)

и ПИД²-регулятором с коэффициентами согласно Рис. 19

Можно видеть, что переходный процесс, полученный на Рис. 20, лучше, чем процесс на Рис. 18, то есть перерегулирование, также, как и величина обратного хода несколько уменьшилось.

Далее осуществим оптимизацию обычного ПИД-регулятора для объекта (6). Полученные коэффициенты регулятора показаны на Рис. 21, а соответствующий переходный процесс – на Рис. 22. Качество переходного процесса ухудшилось и приблизилось к процессу, показанному на Рис. 18.

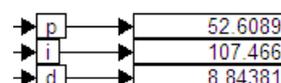


Рис. 21. Полученные коэффициенты при оптимизации ПИД-регулятора для объекта (6)

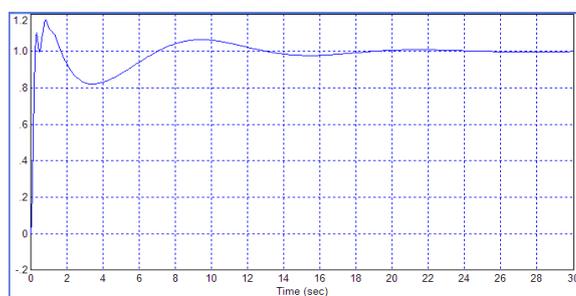


Рис. 22. Переходные процессы в системе с объектом (6) и ПИД-регулятором с коэффициентами согласно Рис. 21

Для чистоты эксперимента осуществим также оптимизацию ПИ-регулятора, то есть регулятора без дифференцирующего тракта. Полученные коэффициенты показаны на Рис. 23, а переходный процесс – на Рис. 24.

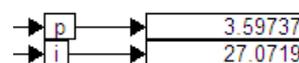


Рис. 23. Полученные коэффициенты при оптимизации ПИ-регулятора для объекта (6)

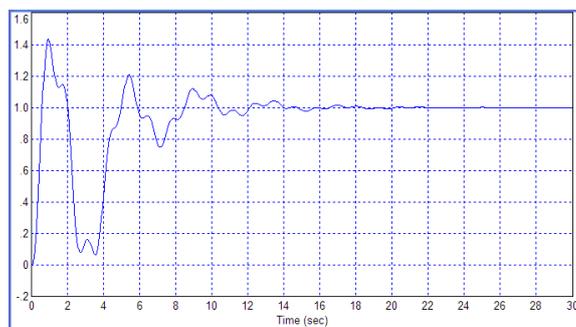


Рис. 24. Переходные процессы в системе с объектом (6) и ПИД-регулятором с коэффициентами согласно Рис. 23

Полученный процесс явно неудовлетворителен, и больше похож на процессы с объектом (1).

Таким образом, данный раздел продемонстрировал, что основной проблемой в объекте (1) является отрицательный коэффициент в числителе, а также тот факт, что введение первого канала дифференцирования в регулятор, преобразующего ПИ-регулятор в ПИД-регулятор, более эффективно, чем введение всех последующих каналов дифференцирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Повышение порядка дифференцирования в регуляторе при моделировании, начиная с третьей производной, требует введения фильтра, то есть дифференцирование следует осуществлять в ограниченной полосе частот.

2. Ввод фильтра в тракт вычисления четвертой производной не обязателен, если эта производная вычисляется путем дифференцирования третьей производной, которая вычислена в тракте с использованием фильтра.

3. Известные методики в виде набора стоимостных функций и иных рекомендаций для ряда сложных объектов недостаточны: имеется по меньшей мере одна модель объекта, для которой даже применение этих методик не позволяет спроектировать ПИД², ПИД³ или ПИД⁴-регулятор, который был бы явно более эффективен, чем ПИД-регулятор.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жмуд В. А. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2012. – 335 с.
- [2] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored “The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics”, 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [3] В.А. Жмуд, А.Н. Заворин. Метод проектирования энергосберегающих регуляторов для сложных объектов с частично неизвестной моделью. В кн.: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVI Международной конференции 30 июня – 03 июля 2014 г., Самара. Россия. С. 557–567.
- [4] The modeling tests of the new PID-regulators structures. Voevoda, A.A., Zhmud, V.A., Ishimtsev, R.Y., Semibalamut, V.M. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [5] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhmud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [6] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6. Zhmud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [7] V. Zhmud, O. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [8] V. Zhmud, A. Polishchuk, A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [9] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review. 2014; 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> и <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [10] Д.С. Саленко, Н.А. Малышкин, Л.В. Димитров. О создании банка моделей объектов для сопоставления методов проектирования регуляторов: скалярный случай. ФГБОУ ВО НГТУ (Новосибирск, Россия), Университет Софии (София, Болгария). Автоматика и программная инженерия. 2015. № 2 (12). С. 40–53.



Саленко Дмитрий Сергеевич – аспирант каф. Автоматики НГТУ. Область научных интересов и компетенций - теория автоматического управления, MEMS и их применение E-mail: salenkods@mail.ru



Малышкин Николай Александрович – аспирант каф. Автоматики НГТУ. Область научных интересов и компетенций – моделирование и оптимизация систем автоматического управления. E-mail: nickmyname@ngs.ru

Features of numerical optimization of PID-regulator with higher derivatives in program VisSim

D.S. SALENKO, N.A. MALISHKIN

Abstract. The paper investigates the method of numerical optimization with simulation. The main subject if the researches is the possibility of improving the quality of the system by introducing into the regulator of channel with higher derivatives. It is shown that in some cases, performance of the optimization procedure requires a low pass filter, at least in the link for calculating of the third derivative (and higher order derivatives). The paper researches an example of object that has the tendency to

vibrations, which is so strong that even with a regulator, containing the fourth order derivative, is not efficient enough. It can non significantly improve the quality of the system in comparison with the stable system obtained using a conventional PID-regulator.

Key words: control, numerical optimization, the regulator with higher derivatives, PID², PID³, PID⁴

REFERENCES

- [1] Zhmud V.A. Simulation study and optimization of locked systems of automatic control. Monograph. Novosibirsk, Publishing House of the NSTU, 2012. - 335 p.
- [2] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10–13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [3] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Method of designing energy-efficient regulators for complex objects with partially unknown model. Proc.: The control and modeling in complex systems. Proceedings of the XVI International Conference June 30-July 3, 2014, Samara. Russia. p. 557-567.
- [4] The modeling tests of the new PID-regulators structures. Voevoda, A.A., Zhmud, V.A., Ishimtsev, R.Y., Semibalamut, V.M. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [5] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhmud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [6] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6. Zhmud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [7] V. Zhmud, O. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [8] V. Zhmud, A. Polishchuk, A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [9] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review, 2014, № 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [10] D.S. Salenko, N.A. Malishkin, L.V. Dimitrov. About the Creation of the Bank of Objects Models for the Comparison of Methods for the Design of Controllers: Scalar Case. Automatics & software Engineering. 2015. N 2(12). P. 40–53. URL: www.jurnal.nips.ru