

Управление объектом с одним выходом с использованием двух входных каналов воздействия

В.А. Жмудь¹, О.Д. Ядрышников¹, В.М. Семибаламут²

¹ ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия, ² ФГБУН Геофизическая служба СО РАН

Аннотация: Управление объектами в контуре с отрицательной обратной связью широко используется, поскольку позволяет обеспечить высокую точность в присутствии возмущающих воздействий. Как правило, количество каналов для входных воздействий в объекте соответствует количеству выходных управляемых величин. В ряде случаев структура математической модели объекта позволяет воздействовать на выходную величину различными способами, которым соответствуют разные математические модели. При этом каждая из таких моделей имеет собственные ограничения по быстродействию, по величине максимального воздействия и так далее. Совместное использование обоих каналов управления позволяет одновременно обеспечить как высокое быстродействие управления, так и большой диапазон контролируемых изменений выходной величины объекта. При этом требуется использование двух регуляторов, совместно воздействующих на объект. Вопросы согласования динамических и статических свойств указанных регуляторов рассматривались теоретически с использованием передаточных функций, однако, при этом не учитывались такие ограничения одного из каналов управления объекта, как динамическая нелинейность. В данной статье рассматриваются такие ограничения одного из каналов, при этом используется математическое моделирование для получения переходных процессов и для оптимизации регуляторов. Особенности использования данного метода исследуются на примере.

Ключевые слова: управление, обратная связь, автоматика, регулятор, качество управления, точность

ВВЕДЕНИЕ

Управление объектами в контуре с отрицательной обратной связью широко используется, поскольку позволяет обеспечить высокую точность в присутствии возмущающих воздействий. В таких системах ошибка управления $e(t)$, равная разности между предписанным выходным сигналом объекта $v(t)$ и его фактическим значением $y(t)$, преобразуется

регулятором в управляющий сигнал $u(t)$, который прикладывается к входу объекта. Результатом действия этого сигнала является достижение требуемого равенства $y(t) \approx v(t)$, по крайней мере, в среднем (в ограниченной полосе частот). Существуют объекты, в которых имеется несколько выходных величин, а также имеется несколько каналов воздействия на эти выходные величины. Как правило, количество входных каналов для воздействий в объекте соответствует количеству выходных управляемых величин. Если количество входных каналов меньше, то некоторые выходные величины будут неуправляемыми. Если количество входных каналов больше, как правило, выбирают наиболее эффективные каналы воздействий, а лишние каналы не используют.

В ряде случаев целесообразно использовать большее количество управляющих каналов, чем имеется выходных величин в объекте. Одним из примеров такой целесообразности служат системы управления частотой или фазой лазерного излучения [1–3]. В таких системах структура математической модели объекта позволяет воздействовать на выходную величину различными способами, которым соответствуют разные математические модели. При этом каждая из таких моделей имеет собственные ограничения по быстродействию, по величине максимального воздействия и так далее. Совместное использование обоих каналов управления позволяет одновременно обеспечить как высокое быстродействие управления, так и большой диапазон контролируемых изменений выходной величины объекта. При этом требуется использование двух регуляторов, совместно воздействующих на объект.

Вопросы согласования динамических и статических свойств указанных регуляторов рассматривались теоретически с использованием передаточных функций, однако, при этом не учитывались такие ограничения одного из каналов управления объекта, как динамическая нелинейность. В данной статье рассматриваются такие ограничения одного из каналов, при этом используется математическое моделирование для получения переходных процессов и для оптимизации регуляторов. Особенности использования данного метода исследуются на примере.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим объект, на выходную величину которого можно воздействовать двумя различными способами, один из которых обладает недостаточным быстродействием, но достаточным диапазоном изменений, а другой, наоборот, обладает недостаточным диапазоном изменения выходной величины, но достаточным быстродействием [4]. Так, например, в системах управления частотой или фазой лазерного излучения [1–3] для измерения частоты (фазы) излучения используется изменение оптической длины лазера, которая определена расстоянием между двумя зеркалами. Любое из этих зеркал или оба могут быть размещены на пьезоэлектрическом модуляторе, который изменяет свои размеры (на небольшую величину) под воздействием поданного на него напряжения. Если использовать один модулятор наименьших размеров, то можно обеспечить высокое быстродействие, но при этом можно изменить частоту излучения лишь на небольшую величину. Если же использовать склейку нескольких модуляторов, можно обеспечить изменение частоты на достаточно большую требуемую величину, но такая склейка обладает намного меньшим быстродействием, что сказывается в ограничении скорости нарастания выходной величины. Это ограниченное быстродействие можно описать ограниченным значением скорости нарастания выходной величины (динамической нелинейностью).

Таким образом, один из каналов воздействия может воздействовать на выходную величину быстро, но в малом диапазоне (быстрый канал), другой из каналов может на нее воздействовать в большом диапазоне, но с ограниченным быстродействием.

Свойства шумов частоты лазера аналогичны, а именно: большие по величине изменения частоты лазера могут иметь место лишь в узкой полосе частот, в низкочастотной области. Быстрые изменения частоты не велики по величине.

Из этого следует, что совмещение двух каналов воздействия могли бы позволить подавить оба вида возмущений в системе, однако, следует избежать конфликта двух видов управления единственной выходной величиной.

В работе [4] дан теоретический анализ этой проблемы и ее решение на основе логарифмических амплитудно-частотных характеристик. Но зачастую модель объекта столь

сложна, что аналитические методы не эффективны для решения задачи. Кроме того, указанные виды ограничений в быстром и медленном канале (по уровню и по скорости нарастания выходного сигнала) сложно учесть при аналитическом анализе, тогда как при оптимизации с помощью программы для симуляции эти ограничения легко могут быть смоделированы.

Таким образом, целесообразно рассмотреть модели, учитывающие указанные ограничения, предложить их адекватные модели, использовать эти модели для численной оптимизации регулятора и сопоставить результаты с теми результатами, которые могут быть получены без использования одного из каналов. Все моделирование осуществляется в программе *VisSim*.

2. МОДЕЛЬ МЕДЛЕННОГО КАНАЛА

Для описания медленного канала можно использовать апериодическое звено при условии введения в него ограниченной скорости нарастания. Без указанного ограничения апериодическое звено можно смоделировать в виде контура с отрицательной обратной связью, в прямой ветви которого содержится интегратор. На выходе интегратора в этом случае формируется выходная величина этой модели, а на его входе – производная по времени от этой величины, то есть скорость нарастания выходной величины. Если перед интегратором ввести ограничитель, то полученная модель будет описывать устройство, которое при малых сигналах описывается апериодическим звеном, но при больших входных сигналах в нем начинает сказываться ограничение скорости нарастания выходной величины.

Пример модели такого канала показан на *Рис. 1*. Амплитуда сигналов на выходе такой модели зависит от частоты и амплитуды входного сигнала нелинейно, причем эта нелинейность касается скорости нарастания.

На *Рис. 2* и *3* показаны выходные сигналы этой модели при различных соотношениях частоты и амплитуды входных сигналов. При фиксированной частоте с ростом амплитуды выходной сигнал сначала растет, но после некоторого значения его форма становится пилообразной, а рост его амплитуды прекращается.

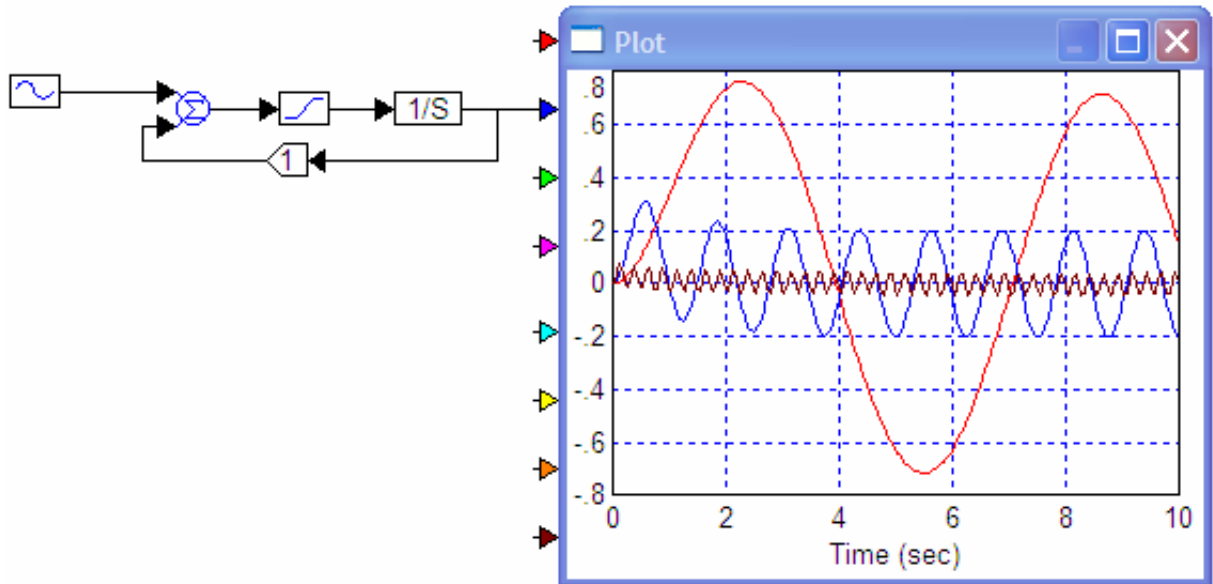


Рис. 1. Модель медленного канала: ограничитель выставлен на ± 1 ; амплитуда генератора равна единице, частота равна 1 Гц для красной линии, 5 Гц для синей линии и 25 Гц для черной линии; контур с обратной связью имитирует динамическую нелинейность

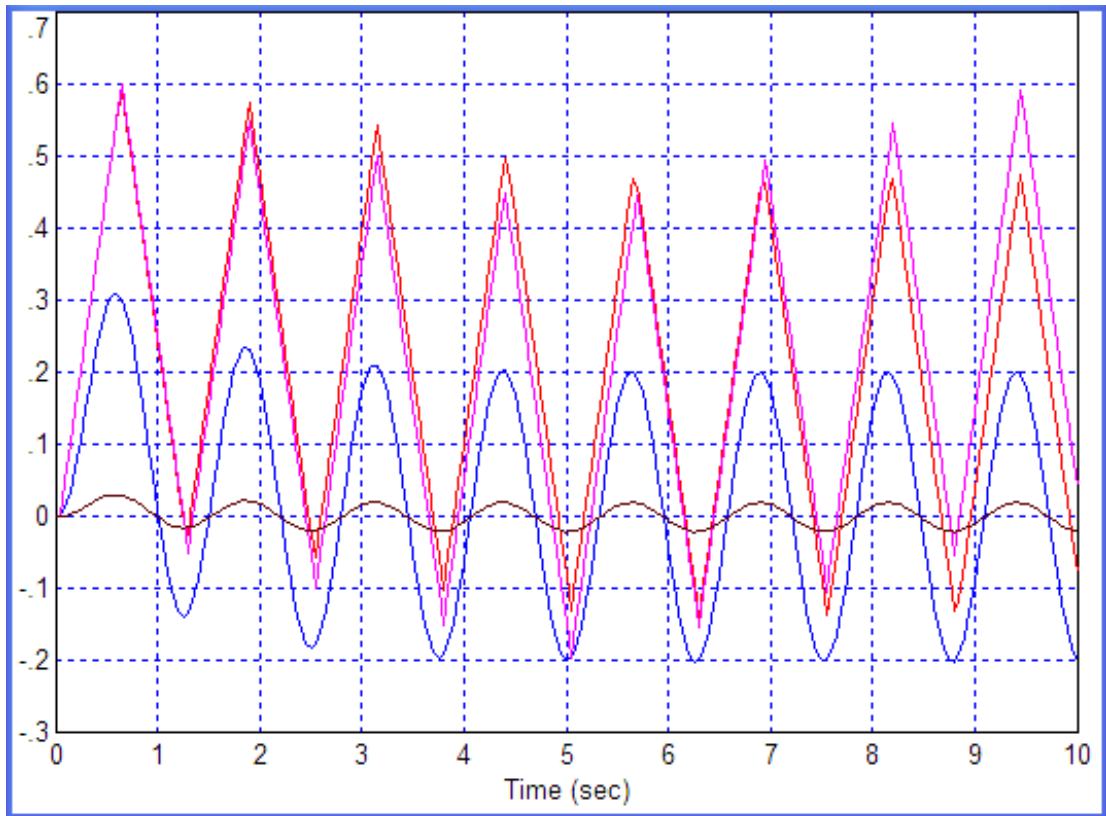


Рис. 2. Проявление динамической нелинейности модели, показанной на рис. 1: частота равна 1 Гц; черная линия соответствует амплитуде 0,1, синяя – 1, красная 10, розовая 50; видно, что с ростом амплитуды гармонический сигнал на выходе становится треугольным, его амплитуда не может повышаться выше 0,6 на этой частоте

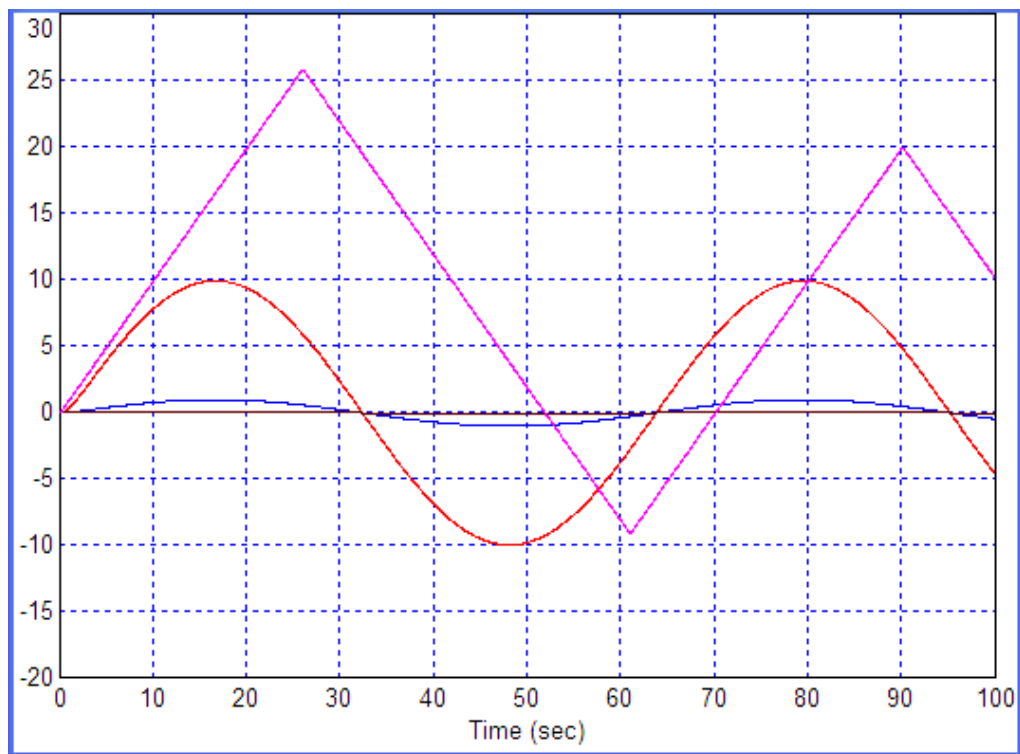


Рис. 3. Та же ситуация, но при частоте, равной 0,1 Гц: видно, что максимальная скорость нарастания равна 1 ед./с

Представленная модель достаточно адекватно моделирует то ограничение, которое имеется в медленном канале управления частотой лазерного излучения [4].

3. МОДЕЛЬ БЫСТРОГО КАНАЛА

Для описания быстрого канала целесообразно использовать аperiodическое звено с

ограничителем на входе. На Рис. 4 показана модель быстрого канала. В ней имеется ограничитель на величину ± 2 , а также аperiodическое звено с постоянной времени 1 с.

С ростом амплитуды выходной сигнал из гармонического сигнала трансформируется в ограниченный сигнал, по форме похожий на трапециидальный.

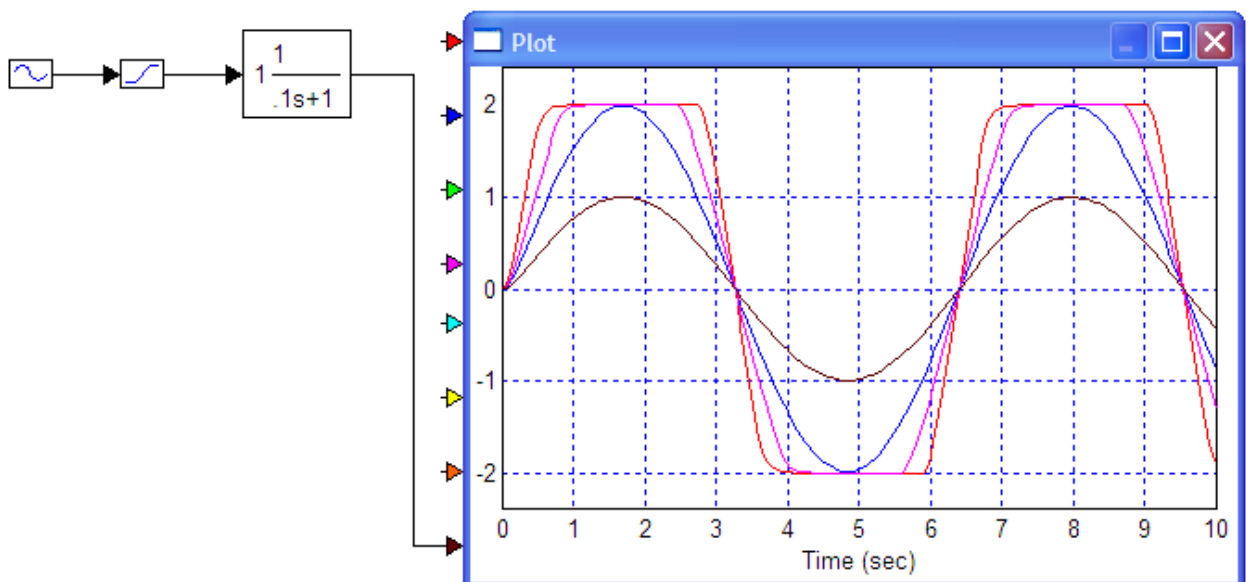


Рис. 4. Модель и выходные сигналы быстрого канала: частота составляет 1, амплитуда сигнала генератора, соответствующая черной, синей, розовой и красной линии равна, соответственно, 1, 2, 3 и 5

4. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА В ЦЕЛОМ И МОДЕЛЬ ПОМЕХИ

На *Рис. 5* показана модель объекта, который совмещает оба эти канала управления. На осциллографе, входящем в структуру моделирования в программе VisSim, видно, что с ростом амплитуды в выходном сигнале возникают нелинейные искажения, которые являются суммой сигналов, искаженных каждым из каналов управления. Разумеется, оба канала воздействия не требуется объединять. Наоборот, на каждый из каналов следует подавать собственный управляющий сигнал, поэтому требуется рассчитать двухканальный регулятор.

Все неконтролируемые процессы в объекте могут быть описаны как помеха, действующая на выходе и суммирующаяся с выходным сигналом, порождаемым откликом двух каналов на управляющие сигналы на их входах. Пусть помеха имеет компоненту амплитудой 20 единиц на частоте 0,02 Гц и также аддитивную компоненту амплитудой 1 единица на частоте 1 Гц. На *Рис. 6* показан пример такой помехи.

Система не смогла бы подавить такую помеху только с быстрым каналом или только с медленным каналом. Стоит задача подавить эту помеху совместным действием двух каналов. С этой целью необходимо выбрать структуру регулятора и рассчитать его коэффициенты.

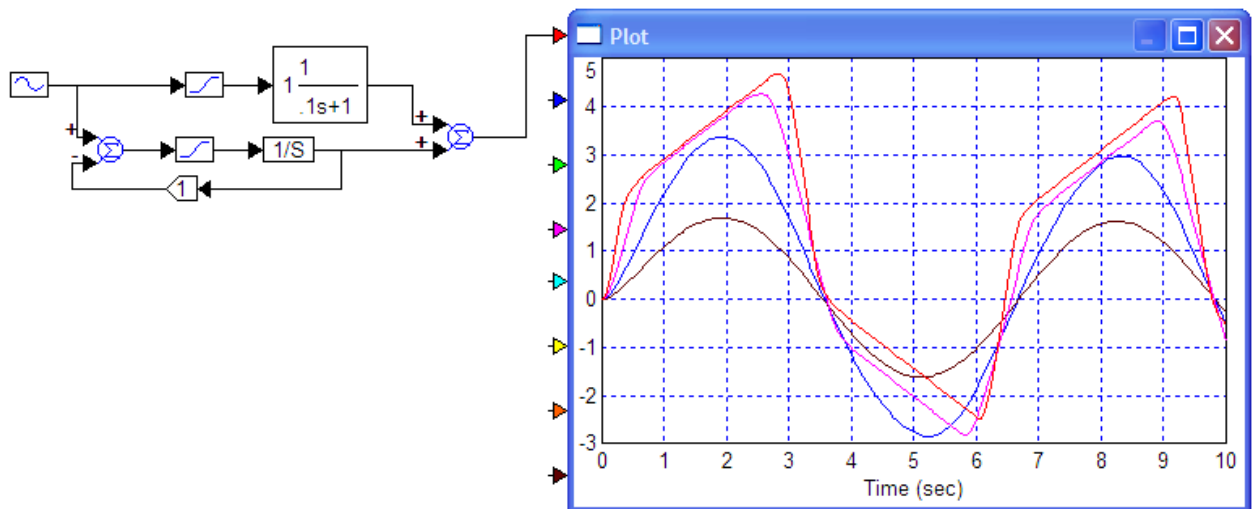


Рис. 5. Модель объекта в целом: на графиках показан результат воздействия гармонического сигнала на его вход; амплитуда входного сигнала изменяется следующим образом: 1, 2, 4 и 8 для черной, синей, розовой и красной линии

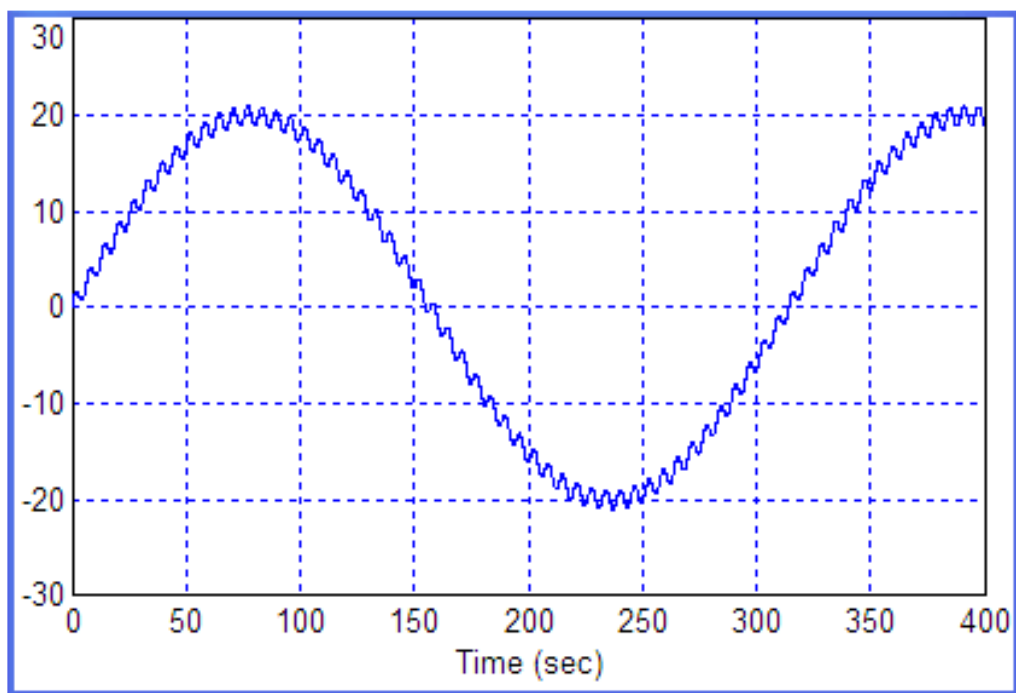


Рис. 6. Характерный вид помехи в виде суммы двух гармонических сигналов

5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

На основании общих соображений можно предложить использовать высокочастотный канал управления в области высоких частот, а низкочастотный – в области низких частот. Следовательно, в регуляторе медленного канала должен содержаться интегратор, а в регуляторе быстрого канала должен содержаться дифференцирующий элемент. Не столь однозначно можно определить, к какому каналу следует отнести пропорциональный тракт. Для упрощения предварительного анализа и с целью

гарантии использования всех возможностей управления полностью можно предложить включить в модель каждого из регуляторов пропорциональный тракт. Если в результате численной оптимизации коэффициент одного из этих каналов будет пренебрежимо мал, этот тракт можно будет исключить из окончательного варианта регулятора.

Методы численной оптимизации исследованы в работах [5–15]. По причинам, изложенным в работе [4], мы рекомендуем использование именно программы *VisSim* [16 – 17], а не *MATLAB* или *MathCAD*.

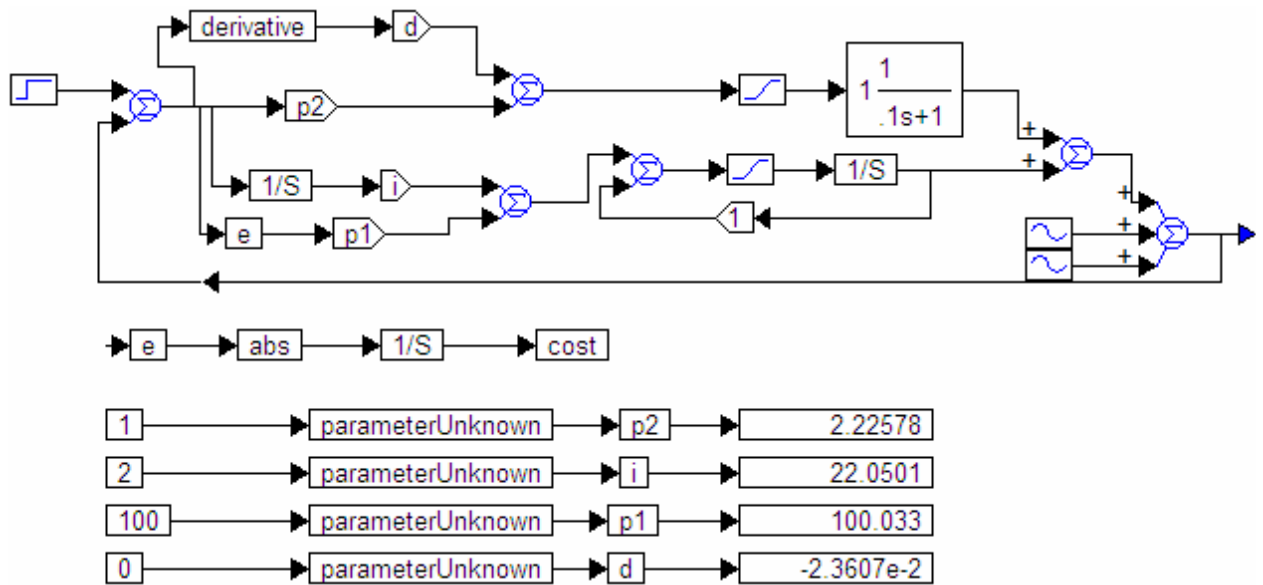


Рис. 7. Структура и результат оптимизации регулятора: как видим, дифференцирующий тракт не используется

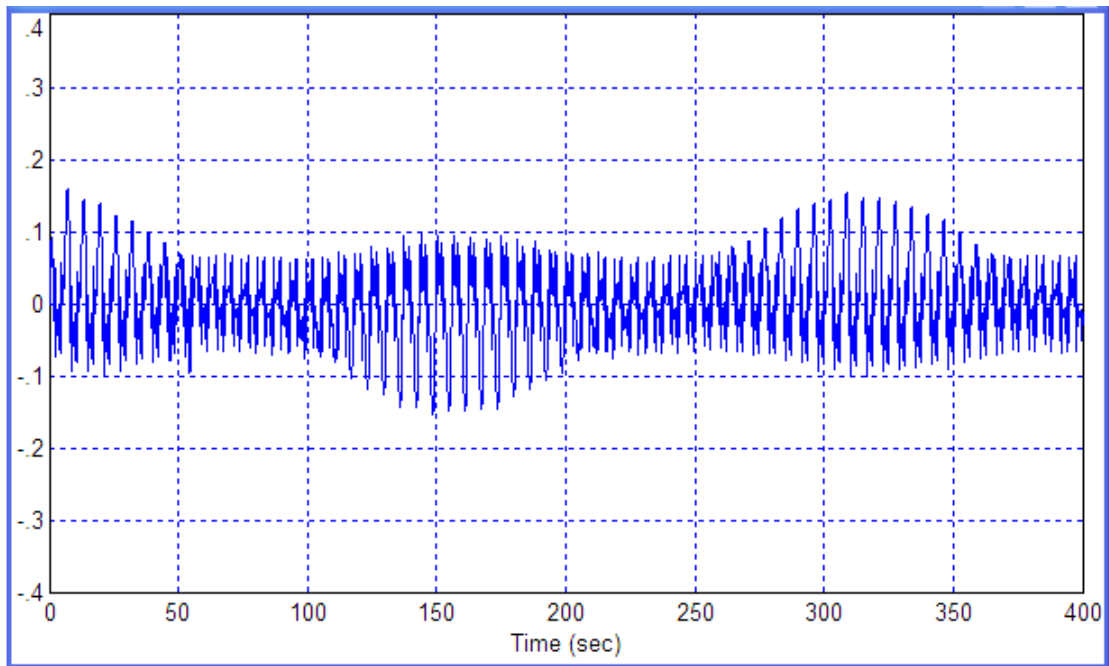


Рис. 8. Переходный процесс в результате действия указанной помехи с регулятором, рассчитанным методом оптимизации

На *Рис. 7* показана модель для численной оптимизации регулятора. На *Рис. 8* показан получающийся переходный процесс – остаток от помехи, значительная часть которой подавляется контурами управления.

Видно, что помеха, амплитуда которой составляла 20 единиц, подавлена в целом до величины не более 0,15 единиц, то есть более чем в 100 раз.

6. МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМЫ

Результат оптимизации следует попытаться улучшить, поскольку видно, что дифференцирующий тракт не работает. Это следует из двух признаков: относительно малая величина полученного коэффициента дифференцирующего тракта, а также его отрицательное значение. Дифференцирующий тракт, как правило, позволяет повысить запас устойчивости по фазе, что увеличивает быстродействие системы. Коэффициент такого тракта, как правило, должен быть положительным. В объекте отсутствует запаздывание, поэтому дифференцирование должно приносить пользу. Следует выяснить причину того, что это не случилось, и попытаться ее устранить. Для начала мы можем предложить зафиксировать все коэффициенты, кроме дифференцирующего тракта, после чего подать единичный ступенчатый скачок на вход, при этом убрать помеху не полностью, а лишь высокочастотную компоненту. В результате процедуры оптимизации получен коэффициент дифференцирующего тракта $K_d = -0,09$. После этого была введена помеха полностью и численная оптимизацию была повторена для всей

группы коэффициентов. Далее подключили также и низкочастотную компоненту помехи. На *Рис. 9* показаны результаты этих действий.

Полученный переходный процесс виден на рисунке ниже. Красный график – это помеха, синий – это та ее часть, которая осталась на выходе. Следующий график – синий – отдельно только выходной сигнал, чтобы его можно было рассмотреть.

Поскольку указанный коэффициент остался отрицательным, а амплитуда остатка помехи не только не упала, но и возросла, следует признать, что проделанные манипуляции не улучшили результата. Поэтому следует детально рассмотреть сигналы в системе, и на основе этого рассмотрения обратить внимание на то, что ограничитель после дифференцирующего устройства сводит на нет эффект дифференцирования, превращая его из полезного свойства во вредное. Именно сочетание дифференцирования с последующим ограничением является основным источником проблем с дифференцированием. Если бы не это, большинство практиков и теоретиков, опасаящихся дифференцирования в условиях шумов, не встречали бы подтверждения своим опасениям. Обратим внимание на то, что пропорциональный тракт также воздействует на ограничитель, что и дает отрицательный эффект.

Для решения этой проблемы поступим следующим образом. Зададим коэффициент дифференцирующего тракта в быстром контуре в виде малой положительной величины, а именно: 0,005. Отключим медленную большую помеху и медленный тракт, осуществим повторную оптимизацию только коэффициента дифференцирующего тракта. Структура для такой процедуры показана на *Рис. 11*.

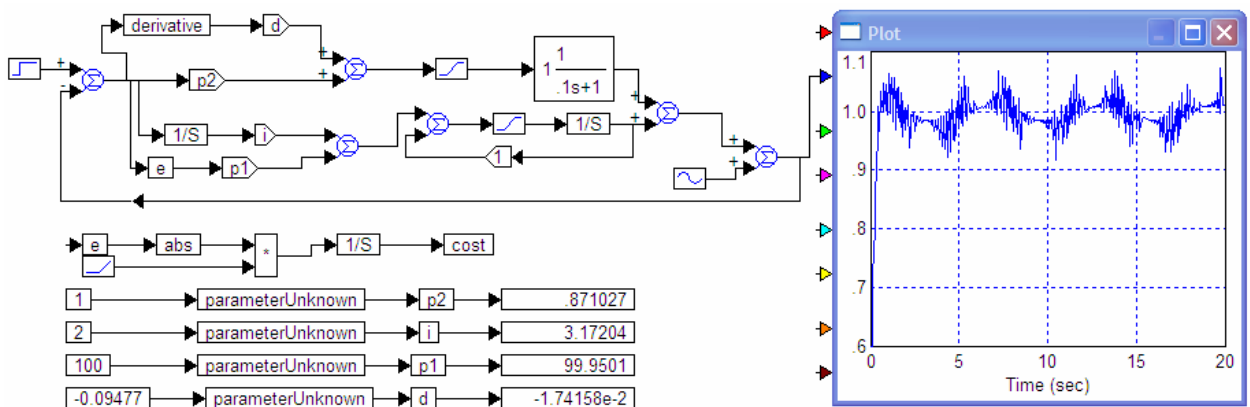


Рис. 9. Результаты дальнейшей численной оптимизации

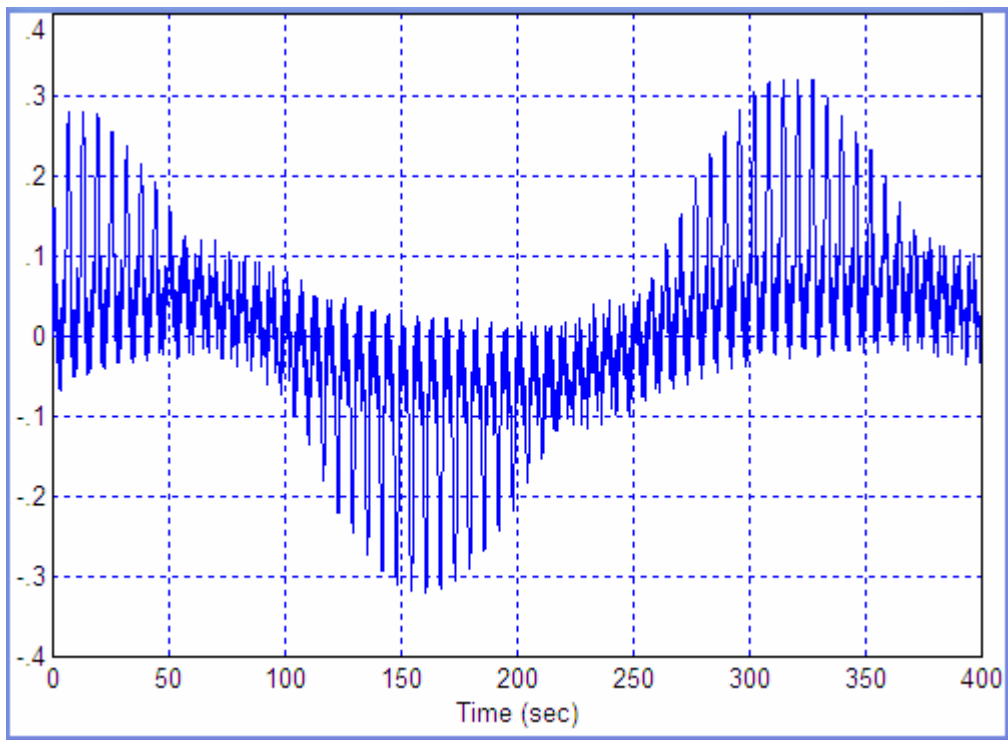


Рис. 10. Остаток помехи при действии регулятора, показанного на Рис. 9

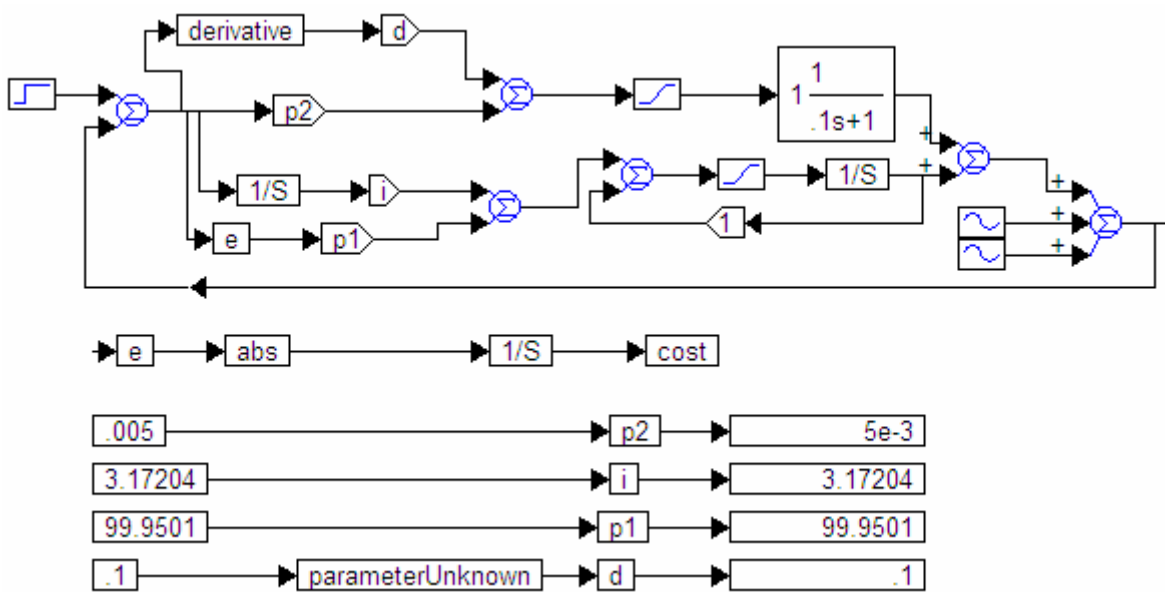


Рис. 11. Структурная схема для оптимизации коэффициента дифференцирующего тракта

В итоге оптимизации, осуществленной по структуре, показанной на Рис. 11, коэффициент дифференцирующего тракта принял положительное значение $K_d = 0,1$. На Рис. 12 показаны остатки помехи при работе системы с

этим регулятором. Видим, что остаточная ошибка на выходе остается в пределах приблизительно $\pm 0,1$, и коэффициент дифференцирующего тракта, действительно, дает положительный эффект.

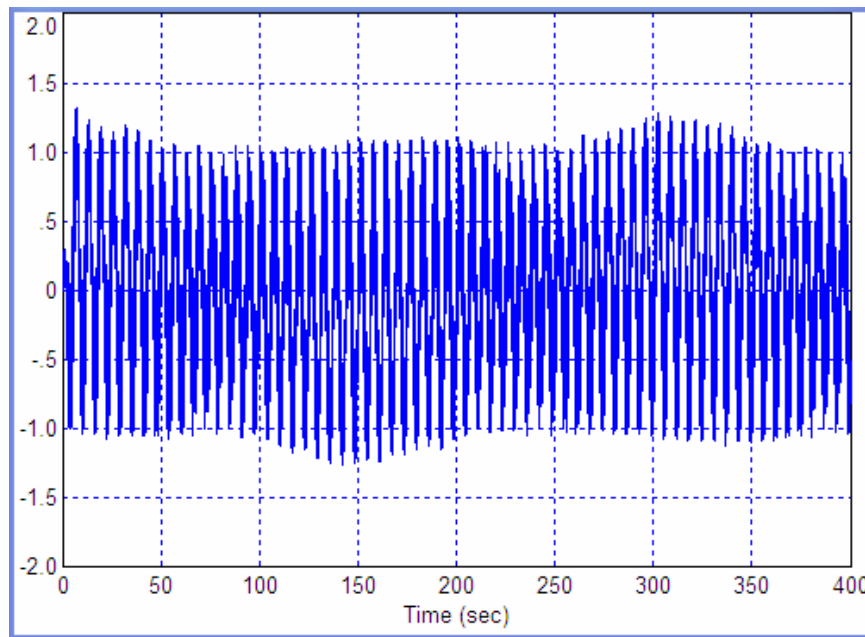


Рис. 12. Остатки помехи при работе системы с регулятором, рассчитанным при использовании структуры Рис. 11

7. ДРУГОЙ ПРИМЕР С МЕНЬШЕЙ ВЕЛИЧИНОЙ ОГРАНИЧЕНИЯ

Для того чтобы убедиться, что причина проблем состояла именно в ограничении сигнала, увеличим пороги ограничения от величины ± 2 до величины ± 5 , то есть всего лишь в 2,5 раза. Схема для оптимизации и результаты этой оптимизации показаны на Рис. 13. В результате коэффициент дифференцирующего тракта принимает большое положительное значение, а именно: $K_d = 14,36$.

На Рис. 14 показан остаток выходного сигнала при той же самой помехе. Входной сигнал задания $v(t)$ при этом равен нулю, поэтому данный выходной сигнал, по сути, является

ошибкой управления. Выходной сигнал по амплитуде лишь в отдельных случаях достигает величины 0,008, на половине переходного процесса амплитуда высокочастотного остатка помехи равна 0,002. Всплески высокочастотного остатка помехи порождаются в те моменты, когда помеха приближается к нулю, то есть можно предположить, что небольшой конфликт управления двух контуров имеет место. Преодоление этого конфликта, вероятно, позволило бы дополнительно уменьшить амплитуду остатков помехи. Однако, полученный результат вполне удовлетворителен: помеха подавлена, по меньшей мере, в 2500 раз.

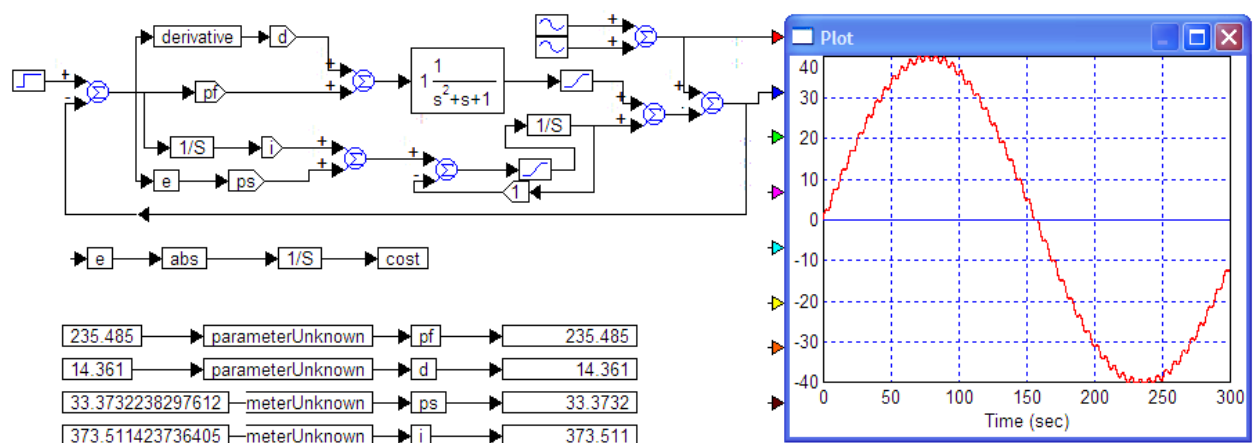


Рис. 13. Результаты оптимизации при увеличении порога ограничения в 2,5 раза

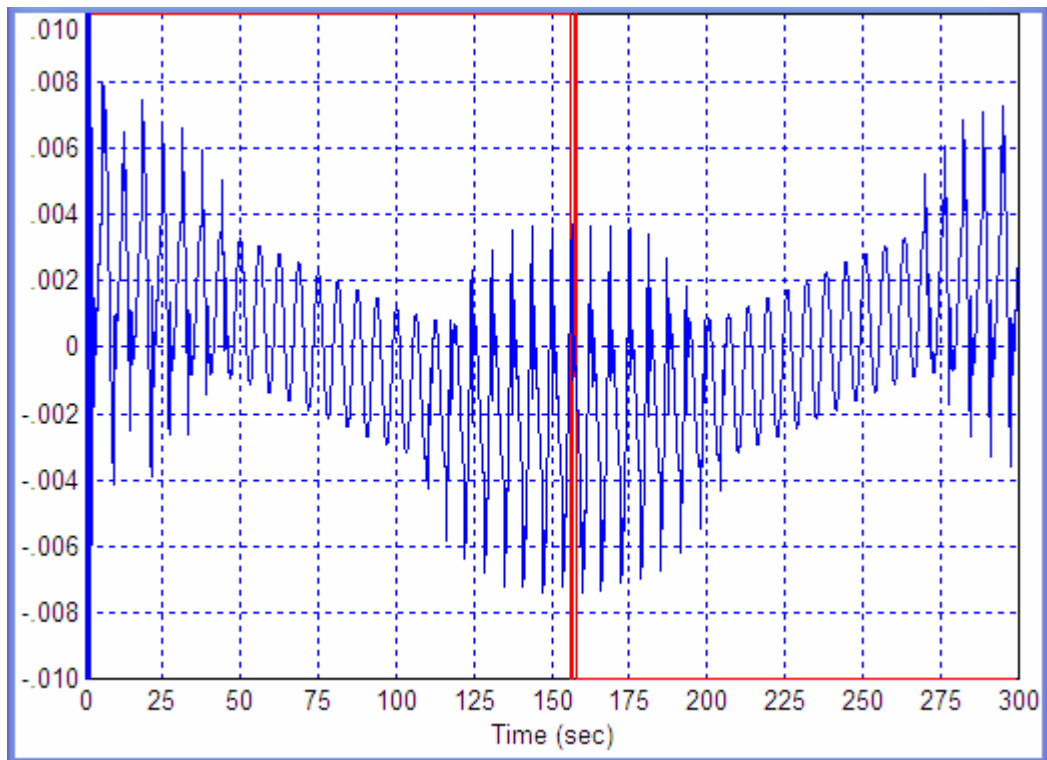


Рис. 14. Оциллограмма остаточной ошибки в большом масштабе

8. ДЕМОНСТРАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ

Для демонстрации эффективности исследованного метода достаточно рассмотреть

результат при отключении каждого из каналов. На Рис. 15 показан выход системы (то есть ошибка, порожденная помехой) при отключении быстрого канала управления. На Рис. 16 показан выход системы при отключении медленного канала управления.

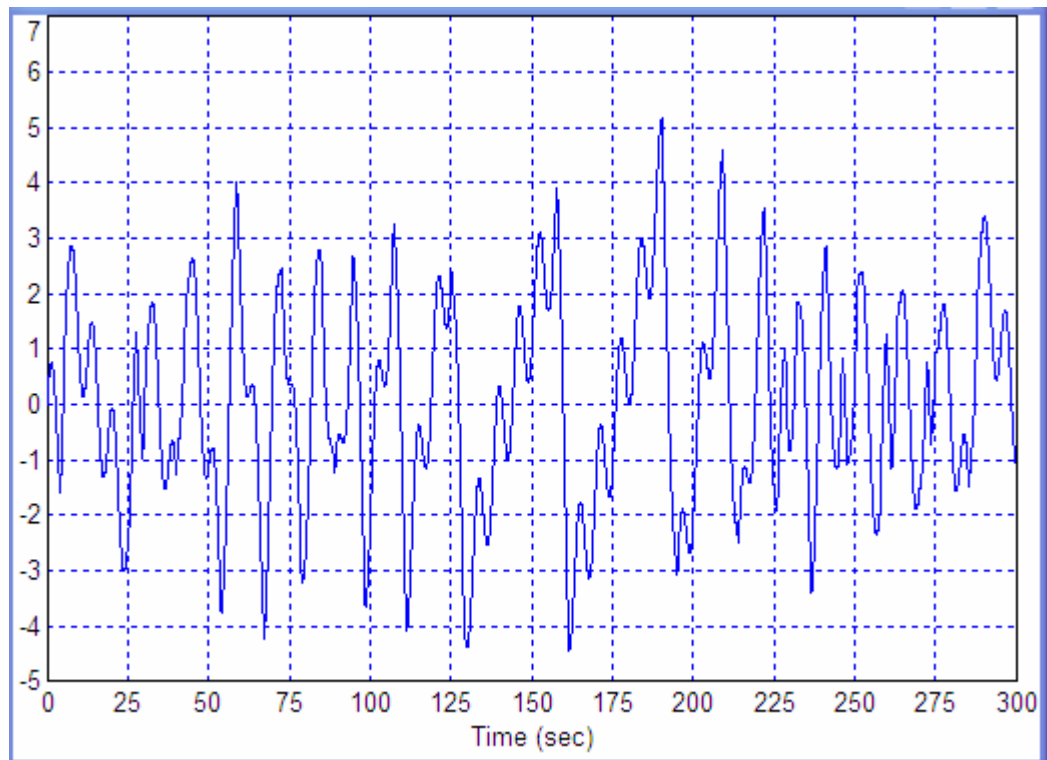


Рис. 15. Оциллограмма выходного сигнала системы при отключенном быстром канале управления

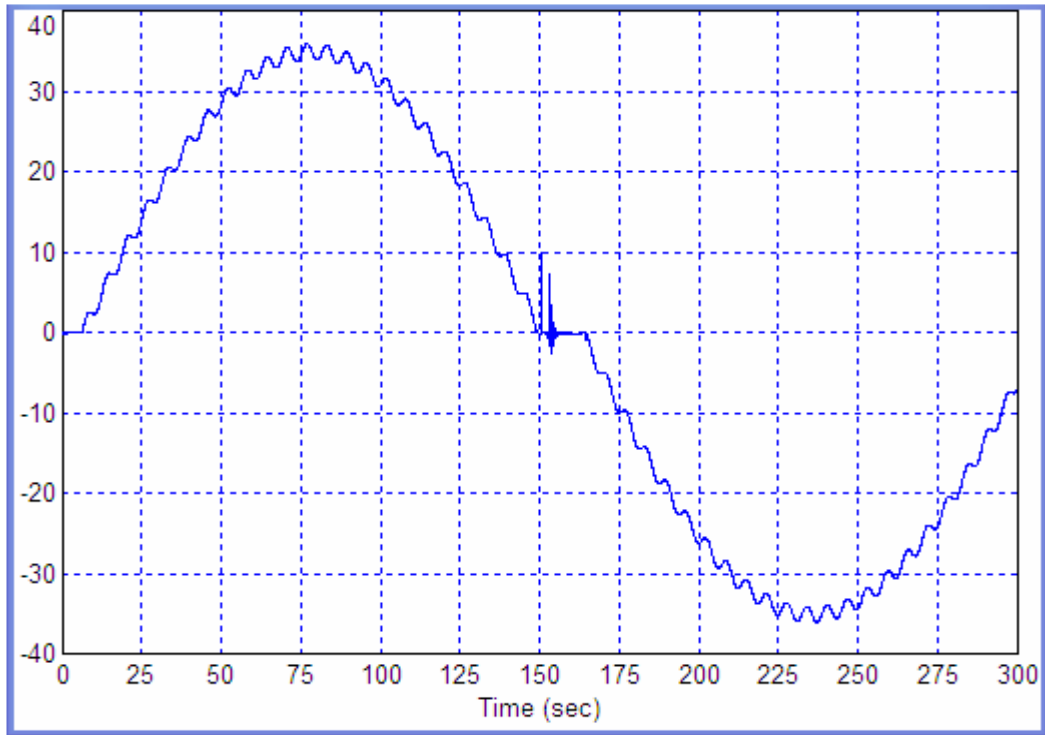


Рис. 16. Осциллограмма выходного сигнала системы при отключенном медленном канале управления

9. ПРИЗНАКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАЖДОГО КАНАЛА

Целесообразно убедиться в отсутствии признаков неэффективности работы каждого из каналов. Признаком неэффективной работы в сигнале быстрого канала было бы ограничение

сигнала в нем, либо наличие большого постоянного смещения. Ограничение указывало бы на перегруженность канала, а смещение — на недостаточно эффективную работу медленного канала. На Рис. 17 показан выходной сигнал быстрого канала, видно, что этих признаков в нем не содержится.

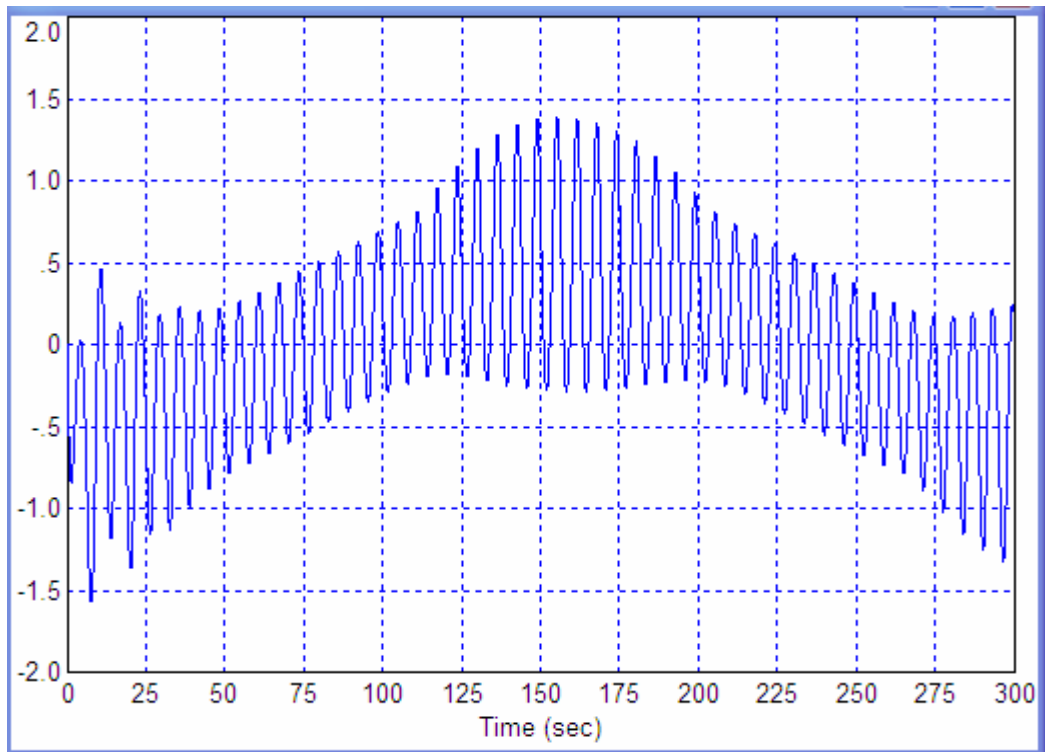


Рис. 17. Осциллограмма выходного сигнала только быстрого канала объекта при нормальной работе всей системы

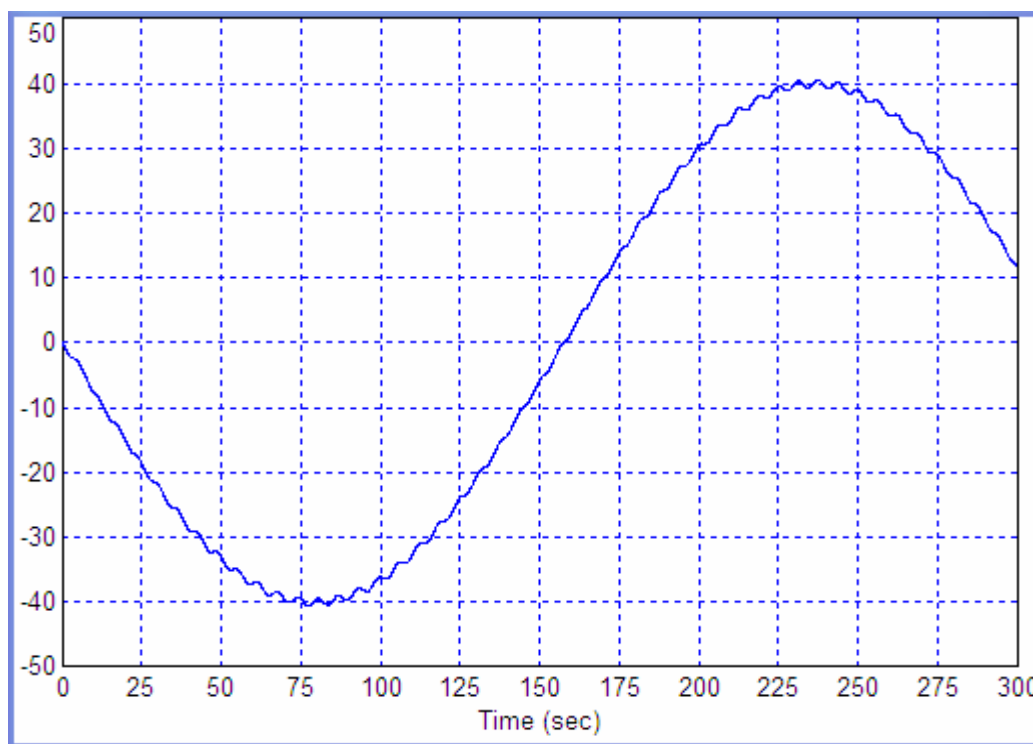


Рис. 18. Оциллограмма выходного сигнала только медленного канала объекта при нормальной работе всей системы

Признаком неэффективной работы в сигнале медленного канала было бы наличие остатков высокочастотного сигнала, в особенности, если бы в нем присутствовали нелинейные искажения, преобразующие гармоническую форму в пилообразную. На Рис. 18 показан выходной сигнал медленного канала, видно, что таких признаков в нем нет. Таким образом, можно заключить, что в результате численной оптимизации рассчитан регулятор, обеспечивающий эффективное разделение мод переходного процесса по двум регулятором одной общей регулируемой выходной величины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследован метод расчета двухканального регулятора одной выходной величины, основанный на численной оптимизации. Выявлены причины недостаточно эффективной работы быстрого канала, заключающиеся в недостаточном учете ограничения, что приводит к тому, что дифференцирование вместо полезного свойства становится вредным, поэтому соответствующий коэффициент становится отрицательным. Предложены рекомендации для преодоления этой проблемы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной

деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. Т. 43. № 3. P. 381-383.
- [2] Электронная система стабилизации частоты He-Ne лазера по линиям поглощения метана. Жмудь В.А., Бармасов С.В., Гительсон В.Д. Приборы и техника эксперимента. 1999. № 4. С. 127 (An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. Т. 42. № 4. P. 551-557).
- [3] 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.
- [4] Жмудь В. А. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2012. – 335 с.
- [5] В.А. Васильев, А.А. Воевода, В.А. Жмудь, В.А. Хассуонех. Цифровые регуляторы: целевые функции настройки, выбор метода интегрирования, аппаратная реализация. Сборник научных трудов НГТУ, 2006. N 4 (46). С. 3–10.
- [6] А.С. Востриков, А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник НГТУ. - 2005. - N 3(21). с.3-21.
- [7] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сохранение и повышение порядка асимптотического уравнения системы при управлении по методу разделения

- движений. Научный вестник НГТУ. - 2006. - N 1(22). с.3-9.
- [8] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сходимость алгоритмов оптимизации регулятора для объекта с ограничителем и с запаздыванием. Научный вестник НГТУ. - 2007. - N 4(29). с.179-184.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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/>
- [13] 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.
- [14] В.А. Жмудь, 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.
- [15] 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>
- [16] В. Дьяконов. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М. СОЛОН-Пресс. 2004. – 384 с.
- [17] В. Дьяконов. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. – М. СОЛОН-Пресс. 2003. – 576 с.



Вадим Аркадьевич Жмудь – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук. Область научных интересов и компетенций – теория автоматического управления, электроника, лазерные системы, оптимизация, измерительная техника. E-mail: oao_nips@bk.ru



Олег Дмитриевич Ядрышников – аспирант кафедры Автоматики НГТУ, автор более 10 научных статей. Область научных интересов и компетенций – теория автоматического управления, оптимальные и адаптивные системы, оптимизация, многоканальные системы. E-mail: oleg_yadr@mail.ru



Владим Михайлович Семибаламут – директор ФГБУН «Геофизическая служба СО РАН». Область научных интересов и компетенций: автоматизация научного эксперимента, лазерная физика, геофизика, программное обеспечение, оптимизация. E-mail: wladim28@yandex.ru

REFERENCES

- [1] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. T. 43. № 3. P. 381-383.
- [2] An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. T. 42. № 4. P. 551-557.
- [3] 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.
- [4] V.A. Zhmud. Simulation, research and optimization of locked system of automatic control. Monograph. Novosibirsk. Publishing house of NSTU. 2012. – 335 p.
- [5] V.A. Vasiliev, A.A. Voevoda, VA Zhmud, V.A. Hassuoneh. Digital controls: cost function, the choice of integration method, hardware implementation. Collection of scientific works of NSTU, 2006. N 4 (46). P. 3-10.
- [6] A.S. Vostrikov, A.A. Voivod, V.A. Zhmud. The effect of reducing the order of the system that is controlled by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2005. - N 3 (21). P.3-21.
- [7] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. Maintenance and improvement of the order of the asymptotic equation of the system that is controlled by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2006. – N 1 (22). P.3-9.
- [8] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. The convergence of the optimization algorithms for object control with limiter and delay. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2007. - N 4 (29). s.179-184.
- [9] 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.
- [10] 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.

- [11] 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.
- [12] 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/>
- [13] 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.
- [14] В.А. Жмудь, 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.
- [15] 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>
- [16] V. Dyakonov. VisSim + Mathcad + MATLAB. The visual mate-matic simulation. - M. SOLON-Press. 2004 - 384 p.
- [17] V. Dyakonov. MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5 in mathematics and modeling. Full user manual. - M. SOLON-Press. 2003 - 576 p.
- [18] A phase-locked loop system for the difference frequency of two lasers. Barmasov S.V., Zhmud' V.A. Instruments and Experimental Techniques. 2000. T. 43. № 3. P. 381-383.
- [19] An electronic system for stabilizing of the frequency of the He-Ne laser to the methane absorption lines. Zhmud V.A., Barmasov S.V., Gitel'son V.D. Instruments and Experimental Techniques. 1999. T.

42. № 4. P. 551-557. (Электронная система стабилизации частоты He-Ne лазера по линиям поглощения метана. Жмудь В.А., Бармасов С.В., Гительсон В.Д. Приборы и техника эксперимента. 1999. № 4. С. 127).

Control of Object with a Single Output with the Usr of Two Input Channels of Influence

V.A. ZHMUD, O.D. YADRISHNIKOV, V.M. SEMIBALAMUT

Abstract. Control of objects in the loop with negative feedback is widely used because it allows achieving of high accuracy in the presence of disturbances. As a rule, the number of channels for input actions in the object is equal to the number of output controlled variables. In some cases, the structure of the mathematical model of the object can control the output value in different ways, which correspond to different mathematical models. In each of these models there are their own limits on the maximum value of the speed of the output value and so on. Joint control by the both channels can at once provide both high speed control and a large range of controlled changes in the output value of the object. This requires the use of two regulators jointly acting on the object. Issues of harmonization of dynamic and static properties of these controls were considered theoretically using transfer functions; however, the publications have not been considered such restrictions of one of the control channels of the object as a dynamic non-linearity. This paper discusses these limitations in one of the channels, using the mathematical modeling for getting the transients processes and to optimize the regulators. Features of using of this method are investigated by an example.

Key words: Control, feedback, automation, regulator, quality control, precision