

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОРОНЕЖСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ЗАКОНОВ
УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ САПР SIMULINK. ПАКЕТ
NONLINEAR CONTROL DESIGN (NCD). ПРИМЕР
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ
КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ И-РЕГУЛЯТОРА**

**Методические указания к лабораторной работе по
дисциплине
«Автоматизация проектирования систем и средств
управления» и «Современные средства проектирования
систем управления»**

**Для бакалавров, обучающихся по направлению
220400 – «Управление в технических системах», профиль подготовки
«Управление и информатика в технических системах»,
дневной и заочной формы обучения**



**ВОРОНЕЖ
2010**

УДК 519.852.6

Построение математических моделей динамических систем и автоматизированный синтез законов управления средствами САПР Simulink. Пакет Nonlinear Control Design (NCD). Пример моделирования и оптимизации коэффициента передачи И-регулятора: метод. указания к лабораторной работе по дисциплине «Автоматизация проектирования систем и средств управления» / Воронеж. гос. технол. акад.; Сост. С.Г. Тихомиров, Е.А. Хромых, Моторин М.Л., Воронеж, 2010. 23 с.

Указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВПО подготовки бакалавров по направлению 220400 – «Управление в технических системах», профиль подготовки «Управление и информатика в технических системах». Работа посвящена изучению пакета Nonlinear Control Design (NCD), используемого для построения нелинейных систем управления. В качестве примера использования пакета рассматривается моделирование и оптимизация коэффициента передачи И-регулятора.

Табл. 1. Ил. 16. Библиогр.: 10 назв.

Составители доценты С.Г. ТИХОМИРОВ,
Е.А. ХРОМЫХ, ассистент МОТОРИН М.Л.

Научный редактор профессор, д.т.н. В.Ф. ЛЕБЕДЕВ

Рецензент профессор, д.т.н. Ю.А. ЧЕВЫЧЕЛОВ

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Воронежской государственной технологической академии

© Тихомиров С.Г.,
Хромых Е.А.,
Моторин М.Л., 2010

© Воронеж. гос. технол. акад., 2010

Оригинал-макет данного издания является собственностью Воронежской государственной технологической академии, его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия академии запрещается.

Содержание

1. Назначение пакета и документация по нему
 - 1.1. Назначение пакета Nonlinear Control Design Blockset
 - 1.2. Документация по пакету Nonlinear Control Design
2. Основные правила работы с NCD
3. Описание блоков NCD
4. Правила работы с пакетом NCD
5. Оптимизация коэффициента передачи И-регулятора
6. Меню окна блока NCD Output
7. Задание по вариантам
8. Требования к отчёту
9. Библиографический список

1. Назначение пакета и документация по нему

1.1. Назначение пакета Nonlinear Control Design Blockset

Пакет прикладных программ для построения нелинейных систем управления Nonlinear Control Design (NCD) Blockset реализует метод динамической оптимизации. Этот инструмент, строго говоря, представляющий собой набор блоков, разработанных для использования с Simulink, автоматически настраивает параметры моделируемых систем, основываясь на определенных пользователем ограничениях на их временные характеристики.

Пакет использует метод Click And Drag («щелкни и тяни») для изменения временных ограничений. Он реализует следующие возможности:

- легкую настройку переменных;
- указание неопределенных параметров систем;
- интерактивную оптимизацию;
- моделирование методом Монте-Карло;
- поддержка проектирования как одномерных, так и многомерных систем управления;
- моделирование подавления помех;
- моделирование процессов слежения;
- моделирование объектов с запаздыванием;
- решение других задач управления.

Средства пакета являются весьма полезным дополнением к средствам моделирования линейных систем, предоставляя пользователю именно те возможности, которые отсутствуют в ранее рассмотренных пакетах расширения системы MATLAB.

1.2. Документация по пакету Nonlinear Control Design

Электронная документация по пакету Nonlinear Control Design представлена в формате HTML в справочной системе. Имеется также описание в формате PDF объемом 106 с. Таким образом, данный пакет является небольшим в сравнении с ранее рассмотренными пакетами, что ничуть не принижает его значения, учитывая отмеченные выше новые возможности пакета.

2. Основные правила работы с NCD

Пакет расширения NCD является частью пакета Simulink и наследует все его приемы работы. Это, в частности, относится к вызову библиотек пакета NCD, их применению для построения моделей нелинейных систем и запуску процесса моделирования. В связи с этим воздержимся от подробного описания этих приемов.

Данный пакет, по сути, является специализированной оптимизирующей программой для решения задачи оптимизации при наличии ограничений в форме неравенств и использующей в качестве алгоритма оптимизации последовательное квадратичное программирование.

3. Описание блоков NCD

Рисунок 1 показывает окно браузера библиотек, демонстрирующее доступ к библиотекам пакета NCD. Сокращение RMS означает *средне-квадратическую величину* (root mean square).

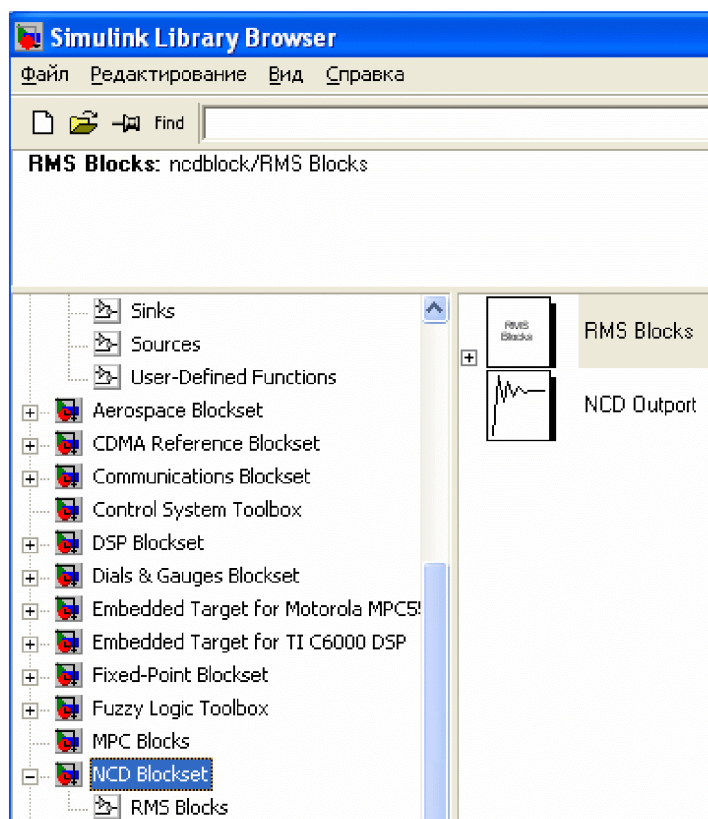


Рис. 1. Состав NCD Blockset

Пакет NCD Blockset содержит следующие блоки (рис. 2):

- блок CRMS (Continuous RMS);
- блок DRMS (Discrete RMS);
- блок NCD Output.

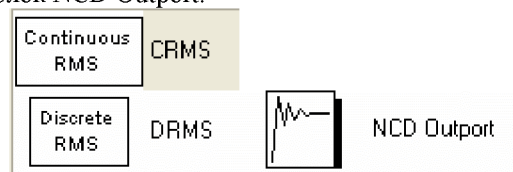


Рис. 2. Блоки пакета NCD Blockset

Рассмотрим их подробнее.

Блок CRMS реализует математическую зависимость

$$y(t) = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t u^2(\tau) d\tau}, \text{ при } t > 0,$$

где $u(t)$ – входной сигнал блока, $y(t)$ – его выходной сигнал. Следует отметить, что для эргодических случайных процессов с нулевым математическим ожиданием выходной сигнал блока при $t \rightarrow \infty$ является среднеквадратическим (стандартным) отклонением.

Блок DRMS, по сути, реализует такую же зависимость, что и блок CRMS, но для сигналов, определенных в дискретные моменты времени:

$$1/\sqrt{2} \approx 0.707 \text{ при } n > 0.$$

Пример с демонстрацией функционирования данных блоков содержится в файле **rmsdemo**. Для его запуска в режиме командной строки MATLAB введем команду:

```
>>rmsdemo
```

В результате исполнения этой команды появится рабочее окно Simulink с моделью, содержащей источник синусоидального сигнала с единичной амплитудой, к выходу которого подключены рассмотренные блоки (рис. 3). С помощью блока Mux их выходы подключаются к входу виртуального осциллографа, что задаст отображение двух временных зависимостей – на выходе блоков CRMS и DRMS.

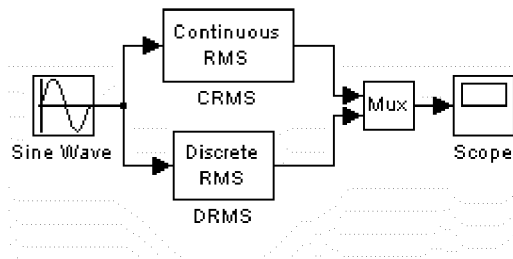


Рис. 3. Модель, иллюстрирующая функционирование блоков CRMS и DRMS

Активизируем блок Scope (двойным щелчком мыши) и запустим процесс моделирования. Его результат отображен на рис. 4, где плавная линия – выход блока CRMS, а ступенчатая – блока DRMS. При цветном дисплее они отличаются цветом линий.

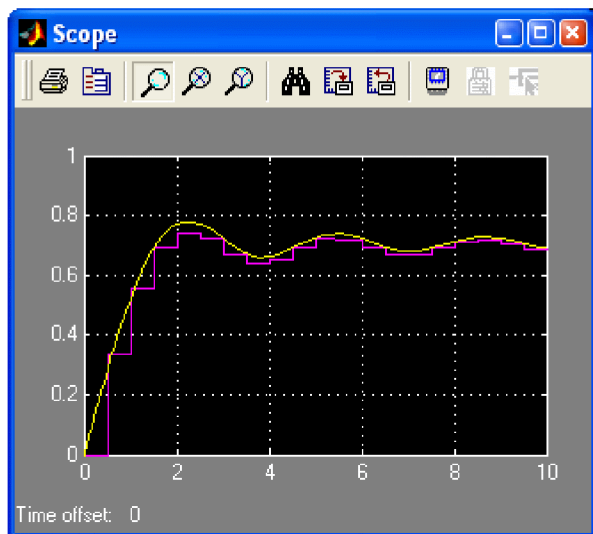


Рис. 4. Выходные сигналы блоков CRMS и DRMS

Как видно, с течением времени выходы обоих блоков стремятся к одному и тому же установившемуся значению – действующему значению синусоиды с единичной амплитудой, равному $1/\sqrt{2} \approx 0.707$. В то же время в случае блока CMRS это приближение получается плавным, а в случае блока DRMS – дискретным.

Рассматриваемые блоки могут применяться, в частности, в системах моделирования, где качество функционирования целесообразно оценивать интегральным квадратичным критерием или стандартным отклонением ошибки.

Блок NCD Output является основным в рассматриваемом наборе блоков. Он имеет свое рабочее окно и меню и позволяет в интерактивном режиме выполнять следующие операции:

- задавать требуемые ограничения во временной области на любой сигнал оптимизируемой системы;
- указывать параметры, подлежащие оптимизации;
- указывать неопределенные параметры;
- проводить параметрическую оптимизацию системы с учетом заданных ограничений.

Работа с данным блоком будет рассмотрена далее на примерах.

4. Правила работы с пакетом NCD

Типовой сеанс работы в среде Simulink с использованием возможностей и блоков NCD Blockset состоит из ряда стадий, описанных ниже.

1. В среде Simulink создается модель исследуемой динамической системы (в общем случае нелинейной).

2. Входы блоков NCD Output соединяются с теми сигналами системы, на которые накладываются ограничения. Этими сигналами могут быть, например, выходы системы, их среднеквадратические отклонения и т. д.

3. В режиме командной строки MATLAB задаются начальные значения параметров, подлежащих оптимизации.

4. Двойным щелчком на пиктограмме NCD Output данные блоки «раскрываются».

5. При помощи мыши нужным образом изменяются конфигурации и размеры областей ограничений для нужных сигналов системы.

6. С помощью меню блока NCD Output задается интервал дискретизации (один или два процента от длительности процесса моделирования) и указываются имена (идентификаторы) параметров системы, подлежащих оптимизации.

7. Задаются неопределенные параметры системы, указываются их номинальные значения.

8. При необходимости сформированные ограничения сохраняются в виде файла с помощью команды меню Save (позднее они, естественно, могут быть загружены с помощью команды Load).

9. Процесс оптимизации системы инициализируется нажатием кнопки Start.

5. Оптимизация коэффициента передачи И-регулятора

Рассмотрим пример параметрической оптимизации замкнутой системы автоматического регулирования, используя структуру, изображенную на рис. 4.5 (пример следует запрограммировать).

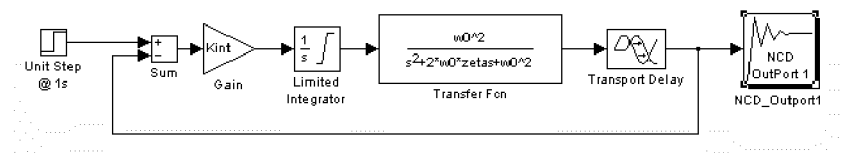


Рис. 5. Модель исследуемой системы

Данная система представляет собой замкнутую структуру, состоящую из:

- 1) объекта регулирования с передаточной функцией

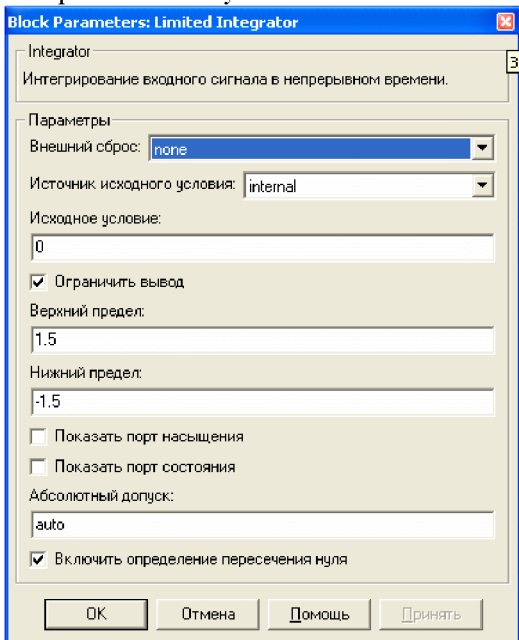
$$\frac{\omega_0^2 e^{-ps}}{p^2 + 2\omega_0 \xi p + \omega_0^2},$$

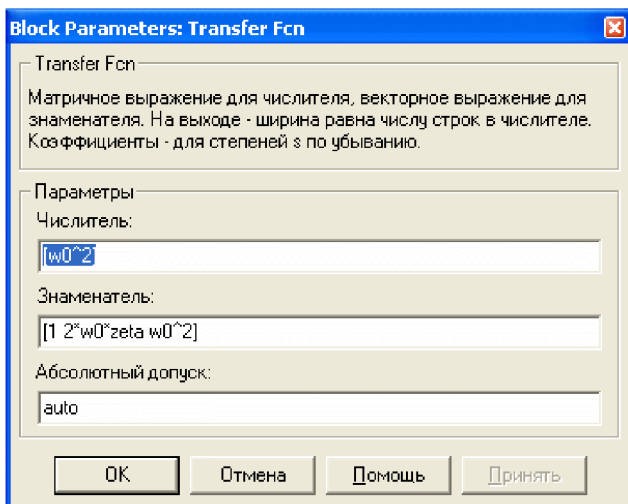
который в модели отображен звеном 2-го порядка (блок Transfer Fcn) и звеном транспортного запаздывания (блок Transport Delay) со значениями $\tau = 1$ с, $\omega_0 = 1$ с⁻¹, $\xi = 1$ и обозначениями $w0=\omega_0$, $\text{zeta}=\xi$;

- 2) интегрального регулятора (И-регулятора), отображаемого последовательно соединенными пропорциональным звеном с коэффициентом пропорциональности Kint и интегрирующим звеном с ограничением на выходной сигнал (блок Limited Integrator);

- 3) контура обратной связи и звена сравнения Sum.

Настройки используемых блоков:





В модель также введены источник входного сигнала в виде единичного скачка и NCD-блок типа NCD Output, подключенный к выходу системы (здесь данный блок имеет имя NCD OutPort 1). Нетрудно видеть, что в данном случае контролируемым сигналом является реакция системы на единичный скачок, то есть ее переходная функция. Настраиваемым (оптимизируемым) параметром является коэффициент Kint, а ограничения, накладываемые на переходную функцию, формулируются следующим образом:

- максимальное перерегулирование – не более 10 %;
- время нарастания – не более 10 с;
- длительность переходного процесса – не более 30 с.

При решении задачи оптимизации учтем, что первые два ее этапа (см. список выше) уже выполнены. Для выполнения третьего этапа в командной строке MATLAB наберем:

```
>>% Задание числовых параметров системы
>>zeta=1;
>>w0=1;
>>% Задание начального значения настраиваемого параметра
>>Kint=0.3;
```

Знак % показывает комментарий.
Вид рабочей области:

| Рабочая область | | | |
|-----------------------------|--------|------|--------------|
| <div> Стек: База </div> | | | |
| Имя | Размер | Байт | Класс |
| Kint | 1x1 | 8 | double array |
| ans | 7x1 | 56 | double array |
| w0 | 1x1 | 8 | double array |
| zeta | 1x1 | 8 | double array |

Далее двойным щелчком мыши откроем рабочее окно блока NCD OutPort 1. Вид данного окна приведен на рис. 6. В графической части окна показаны границы контролируемого сигнала, устанавливаемые по умолчанию. Легко заметить, что они не соответствуют заданным ограничениям, поэтому изменим их. Для этого, используя указатель мыши, переместим вертикальные и горизонтальные линии ограничений до положений, показанных на рис. 7 и соответствующих нашим требованиям. Внимательно сравните рис. 6 и 7, чтобы понять суть изменений.

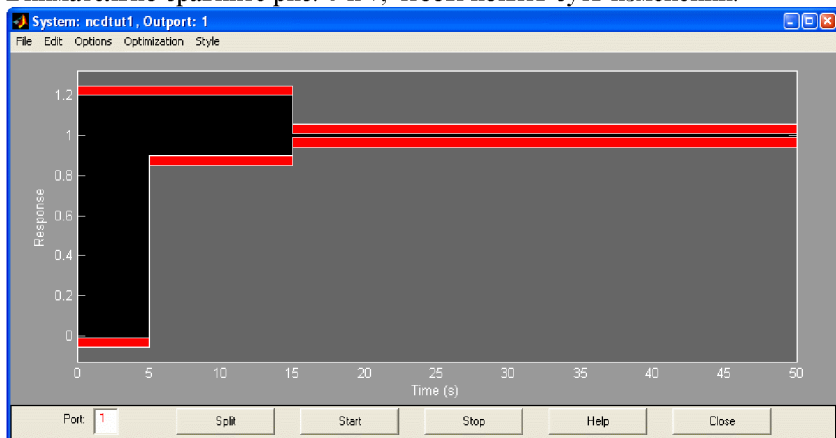


Рис. 6. Окно блока NCD OutPort с временными ограничениями по умолчанию

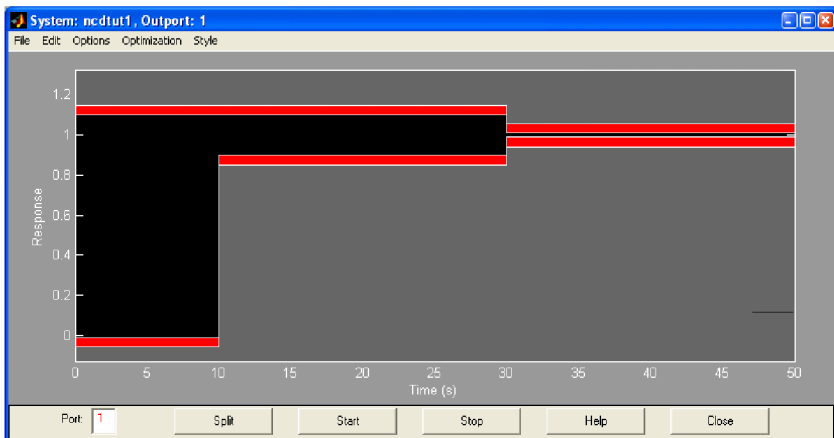


Рис. 7. Временные ограничения, соответствующие условиям задачи

Заметим, что точную установку линий ограничения можно провести, выбирая требуемые линии с помощью щелчка левой кнопкой мыши (выбранная линия изменяет цвет - становится белой) и используя затем команду меню Edit → Edit constraint. В появляющемся окне редактора ограничений (Constraint Editor) в строке снизу необходимо задать начальную и конечную точки прямой в формате [x1 y1 x2 y2], нажав затем кнопку Done (рис. 8). Точно такие же действия можно обеспечить, не используя пункты меню, а просто щелкнув на соответствующей линии правой кнопкой мыши.

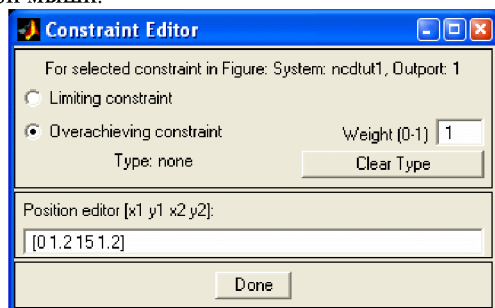


Рис. 8. Окно редактора ограничений

Следующий этап – указание переменных, подлежащих оптимизации. Выбор команды меню Optimization → Parameters приведет к откры-

тию диалогового окна задания настраиваемых параметров и интервала дискретизации – Optimization Parameters (рис. 9).

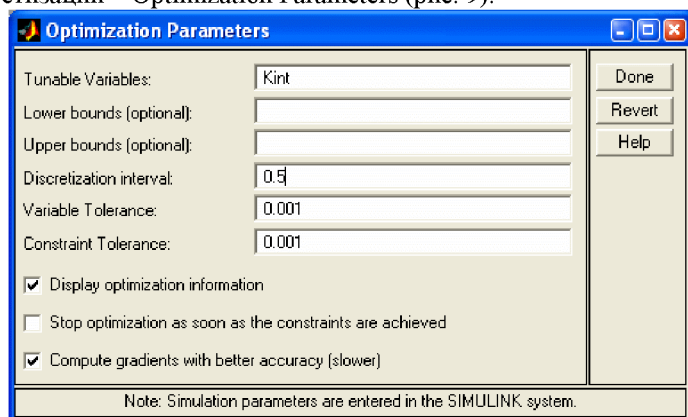


Рис. 9. Окно задания настраиваемых параметров и интервала дискретизации

В верхнем поле данного окна (Tunable Variables) введем имя настраиваемого параметра Kint (если таких параметров несколько, то их имена разделяются пробелами или запятыми), а величину интервала дискретизации (Discretization interval) установим равной 0.5 (ввод завершается нажатием кнопки Done).

Теперь все готово для решения задачи, и процесс поиска такого решения можно запустить нажатием кнопки Start в панели инструментов Simulink. Данный поиск иллюстрируется начальной и конечной формами переходного процесса, показанными на рис. 10, а также представленной ниже выходной информацией MATLAB.

Processing uncertainty information.

Uncertainty turned off.

Setting up call to optimization routine.

Done plotting the initial response.

Start time: 0 Stop time: 50.

There are 205 constraints to be met in each simulation.

There are 1 tunable variables.

There are 1 simulations per cost function call.

Creating a temporary SL model tp571888 for computing gradients...

Creating simulink model tp571888 for gradients...Done

| f-COUNT | MAX{g} | STEP | Procedures |
|---------|-------------|------|------------------|
| 3 | 0.184675 | 1 | |
| 6 | 0.0642839 | 1 | Hessian modified |
| twice | | | |
| 9 | 0.0166694 | 1 | Hessian modified |
| twice | | | |
| 12 | -0.00554887 | 1 | Hessian modified |
| twice | | | |
| 13 | -0.00586128 | 1 | Hessian modified |
| twice | | | |

Optimization Converged Successfully

Active Constraints:

124

165

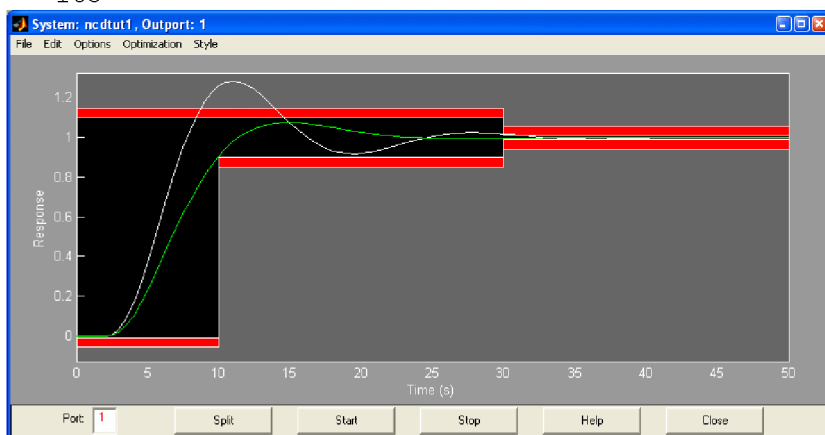


Рис. 10. Иллюстрация процесса оптимизации

Выведенные сообщения носят в основном служебный характер (главное из них говорит о том, что процесс поиска решения завершился успешно - Optimization Converged Successfully). Что же касается формы переходного процесса для оптимизированной системы, то из рис. 4.10 видно, что она полностью соответствует заданным ограничениям. Несмотря на довольно сложный характер переходной характеристики, имеющей заметные колебания, она (в отличие от исходного варианта) прекрасно вписывается в заданные ограничительные рамки.

Найденную оптимальную величину параметра K_{int} можно узнать, набрав в командной строке имя данного параметра:

```
>> Kint  
Kint =  
0.1864
```

Задачу оптимизации можно усложнить, введя **неопределенные** параметры. К таким параметрам обычно относят какие-то параметры объекта регулирования, точные значения которых неизвестны или могут претерпевать изменения (например, вследствие изменения внешних условий).

В рамках рассматриваемого примера предположим, что коэффициент ζ может изменяться в пределах 5 % от своего номинального значения, а коэффициент w_0 – в пределах от 0,7 до 1,45. Для задания подобной неопределенности воспользуемся командой меню Optimization→Uncertainty окна NCD Output. Данный выбор приведет к открытию диалогового окна задания неопределенных переменных (Uncertain Variables). Введем указанные значения так, как изображено на рис. 11.

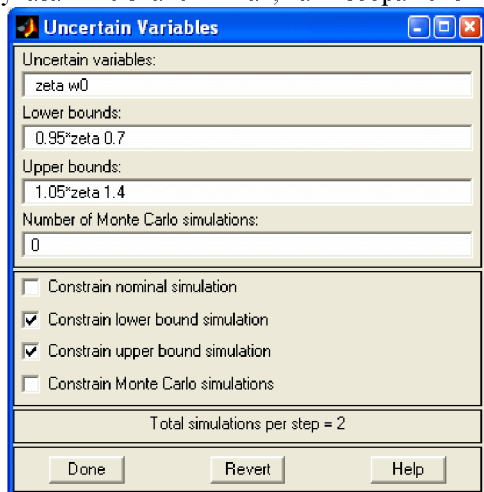


Рис. 11. Окно задания неопределенных переменных

Заметим, что по умолчанию используется номинальное значение параметра (Constrain nominal simulation). Для введения неопределенности необходимо задать нижнюю (Constrain lower simulation) и/или верхнюю (Constrain upper simulation) границы диапазона неопределенности. Следующий флажок (Constrain Monte Carlo simulations, см. рис.

4.11) позволяет провести моделирование для нескольких случайных значений указанных параметров внутри отмеченной зоны (метод Монте-Карло). Число таких значений задается в поле Number of Monte Carlo simulations; не рекомендуется выбирать его очень большим ввиду возможного значительного увеличения времени счета.

Завершив задание неопределенных переменных нажатием кнопки Done, можно продолжить оптимизацию системы в новых условиях. Нажмем для этого кнопку Start в панели инструментов Simulink, и результат выполнения оптимизации отразится на временной диаграмме. Она примет вид, представленный на рис. 12.

```
>> Kint=0.3
```

```
Kint =
```

```
0.3000
```



Рис. 12. Иллюстрация процесса оптимизации при наличии неопределенных параметров

На данном рисунке две светлых кривых соответствуют переходным процессам в системе при нижних и верхних граничных значениях неопределенных параметров и начальном значении настраиваемого коэффициента Kint, две более темных кривых – переходным процессам для тех же граничных значений, но уже при оптимальном Kint. Кстати, теперь это оптимальное значение становится другим:

```
>> Kint
```

```
Kint =
```

```
0.1834
```


Оно отличается от найденного ранее значения, хотя и незначительно. Укажем, что удаление графиков процессов в окне блока **NCD Output** производится с помощью команды меню **Edit | Delete plots** (или одновременно нажатием клавиш **Ctrl+X**).

6. Меню окна блока NCD Output

Кратко остановимся на других командах меню окна блока **NCD Output**. Меню **File** (Файл) содержит стандартные команды **Load** (Загрузить), **Close** (Закрыть), **Save** (Сохранить) и **Print** (Печатать). Действия, выполняемые при выборе любой из данных команд, относятся к графикам заданных временных ограничений, отображаемым в основном окне рассматриваемого блока.

Меню **Edit** (Правка) содержит уже рассмотренные команды **Edit constraint** и **Delete plots**, а также команду **Undo** (Отменить), производящую отмену последнего действия. Меню **Options** (Настройка) содержит следующие команды:

- *Initial response* (Начальный отклик). Выбор данной команды приводит к выводу (в основном окне блока **NCD Output**) отклика исследуемой системы при начальных значениях ее параметров.
- *Reference input* (Задающий вход). Выбор данной команды приводит к открытию диалогового окна (рис. 13), в котором при желании - для вывода соответствующего графика - можно указать параметры входного задающего сигнала системы. Никакого влияния на процессы моделирования и оптимизации данные параметры не оказывают (на рис. 4.13 показаны установки по умолчанию).

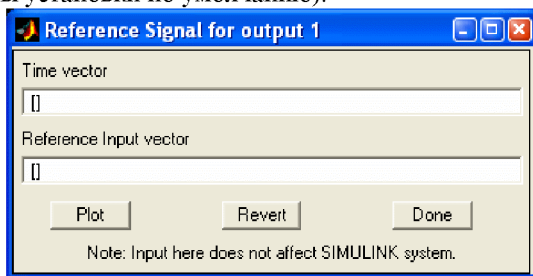


Рис. 13. Окно ввода параметров задающего воздействия

- *Step response* (Характеристики переходного процесса). Выбор этой команды приводит к открытию диалогового окна, показанного на рис. 4.14 в котором задаются параметры переходного процесса, такие как его длительность (Settling time), время нарастания (Rise time) максимальное перерегулирование (Percent overshoot), максимальное

«недорегулирование» (Percent undershoot), соответствующие уровни определения данных характеристик (Percent settling и Percent rise, в процентах), а также начальное и конечное время моделирования (Step time и Final time), желаемые начальное и конечное значения выхода (Initial output и Final output). Все эти параметры пользователь может изменять.

| Input step response characteristics. | | | |
|--------------------------------------|----|--------------------|----|
| Settling time | 15 | Rise time | 5 |
| Percent settling | 5 | Percent rise | 90 |
| Percent overshoot | 20 | Percent undershoot | 1 |
| Step time | 0 | Final time | 50 |
| Initial output | 0 | Final output | 1 |

Done Revert Help

Рис. 14. Окно задания характеристик переходного процесса

- *Time range* (Временной диапазон). Выбор данной команды приводит к открытию диалогового окна, показанного на рис.15, в котором можно задать или изменить диапазон времени моделирования и метку оси времени, то есть параметры оси абсцисс.

Time axis limits for Figure: System: ncdtut1, Output: 1

Time axis limits [tmin tmax]

[0 50]

Time axis label

Time [s]

Done

Рис. 15. Окно задания временного диапазона графика

- *Y-Axis* (Ось Y). То же, что и для предыдущей команды, но по отношению к оси ординат (рис. 16).
- *Refresh* (Обновить) – перерисовать все временные ограничения.

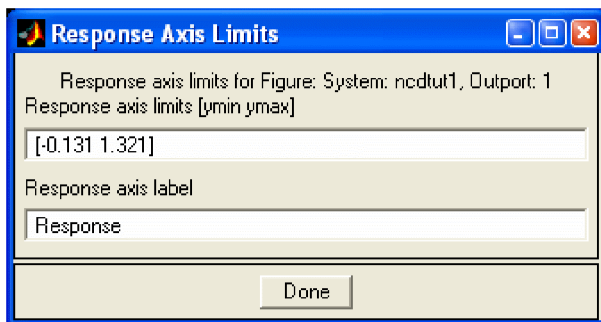


Рис. 16. Окно задания диапазона значений оси ординат

Меню Optimization (Оптимизация) содержит рассмотренные ранее команды Parameters и Uncertainty, а также команду Start (Старт), выбор которой запускает процесс моделирования и оптимизации системы (это аналогично нажатию кнопки Start в окне Simulink или кнопки Start в панели кнопок в нижней части окна блока NCD Output). Команда Stop (Стоп) останавливает процесс моделирования (аналогичное действие выполняется при нажатии кнопки Stop в панели кнопок блока NCD Output).

Наконец, последним является меню Style (Стиль). Здесь имеются следующие команды:

- Grid (Сетка) – установка сетки на графике заданных ограничений;
- Snap (Привязка) – при установке данного режима линии временных ограничений можно проводить не под любым углом к оси абсцисс, а только под углом, кратным $22,5^\circ$;
- Hot-key help (Горячие клавиши) – вывод информации о «горячих» клавишах и их комбинациях;
- Readme.m (Файл справки) – вывод файла справки об окне блока NCD Output.

Из пяти кнопок панели, расположенной в нижней части окна рассматриваемого блока, четыре (Start, Stop, Help и Close) в дополнительных пояснениях не нуждаются. Что же касается пятой кнопки Split (Расщепить), то ее нажатие, при предварительном выборе с помощью левой кнопки мыши какой-либо ограничивающей линии, приводит к «расщеплению» этой линии на две одинаковые по длине половинки с возможностью последующего редактирования отдельно каждой из них.

7. Задание по вариантам

Оптимизация коэффициента передачи И-регулятора

Найти оптимальный коэффициент передачи И-регулятора по методике, описанной выше

Таблица 1

| № варианта | Задание 1. При постоянных параметрах объекта | | | | Задание 2. При неопределенных параметрах объекта | | |
|------------|--|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--|---------------|----------------|
| | Параметры объекта и начальная настройка регулятора | Максимальное перерегулирование, % | Время нарастания, с | Длительность переходного процесса, с | Изменяющиеся коэффициенты | Нижний предел | Верхний предел |
| 1. | w0=1.2 zeta=1.2 Kint=0.1 | 10 | 10 | 30 | zeta | -7% | +7% |
| | | | | | w0 | 1 | 1.5 |
| 2. | w0=2.2 zeta=1.4 Kint=0.4 | 15 | 7 | 35 | zeta | -1% | +1% |
| | | | | | w0 | 2.1 | 2.4 |
| 3. | w0=4.5 zeta=0.4 Kint=0.5 | 8 | 10 | 25 | zeta | -5% | +5% |
| | | | | | w0 | 3.7 | 4.8 |
| 4. | w0=3.8 zeta=1.7 Kint=0.1 | 20 | 5 | 40 | zeta | -6% | +6% |
| | | | | | w0 | 3.4 | 4.1 |
| 5. | w0=3.8 zeta=1.7 Kint=0.1 | 5 | 15 | 45 | zeta | -10% | +10% |
| | | | | | w0 | 3.5 | 4.3 |
| 6. | w0=7.1 zeta=0.8 Kint=0.2 | 7 | 10 | 30 | zeta | -20% | +20% |
| | | | | | w0 | 6.5 | 8.1 |
| 7. | w0=13.5 zeta=5.7 Kint=0.5 | 10 | 20 | 40 | zeta | -15% | +15% |
| | | | | | w0 | 12.4 | 14.1 |

| | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|----|----|----|------|------|------|
| 8. | w0=7.4 zeta=4.2 Kint=0.1 | 5 | 7 | 30 | zeta | -8% | +8% |
| | | | | | w0 | 6.4 | 8.1 |
| 9. | w0=8.4 zeta=10.5 Kint=0.08 | 15 | 20 | 40 | zeta | -15% | +15% |
| | | | | | w0 | 7.4 | 9.1 |
| 10. | w0=15.7 zeta=2.6 Kint=0.1 | 5 | 15 | 45 | zeta | -8% | +8% |
| | | | | | w0 | 13.4 | 16.1 |
| 11. | w0=3.1 zeta=1.9 Kint=0.05 | 12 | 8 | 25 | zeta | -10% | +10% |
| | | | | | w0 | 2.4 | 5.1 |
| 12. | w0=9.1 zeta=5.4 Kint=0.35 | 7 | 12 | 30 | zeta | -8% | +8% |
| | | | | | w0 | 8.4 | 10.1 |
| 13. | w0=2.8 zeta=1.9 Kint=0.4 | 18 | 10 | 45 | zeta | -15% | +15% |
| | | | | | w0 | 2.4 | 3.1 |
| 14. | w0=10.8 zeta=1.2 Kint=0.8 | 25 | 15 | 40 | zeta | -20% | +20% |
| | | | | | w0 | 9.4 | 11.5 |

8. Контрольные вопросы

1. Назначение пакета Nonlinear Control Design Blockset. Его возможности.
2. Описание блоков NCD. Их назначение.
3. Блок NCD Output. Назначение, параметры.
4. Правила работы с пакетом NCD.
5. Процесс построения модели замкнутой системы автоматического регулирования в Simulink. Настройки используемых блоков.
6. Задание параметров объекта и начальной настройки регулятора.
7. Процесс настройки ограничений, накладываемых на переходную функцию.
8. Процесс задания оптимизируемых параметров и интервала дискретизации.

9. Процесс оптимизации при постоянных параметрах объекта.
10. Процесс оптимизации при неопределенных параметрах объекта.
11. Команды меню блока NCD Output. Назначение, использование.

9. Библиографический список

1. Кривилев А.В. Основы компьютерной математики с использованием системы Matlab. М.: Лекс-Книга, 2005. – 496 с. с ил.
2. Алексеев Е.В. Matlab 7 / Алексеев Е.В., Чеснокова О.В. – М.: НТ Пресс, 2006. – 464 с.: ил. – (Самоучитель).
3. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7 самоучитель: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
4. Кириянов Д. В. Самоучитель Mathcad 12: БХВ-Петербург, 2004. – 576 с.
5. Компьютерный практикум по курсу “теория управления” (Simulink – моделирование в среде Matlab) А.И. Данилов, Московский государственный университет пищевых производств. ([http://www. exponenta.ru](http://www.exponenta.ru))
6. И.В.Черных. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем". . (<http://www. exponenta.ru>)
7. <http://matlab.exponenta.ru/default.php>
8. Дьяконов В.П. Компьютерная математика: теория и практика. М.: Нолидж, 2001.
9. Дьяконов В.П. Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. Спб: Питер, 2002.
10. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. Спб: Питер, 2002.

Учебное издание

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
СИНТЕЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ САПР
SIMULINK. ПАКЕТ NONLINEAR CONTROL DESIGN (NCD).
ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ
КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ И-РЕГУЛЯТОРА**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Автоматизация проектирования систем и средств управления»
Для бакалавров направления 220400

Составители ТИХОМИРОВ Сергей Германович,
ХРОМЫХ Елена Алексеевна,
МОТОРИН Максим Леонидович

Компьютерный набор и верстка Е.А. Хромых, М.Л. Моторин

Подписано в печать
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Ризография.
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 100 экз. Заказ С.–
Воронежская государственная технологическая академия (ВГТА)
Участок оперативной полиграфии ВГТА
Адрес академии и участка оперативной полиграфии:
394000 Воронеж, пр. Революции, 19