

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Институт инноватики
Факультет инновационных технологий

Отделение кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии»

Методические указания
для проведения лабораторных занятий
по дисциплине **«Информационные системы в мехатронике и робототехнике»**
по направлению 221000.68 «Мехатроника и робототехника»
Магистерская программа «Проектирование и исследование мультикоординатных
электромехатронных систем движения»

Методические указания по направлению 221000.68 «Мехатроника и робототехника»
Магистерская программа «Проектирование и исследование мультикоординатных
электромехатронных систем движения» рассмотрены и утверждены на заседании Отделения кафедры
ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии» 30 августа 2012 г., протокол № 8.

Разработчики:
Преподаватель ОКЮ

С.В. Комзолов

СОГЛАСОВАНО:

Зав. профилирующей каф.УИ

_____ А.Ф.Уваров

Зав. выпускающим

Отделением кафедры ЮНЕСКО

_____ Ю.М.Осипов

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия направлены на закрепление и расширение знаний, полученных на лекциях; объем занятий - 15 часов.

Лабораторные занятия по курсу, направлены на укрепление знаний об информационных системах, применяемых в области мехатроники и робототехники для управления и автоматизации с использованием компьютера.

Предусмотрен контроль полученных знаний в объеме, предусмотренном рейтинговой раскладкой для данной дисциплины (см. приложение А). Контроль проводится в виде отчета о проделанной работе на лабораторном занятии (пример оформления см. Приложение Б).

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1 Подготовка к лабораторным работам

Подготовка к лабораторному занятию производится с использованием конспектов лекций. Вначале работы необходимо ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит ее основная цель и задача.

Изучить теоретический материал, относящийся к данной лабораторной работе, по соответствующим литературным источникам.

До проведения лабораторных работ выполнить подготовку, включающую изучение схем, порядка выполнения работы, правил техники безопасности.

2 Требования к выполнению лабораторных работ

К выполнению лабораторной работы допускаются только подготовившиеся к этой работе студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Перед началом работы ознакомиться с оборудованием и приборами, предназначенными для проведения лабораторной работы. Результаты выполнения лабораторной работы заносятся каждым студентом в отчет.

После выполнения лабораторной работы результаты предъявляются для проверки преподавателю.

После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в надлежащий порядок.

В течение всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятий студенты могут только с разрешения преподавателя.

3 Требования к отчетам по лабораторным работам

При составлении отчета по лабораторной работе необходимо руководствоваться следующими положениями:

В отчете должны быть указаны порядковый номер и название лабораторной работы, а также кратко сформулирована цель работы.

Схемы, графики и другие графические материалы должны быть выполнены на персональном компьютере.

Студенты, не предъявившие в начале лабораторного занятия оформленного отчета по предыдущей работе, к выполнению следующей не допускаются.

Пример оформления отчета см. в приложении Б. Шаблон отчета в приложении В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Цели работы

- освоение методов анализа одномерной линейной непрерывной системы с помощью среды MATLAB

Задачи работы

- ввести модель системы в виде передаточной функции
- построить эквивалентные модели в пространстве состояний и в форме «нули-полюса»
- определить коэффициент усиления в установившемся режиме и полосу пропускания системы
- научиться строить импульсную и переходную характеристики, карту расположения нулей и полюсов, частотную характеристику
- научиться использовать окно **LTIViewer** для построения различных характеристик
- научиться строить процессы на выходе линейной системы при произвольном входном сигнале

Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды MATLAB. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Инструкция по выполнению работы

Основная часть команд вводится в командном окне среды MATLAB. Команды, которые надо применять в других окнах, обозначены иконками соответствующих программ.

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
1. Очистите рабочее пространство MATLAB (память).	<code>clear all</code>
2. Очистите окно MATLAB.	<code>clc</code>
3. Посмотрите краткую справку по команде tf .	<code>help tf</code>
4. Определите адрес файла, который выполняет эту команду.	<code>which('tf')</code>

5. Введите передаточную функцию ¹ $F(s) = \frac{n_2 s^2 + n_1 s + n_0}{s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + d_0}$ как объект tf .	<pre>n = [n2 n1 n0] d = [1 d2 d1 d0] f = tf (n, d)</pre>
6. Проверьте, как извлечь из этого объекта числитель и знаменатель передаточной функции.	<pre>[n1,d1] = tfdata (f, 'v')</pre>
7. Найдите нули и полюса передаточной функции.	<pre>z = zero (f) p = pole (f)</pre>
8. Найдите коэффициент усиления звена в установившемся режиме.	<pre>k = dcgain (f)</pre>
9. Определите полосу пропускания системы (наименьшую частоту, на которой АЧХ становится меньше, чем -3 дБ).	<pre>b = bandwidth (f)</pre>
10. Постройте модель системы в пространстве состояний.	<pre>f_ss = ss (f)</pre>
11. Сделайте так, чтобы коэффициент прямой передачи звена был равен 1.	<pre>f_ss.d = 1</pre>
12. Найдите новый коэффициент усиления звена в установившемся режиме.	<pre>k1 = dcgain (f_ss)</pre>
13. Как связаны коэффициенты k и k_1 ? Почему?	
14. Постройте модель исходной системы в форме «нули-полюса».	<pre>f_zp = zpk (f)</pre>
15. Проверьте, какие переменные есть в рабочем пространстве.	<pre>who</pre> или <pre>whos</pre> (в чем разница?)
16. Постройте на графике расположение нулей и полюсов системы.	<pre>pzmap (f)</pre>
17. Определите коэффициенты демпфирования и собственные частоты для всех элементарных звеньев (первого и второго порядка).	<pre>[wc,ksi,p] = damp (f)</pre>
18. Запустите модуль LTIViewer .	<pre>ltiview</pre>
19. Загрузите модель f .	 LTI Viewer File - Import
20. Постройте импульсную характеристику (весовую функцию) этой системы.	 LTI Viewer ПКМ - Plot Types - Impulse
21. Загрузите модель f_{ss} .	 LTI Viewer File - Import

¹ Все коэффициенты надо взять из таблицы в конце файла.

22. Проверьте, построена ли импульсная характеристика второй системы?	 ПКМ - Systems
23. Отключите систему f . Почему одинаковы построенные импульсные характеристики разных систем?	 ПКМ - Systems
24. Подключите обе системы.	 ПКМ - Systems
25. Постройте переходные характеристики систем.	 ПКМ - Plot Types - Step
26. Сделайте, чтобы на графике для каждой функции были отмечены: <ul style="list-style-type: none"> • максимум • время переходного процесса² • время нарастания (от 10% до 90% установившегося значения) • установившееся значение 	 ПКМ - Characteristics: <ul style="list-style-type: none"> • Peak Response • Settling Time • Rise Time • Steady State
27. Щелкая мышью по меткам-кружкам, выведите на экран рамки с численными значениями этих параметров и расположите их так, чтобы все числа были видны.	
28. Экпортируйте построенный график в отдельное окно.	 File - Print to Figure
29. Скопируйте график в буфер обмена в формате векторного метафайла.	print -dmeta
30. Вставьте график из буфера обмена в отчет (<i>Microsoft Word</i>).	 ПКМ - Вставить
31. Закройте окно LTIViewer .	
32. Создайте массив частот для построения частотной характеристики ³ (100 точек в интервале от 10^{-1} до 10^2 с равномерным распределением на логарифмической шкале).	<code>w = logspace(-1, 2, 100);</code>
33. Рассчитайте частотную характеристику исходной системы ⁴ ...	<code>r = freqresp (f, w);</code> <code>r = r (:);</code>

² По умолчанию в MATLAB время переходного процесса определяется для 2%-ного отклонения от установившегося значения.

³ Точка с запятой в конце команды подавляет вывод на экран результата выполнения. Это удобно при работе с большими массивами.

⁴ Частотная характеристика возвращается в виде трехмерного массива, в котором каждый элемент имеет 3 индекса: строка, столбец (для многомерных моделей) и номер точки частотной характеристики. Для системы с одним входом и одним выходом команда `r = r (:);` преобразует эти данные в обычный одномерный массив.

34. ... и постройте ее на осях с логарифмическим масштабом по оси абсцисс.	<code>semilogx (w, abs(r))</code>
35. Скопируйте график в буфер обмена в формате векторного метафайла.	<code>print -dmeta</code>
36. Вставьте график из буфера обмена в отчет (<i>Microsoft Word</i>). Объясните, где на графике можно найти коэффициент усиления в статическом режиме и как определить полосу пропускания системы.	 ПКМ - Вставить
37. Закройте все лишние окна, кроме командного окна MATLAB.	
38. Постройте сигнал, имитирующий прямоугольные импульсы единичной амплитуды с периодом 4 секунды (всего 5 импульсов).	<code>[u,t] = gensig('square',4);</code>
39. Выполните моделирование и постройте на графике сигнал выхода системы f при данном входе.	<code>lsim (f, u, t)</code>
40. Скопируйте график в буфер обмена в формате векторного метафайла.	<code>print -dmeta</code>
41. Вставьте график из буфера обмена в отчет (<i>Microsoft Word</i>).	 ПКМ - Вставить

Таблица коэффициентов

Вариант	n_2	n_1	n_0	d_2	d_1	d_0
1.	1.0	1.10	0.100	3.0000	3.1600	1.2000
2.	1.1	1.54	0.495	2.8000	2.9200	1.2000
3.	1.2	1.08	0.096	2.3727	2.2264	0.9091
4.	1.3	1.04	0.091	2.1909	2.0264	0.9091
5.	1.4	- 1.54	0.252	1.8333	1.5278	0.6944
6.	1.5	- 0.90	0.240	1.6667	1.3611	0.6944
7.	1.6	0.80	0.224	1.3286	0.8959	0.4592
8.	1.7					

		1.36	0.204	1.1857	0.7673	0.4592
9.	1.8	- 1.98	0.432	1.2000	0.7644	0.3556
10.	1.9	- 0.76	- 0.399	1.3333	0.8711	0.3556
11.	2.0	0.60	- 0.360	1.2000	0.7406	0.2734
12.	2.1	1.68	0.315	1.3250	0.8281	0.2734
13.	2.2	- 2.42	0.616	1.3059	0.7696	0.2076
14.	2.3	- 0.46	- 0.552	1.4235	0.8401	0.2076
15.	2.4	0.24	- 0.480	1.3889	0.7531	0.1543
16.	2.5	2.25	0.500	1.5000	0.8086	0.1543
17.	2.6	0.26	- 0.780	1.2421	0.6139	0.1108
18.	2.7	- 0.27	- 0.810	1.1368	0.5717	0.1108
19.	2.8	0.28	- 0.840	0.8000	0.3700	0.0500
20.	2.9	3.19	0.870	0.7000	0.3500	0.0500

Контрольные вопросы к защите

1. Что такое

- передаточная функция
- нули и полюса передаточной функции
- импульсная характеристика (весовая функция)
- переходная функция
- частотная характеристика
- модель в пространстве состояний
- модель вида «нули-полюса»
- коэффициент усиления в статическом режиме
- полоса пропускания системы
- время переходного процесса
- частота среза системы
- собственная частота колебательного звена

- коэффициент демпфирования колебательного звена
- В каких единицах измеряются
 - коэффициент усиления в статическом режиме
 - полоса пропускания системы
 - время переходного процесса
 - частота среза системы
 - собственная частота колебательного звена
 - коэффициент демпфирования колебательного звена
 - Как связана собственная частота с постоянной времени колебательного звена?
 - Может ли четверка матриц

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ -1 & -3 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [\quad 2,] D = 0$$

быть моделью системы в пространстве состояний? Почему? Какие соотношения между матрицами должны выполняться в общем случае?

- Как получить краткую справку по какой-либо команде MATLAB?
- В чем разница между командами MATLAB
who и whos clear all и clc
- Как ввести передаточную функцию $F(s) = \frac{2s+3}{s^2+4s+5}$?
- Как влияет изменение коэффициента прямой передачи (матрицы D в модели в пространстве состояний) на статический коэффициент усиления?
- Какие возможности предоставляет модуль **LTIViewer**?
- Что можно сказать об импульсной характеристике системы f_{ss} ? Почему она не была построена верно?
- Как найти
 - коэффициент усиления в установившемся режиме по АЧХ
 - полосу пропускания системы по АЧХ
- Как скопировать график из окна MATLAB в другую программу?
- Как построить массив из 200 значений в интервале от 10^{-3} до 10^3 с равномерным распределением на логарифмической шкале?
- Какие величины откладываются по осям на графике АЧХ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Цели работы

- освоение методов проектирования регулятора для одномерной линейной непрерывной системы с помощью среды MATLAB

Задачи работы

- научиться строить модели соединений линейных звеньев

- научиться использовать модуль **SISOTool** для проектирования простейших регуляторов

Оформление отчета

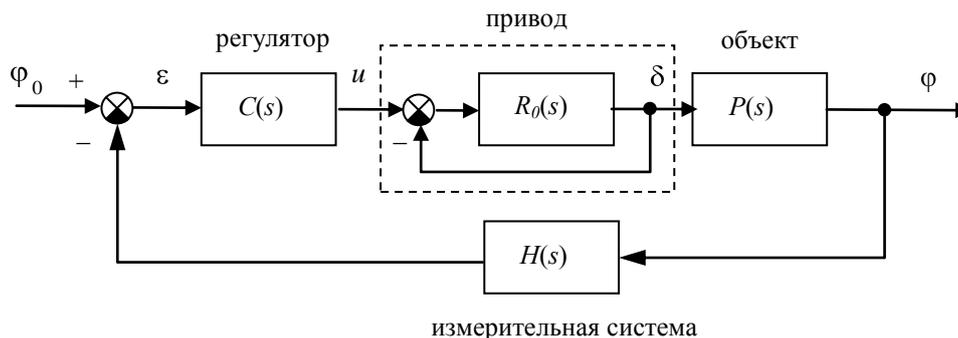
Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды МАТЛАВ. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Описание системы

В работе рассматривается система стабилизации судна на курсе. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\varphi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где φ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Привод (рулевая машина) приближенно моделируется как интегрирующее звено

$$R_0(s) = \frac{1}{T_R s},$$

охваченное единичной отрицательной обратной связью.

Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией⁵

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1},$$

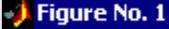
Инструкция по выполнению работы

Основная часть команд вводится в командном окне среды MATLAB. Команды, которые надо применять в других окнах, обозначены иконками соответствующих программ.

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
42. Введите передаточную функцию модели судна $P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}$ как объект tf .	<code>P = tf (K, [Ts 1 0])</code>
43. Введите передаточную функцию интегрирующего звена $R_0(s) = \frac{1}{T_R s}$.	<code>R0 = tf (1, [TR 0])</code>
44. Постройте передаточную функцию рулевого устройства, замкнув интегратор единичной отрицательной обратной связью.	<code>R = feedback (R0, 1)</code>
45. Постройте передаточную функцию последовательного соединения объекта с приводом.	<code>G = P * R</code>
46. Постройте переходную характеристику для полученной модели и скопируйте ее в отчет через буфер обмена. Объясните, почему функция бесконечно возрастает и стремится к прямой. Каков коэффициент наклона этой прямой? Закройте окно с графиком.	<code>step (G)</code>
47. Постройте передаточную функцию измерительного устройства $H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1}$.	<code>H = tf (1, [Toc 1])</code>
48. Постройте передаточную функцию разомкнутого контура.	<code>L = G * H</code>
49. Постройте ЛАФЧХ разомкнутой системы ⁶ .	<code>bode (L)</code>
50. Отметьте точки, определяющие пересечение ЛАЧХ с прямой 0 дБ и пересечение ЛФЧХ с прямой -180°.	 Figure No. 1 ПКМ - Characteristics - Stability (Minimum Crossing)

⁵ Численные значения K , T_s , T_R и T_{oc} надо взять из таблицы в конце файла.

⁶ В зарубежной литературе ЛАФЧХ называют диаграммой Боде.

<p>51. Определите, является ли замкнутая система устойчивой? Каковы запасы устойчивости по амплитуде (<i>Gain margin</i>) и фазе (<i>Phase margin</i>)? Какой регулятор неявно используется в этом случае? Скопируйте график ЛАФЧХ в отчет.</p>	<p> Figure No. 1 ЛКМ на метках-кружках</p>
<p>52. Найдите максимальный коэффициент усиления разомкнутой системы. Объясните этот результат.</p>	<p> Figure No. 1 ПКМ - Characteristics - Peak Response</p>
<p>53. Закройте окно с ЛАФЧХ и запустите модуль SISOTool.⁷</p>	<p>sisotool</p>
<p>54. Импортируйте передаточную функцию G как модель объекта (<i>Plant</i>) и H как модель датчика (<i>Sensor</i>). Блоки F (предфильтр) и C (регулятор) оставьте без изменений (равными 1).</p>	<p> SISO Design Tool File - Import</p>
<p>55. Отключите изображение корневого годографа так, чтобы в окне осталась только ЛАФЧХ.</p>	<p> SISO Design Tool View - Root Locus (отключить)</p>
<p>56. Для того, чтобы сразу видеть изменения переходных процессов, запустите LTIViewer⁸ из верхнего меню окна SISOTool. Расположите два окна рядом, чтобы они не перекрывали друг друга.</p>	<p> SISO Design Tool Analysis - Response to Step Command</p>
<p>57. Оставьте только график переходного процесса на выходе, отключив вывод сигнала управления.</p>	<p> LTI Viewer ПКМ - Systems - Closed loop r to u</p>
<p>58. Определите перерегулирование σ и время переходного процесса T_p.⁹ Скопируйте график в отчет.</p>	<p> LTI Viewer ПКМ - Characteristics -</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peak Response • Settling Time
<p>59. Перейдите в окно SISOTool. Определите коэффициент усиления, при котором перерегулирование примерно равно 10%. Как изменилось время переходного процесса? Каковы запасы устойчивости в этом случае? Скопируйте график в отчет.</p>	<p> SISO Design Tool перетаскивание мышью ЛАЧХ, редактирование в поле <i>Current Compensator</i></p>

⁷ SISO = Single Input Single Output, система с одним входом и выходом.

⁸ LTI = Linear Time-Invariant, линейная стационарная система.

⁹ По умолчанию в Matlab время переходного процесса определяется для 2%-ного отклонения от установившегося значения.

<p>60. Перейдите в окно среды MATLAB и введите передаточную функцию пропорционально-дифференциального (ПД) регулятора</p> $C_{pd}(s) = 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек,}$ <p>а T_s – постоянная времени судна.</p>	$\text{Cpd} = 1 + \text{tf}([Ts \ 0], [Tv \ 1])$
<p>61. Перейдите в окно SISOTool. Импортируйте регулятор C_{pd} как базовую модель для блока C.</p>	 File - Import, Cpd -> C
<p>62. Определите дополнительный коэффициент усиления, при котором перерегулирование примерно равно 10%. Найдите время переходного процесса и запасы устойчивости. Сравните пропорциональный и ПД-регуляторы. Скопируйте в отчет график переходного процесса.</p>	 перетаскивание мышью ЛАЧХ, редактирование в поле <i>Current Compensator</i>
<p>63. Определите дополнительный коэффициент усиления, при котором время переходного процесса минимально. Скопируйте в отчет график переходного процесса.</p>	 перетаскивание мышью ЛАЧХ, редактирование в поле <i>Current Compensator</i>
<p>64. Экспортируйте полученный регулятор в рабочую область MATLAB.</p>	 File - Export в столбце <i>Export as</i> сменить имя Cpd на C кнопка <i>Export to workspace</i>
<p>65. Постройте передаточную функцию полученной замкнутой системы. Подумайте, почему получилось такое громоздкое выражение. Каков должен быть порядок передаточной функции?</p>	$W = C * G / (1 + C * G * H)$
<p>66. Постройте минимальную реализацию передаточной функции W.</p>	$W = \text{minreal}(W)$
<p>67. Определите полюса передаточной функции замкнутой системы. Что означает близость некоторых полюсов к мнимой оси? Верно ли, что в этом случае будет малый запас устойчивости?</p>	$\text{pole}(W)$
<p>68. Найдите коэффициент усиления системы в установившемся режиме. Объясните результат. Есть ли у такой системы статическая ошибка при отслеживании постоянного сигнала? Почему? А для линейно возрастающего сигнала?</p>	$\text{dcgain}(W)$

69. Как изменится статический коэффициент усиления, если модель датчика примет вид

$$H(s) = \frac{2K_{oc}}{T_{oc}s + 1} ?$$

70. Постройте минимальную реализацию передаточной функции замкнутой системы от входа к сигналу управления (выходу регулятора).

$$W_u = \min_{\text{real}} (C / (1 + C * G * H))$$

71. Постройте изменение сигнала управления при единичном ступенчатом входном сигнале и скопируйте график в отчет. Объясните, почему сигнал управления стремится к нулю.

$$\text{step} (W_u)$$

Таблица коэффициентов

Вариант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
21.	16.0	0.06	1	1
22.	16.2	0.07	2	2
23.	16.4	0.08	1	3
24.	16.6	0.07	2	4
25.	16.8	0.06	1	5
26.	17.0	0.07	2	6
27.	17.2	0.08	1	1
28.	17.4	0.07	2	2
29.	17.6	0.06	1	3
30.	17.8	0.07	2	4
31.	18.0	0.08	1	5
32.	18.2	0.09	2	6
33.	18.4	0.10	1	1
34.	18.6	0.09	2	2
35.	18.8	0.08	1	3
36.	19.0	0.07	2	4
37.	19.2	0.08	1	5
38.	19.4	0.09	2	6
39.	19.6	0.10	1	1
40.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

1. См. все вопросы к работе № 1.
2. Что означают сокращения SISO, LTI?
3. Как получить передаточную функцию по линейным дифференциальным уравнениям системы?
4. Как ввести передаточную функцию в окне MATLAB?
5. С помощью каких операций (функций) строятся в MATLAB модели параллельного и последовательного соединений, системы с обратной связью?
6. Как построить ЛАФЧХ разомкнутой системы?
7. Как определяются запасы устойчивости по амплитуде и по фазе? Что означают эти величины? В каких единицах они измеряются?
8. Какие возможности предоставляет модуль **SISOTool**?
9. Что такое
 - корневой годограф
 - перерегулирование
 - время переходного процесса
10. Как влияет увеличение коэффициента усиления контура на ЛАФЧХ?
11. Почему в дифференцирующей части ПД-регулятора используется дополнительный фильтр в виде апериодического звена с постоянной времени T_v ?
12. Какие преимущества дает использование ПД-регулятора в сравнении с П-регулятором?
13. Как влияет увеличение коэффициента усиления контура на перерегулирование и время переходного процесса?
14. Как найти порядок передаточной функции замкнутой системы, зная характеристики всех ее блоков?
15. Связана ли близость полюсов передаточной функции замкнутой системы к мнимой оси с малым запасом устойчивости?
16. Как зависит статический коэффициент усиления замкнутой системы от характеристик измерительного устройства?
17. Что такое астатическая система? Что такое порядок астатизма?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПАКЕТЕ SIMULINK

Цели работы

- освоение методов моделирования линейных систем в пакете SIMULINK

Задачи работы

- научиться строить и редактировать модели систем управления в пакете SIMULINK
- научиться изменять параметры блоков
- научиться строить переходные процессы
- научиться оформлять результаты моделирования
- изучить метод компенсации постоянных возмущений с помощью ПИД-регулятора

Оформление отчета

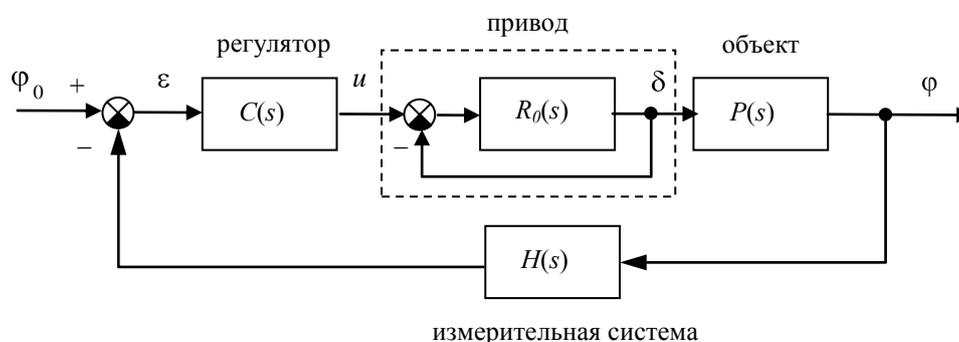
Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды MATLAB. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Описание системы

В работе рассматривается система управления судном по курсу. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\phi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где ϕ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Привод (рулевая машина) приближенно моделируется как интегрирующее звено, охваченное единичной отрицательной обратной связью, так что его передаточная функция равна

$$R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}.$$

Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде аperiodического звена первого порядка с передаточной функцией¹⁰

¹⁰ Численные значения K , T_s , T_R и T_{oc} надо взять из таблицы в конце файла. Они должны совпадать с данными, которые использовались Вами в лабораторной работе № 2.

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1}.$$

Исследуются переходные процессы в системе при использовании ПД-регулятора

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right),$$

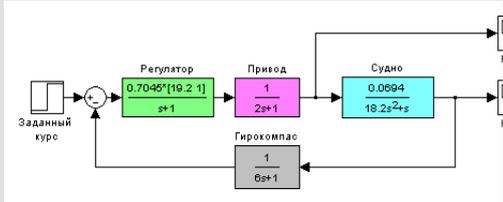
и ПИД-регулятора

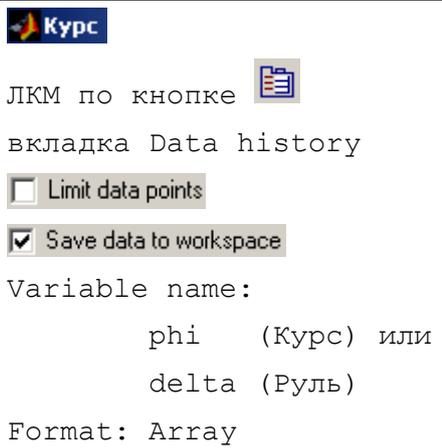
$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}.$$

Инструкция по выполнению работы

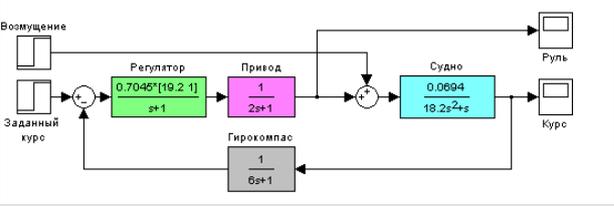
Этап выполнения задания	Команды MATLAB
72. Для запуска пакета SIMULINK щелкните по кнопке  в командном окне MATLAB или введите команду simulink в командной строке.	simulink
73. Создайте новую модель с помощью верхнего меню открывшегося окна <i>Simulink Library Browser</i> .	 Simulink Library Browser File - New - Model
74. Перетащите блок Transfer Fcn (передаточная функция) из окна <i>Simulink Library Browser</i> (группа Continuous) в окно модели и введите числитель и знаменатель передаточной функции модели судна.	Двойной щелчок на блоке a. Numerator [K] b. Denominator [Ts 1 0]
75. Дайте блоку название Судно .	ЛКМ на имени блока
76. Аналогично добавьте еще три блока типа Transfer Fcn , назовите их Привод , Регулятор и Гирокомпас , введите нужные параметры. Заметьте, что передаточная функция привода должна быть $R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}$ с учетом внутренней обратной связи.	
77. Сохраните модель в своей папке под именем lab3.mdl ¹¹ .	File - Save
78. Выделите блок Гирокомпас и разверните его в другую сторону.	Нажать Ctrl+I или дважды нажать Ctrl+R.
79. Сделайте, чтобы названия блоков Судно , Привод и Регулятор были над блоками.	ПКМ на блоке, Format - Flip name
80. Выберите цвет блоков на свой вкус.	ПКМ на блоке, Format - Background color
81. Перетащите в окно модели блок Sum из группы Math Operations и установите его слева от регулятора.	ЛКМ

¹¹ Все файлы моделей в пакете SIMULINK имеют расширение **.mdl**.

82. Сделайте так, чтобы второй вход учитывался в сумме со знаком минус (отрицательная обратная связь).	Двойной щелчок на блоке, ввести $ +-$ в поле List of signs
83. Перетащите в окно модели блок Step из группы Sources и установите его слева от сумматора. Дайте ему имя Заданный курс .	
84. Установите время подачи сигнала 0 и величину сигнала 10 (исследуем поворот на 10 градусов).	Двойной щелчок на блоке, 0 в поле Step time 10 в поле Final value
85. Соедините все блоки нужным способом.	ЛКМ на источнике, удерживать Ctrl и ЛКМ на приемнике, или протащить ЛКМ от выхода одного блока к входу другого
86. Перетащите в окно модели два блока Scope (осциллограф) из группы Sinks и установите их в правой части. Назовите их Руль и Курс .	
87. Сделайте, чтобы на первый блок Scope поступал сигнал управления (угол поворота руля, после блока Привод), а на второй – сигнал выхода (курс судна). Сохраните модель.	Нажать ПКМ на линии в точке отбора сигнала, затем, не отпуская ПКМ, тащить линию к входу блока.
88. Уменьшите окно до минимального размера, при котором видны все элементы, и скопируйте модель в буфер обмена. Затем вставьте ее из буфера обмена в отчет.	 <p>lab3 Edit - Copy model to clipboard</p>
89. Установите время моделирования 100 секунд.	lab3 Simulation - Simulation parameters 100 в поле Stop time
90. Выполните моделирование.	lab3 ЛКМ по кнопке 
91. Посмотрите результаты моделирования, открыв окна для блоков Курс и Руль .	lab3 Двойной щелчок по блоку
92. Настройте масштаб по осям в окнах обоих блоков,	 ЛКМ по кнопке  - установить оптимальный масштаб
93. Сохраните настройки,	 ЛКМ по кнопке 

<p>94. Сделайте так, чтобы результаты моделирования передавались с обоих блоков Scope в рабочую область MATLAB в виде матриц, в которых первый столбец – время, а второй – сигнал (курс или угол поворота руля).</p>	
<p>95. Выполните моделирование еще раз.</p>	
<p>96. Перейдите в командное окно MATLAB и создайте новое окно для графика. В одном окне будут построены две кривых на разных осях.</p>	<pre>figure(1);</pre>
<p>97. Разбейте окно на 2 части по вертикали и сделайте активным первый график. Первое число в команде subplot означает количество ячеек с графиками по вертикали, второе – по горизонтали, третье – номер ячейки, которую надо сделать активной¹².</p>	<pre>subplot(2, 1, 1);</pre>
<p>98. Постройте график изменения курса. В команде plot сначала указывают массив абсцисс, затем – массив ординат. Двоеточие означает, что используются все строки.</p>	<pre>plot(phi(:,1),phi(:,2));</pre>
<p>99. Введите заголовок графика.</p>	<pre>title('Курс');</pre>
<p>100. Введите названия осей координат. Внутри апострофов для ввода греческих букв разрешается использовать команды LaTeX, Например, «\phi» означает греческую букву ϕ, а «\delta» – букву δ.</p>	<pre>xlabel('Время, сек'); ylabel('\phi, градусы');</pre>
<p>101. Аналогично постройте во второй ячейке график изменения угла поворота руля, используя данные из массива delta, полученного в результате моделирования.</p>	<pre>subplot(2, 1, 2); plot(delta(:,1),delta(:,2)) ; title('Угол поворота руля'); xlabel('Время, сек'); ylabel('\delta, градусы');</pre>
<p>102. Скопируйте построенный график в отчет.</p>	<pre>print -dmeta</pre>

¹² При вводе этой и следующих команд окно с графиком не появляется на экране. Чтобы увидеть изменения, надо вручную сделать его активным, щелкнув мышью на соответствующей кнопке в панели задач.

<p>103. Удалите в окне модели связь между приводом и объектом.</p>	 ЛКМ по линии, нажать Delete.
<p>104. Добавьте еще один блок Sum из группы Math Operations и установите его на освободившееся место. Настройте расположение входов и выхода так, чтобы первый вход был в верхней части круга..</p>	 Двойной щелчок по блоку ++ в поле List of signs
<p>105. Исследуем реакцию системы на постоянный сигнал, приложенный непосредственно к входу объекта. Он может моделировать какое-то постоянное возмущающее воздействие, например, влияние ветра.</p>	
<p>106. Скопируйте блок Заданный курс, перетащив его правой кнопкой мыши, и установите для него величину скачка 2 градуса. Дайте ему название Возмущение. Подключите его выход к новому сумматору. Достройте нужные соединительные линии.</p>	 Перетаскивание ПКМ. Двойной щелчок по блоку 2 в поле Final Value Двойной щелчок по имени
<p>107. Скопируйте полученную модель в отчет.</p> 	 Edit - Copy model to clipboard
<p>108. Увеличьте время моделирования до 500 и выполните моделирование. Проверьте, вышло ли судно на заданный курс 10 градусов.</p>	 Simulation - Simulation parameters - Stop time ЛКМ по кнопке 
<p>109. Постройте передаточную функцию по возмущению замкнутой системы с ПД-регулятором. С ее помощью объясните результат, полученный на предыдущем шаге.</p>	
<p>110. Для этой передаточной функции вычислите коэффициент усиления в установившемся режиме. С его помощью рассчитайте установившееся значение сигнала выхода при заданном курсе 10 градусов и постоянном возмущении, эквивалентном 2 градусам поворота руля. Совпадает ли это число с результатами моделирования?</p>	
<p>111. Перейдите в командное окно MATLAB и запомните результаты моделирования в новых массивах. Они понадобятся для того, чтобы сравнить исходный и скорректированный варианты системы.</p>	<pre>phi0 = phi; delta0 = delta;</pre>

<p>112. Чтобы регулятор компенсировал постоянную составляющую возмущения, надо добавить в него интегральный канал. Таким образом, получается ПИД-регулятор. Подключите параллельно регулятору интегрирующее звено с передаточной функцией $\frac{1}{T_i s}$, $T_i = 200$ сек. Сохраните модель и скопируйте ее в отчет.</p>	
<p>113. Выполните моделирование. Проверьте, вышло ли судно на заданный курс 10 градусов.</p>	 <p>ЛКМ по кнопке </p>
<p>114. Постройте передаточную функцию по возмущению замкнутой системы с ПИД-регулятором. С ее помощью объясните результат, полученный на предыдущем шаге.</p>	<p>115. Для этой передаточной функции вычислите коэффициент усиления в установившемся режиме. С его помощью рассчитайте установившееся значение сигнала выхода. Совпадает ли это число с результатами моделирования?</p>
<p>116. Постройте в верхней части графика 2 кривых – переходные процессы по курсу для ПД- и ПИД-регуляторов. В команде plot можно перечислять несколько пар массивов – первая пара соответствует первому графику, вторая – второму и т.д. Три точки в конце строки означают перенос команды на следующую строку. Команда legend служит для вывода легенды – символьных строк, описывающих каждый из построенных графиков.</p>	<pre>subplot(2, 1, 1); plot(phi0(:,1), phi0(:,2),... phi(:,1), phi(:,2)); title('Курс'); xlabel('Время, сек'); ylabel('\phi, градусы'); legend('ПД-регулятор', ... 'ПИД-регулятор');</pre>
<p>117. Аналогично постройте в нижней части графика 2 кривых – изменение угла перекладки руля для ПД- и ПИД-регуляторов, используя данные из массивов delta0 и delta.</p>	<p>118. Скопируйте построенный график в отчет через буфер обмена. Сделайте выводы о влиянии интегрального канала на переходные процессы в системе.</p>
<p>119. Постройте передаточную функцию разомкнутой системы с ПИД-регулятором.</p>	<p>120. Определите запасы устойчивости системы с ПИД-регулятором. Являются ли они достаточными?</p> <pre>[gm,phim] = margin(W) gm = 20*log10(gm)</pre>

Таблица коэффициентов

Ва риант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
41.	16.0	0.06	1	1
42.	16.2	0.07	2	2
43.	16.4	0.08	1	3
44.	16.6	0.07	2	4
45.	16.8	0.06	1	5
46.	17.0	0.07	2	6
47.	17.2	0.08	1	1
48.	17.4	0.07	2	2
49.	17.6	0.06	1	3
50.	17.8	0.07	2	4
51.	18.0	0.08	1	5
52.	18.2	0.09	2	6
53.	18.4	0.10	1	1
54.	18.6	0.09	2	2
55.	18.8	0.08	1	3
56.	19.0	0.07	2	4
57.	19.2	0.08	1	5
58.	19.4	0.09	2	6
59.	19.6	0.10	1	1
60.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

1. См. все вопросы к работам № 1 и № 2.
2. Как найти передаточную функцию интегратора, охваченного обратной связью?
3. Как запустить пакет SIMULINK?
4. Что такое *Library Browser*?
5. Какое расширение имеют файлы – модели SIMULINK?
6. Как создать новую модель?
7. Как соединить два блока, имеющих соответственно свободный выход и свободный вход?
8. Как сделать, чтобы один и тот же сигнал поступал на несколько блоков?
9. Как передать результаты моделирования в рабочую область MATLAB? В каком виде они передаются?
10. Как удалить блок или связь между блоками?
11. Как определить нужные масштабы для осей координат в окнах **Scope** и запомнить их?

12. Как скопировать блок в окне модели?
13. Как изменить знаки арифметических действий в сумматоре?
14. Как скопировать изображение модели в документ *Microsoft Word*?
15. Как изменить время моделирования?
16. Как изменить название у блока?
17. Как сделать, чтобы название блока было с другой стороны?
18. Как изменить цвет фона блока? цвет надписи?
19. Как ввести параметры блока **Transfer Fcn** (передаточная функция)?
20. Как найти передаточную функцию системы по возмущению?
21. Почему при использовании ПД-регулятора система не компенсирует постоянное возмущение?
22. Как, зная статический коэффициент усиления по возмущению, определить установившееся отклонение от заданного курса?
23. Какими свойствами должна обладать передаточная функция по возмущению для того, чтобы постоянное возмущение полностью компенсировалось?
24. Какими свойствами должен обладать регулятор для того, чтобы постоянное возмущение полностью компенсировалось?
25. Какие преимущества дает использование интегрального канала в ПИД-регуляторе?
26. Почему порядок передаточной функции замкнутой системы по возмущению с ПИД-регулятором на 1 больше, чем для системы с ПД-регулятором?
27. Какие параметры принимает команда **subplot**?
28. Что означает двоеточие в записи **phi(:,1)**?
29. Как вывести на график заголовок и названия осей?
30. Как построить в одном окне два разных графика?
31. Как на одном графике построить несколько кривых?
32. Что такое легенда? Как вывести легенду на график?
33. Как выводить на графике буквы греческого алфавита?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цели работы

- освоение методов моделирования нелинейных систем в пакете SIMULINK

Задачи работы

- научиться строить и редактировать модели с подсистемами
- научиться использовать нелинейные звенья типа «насыщение»
- научиться строить несколько графиков одновременно на одном осциллографе
- научиться составлять, редактировать и отлаживать скрипты
- научиться изменять свойства элементов графика (шрифт, толщину линии)

Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

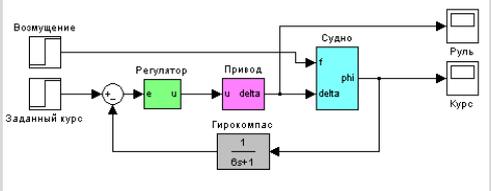
- название предмета, номер и название лабораторной работы

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1},$$

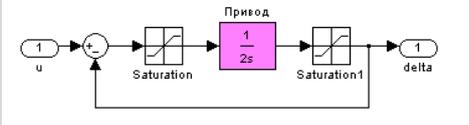
В качестве управляющего устройства используется ПИД-регулятор с передаточной функцией¹⁴

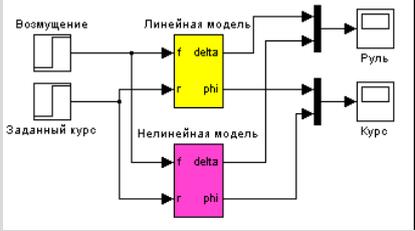
$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s + 1}{T_v + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек и } T_I = 200 \text{ сек.}$$

Инструкция по выполнению работы

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
121. Сделайте свою папку рабочей папкой MATLAB.	ЛКМ по кнопке  справа от поля Current Directory
122. Откройте окно рабочей папки.	View - Current directory
123. Откройте модель, построенную в лабораторной работе № 3.	двойной щелчок на lab3.mdl
124. Сохраните модель в своей папке под именем lab4.mdl .	 File - Save as ...
125. Выделите мышью регулятор вместе с интегратором и преобразуйте его в подсистему.	 Edit - Create subsystem
126. Дайте подсистеме имя Регулятор , расположите название сверху и выберите фоновый цвет на свой вкус.	Двойной щелчок на имени ПКМ - Format - Flip name ПКМ - Background color
127. Определите для входа и выхода этого блока имена e и u соответственно.	Двойной щелчок на блоке ЛКМ на имени входа ИЛИ ВЫХОДА
128. Аналогично постройте подсистему Привод с входом u и выходом delta и подсистему Судно с входами f и delta и выходом phi . Сохраните модель и скопируйте ее через буфер обмена в отчет.	
129. Обведите мышью (при нажатой ЛКМ) все блоки, кроме источников сигналов и осциллографов. Создайте подсистему Линейная система с входами r (заданный курс) и f (возмущение) и выходами phi и delta .	 Edit - Create subsystem

¹⁴ Значение K_c было определено в лабораторной работе № 2.

<p>130. Скопируйте блок Линейная система и измените его имя на Нелинейная система. Подключите к входам нового блока те же сигналы (заданный курс и возмущение), что и для первого блока. Установите для блока линейной системы желтый фоновый цвет, а для нелинейной – фиолетовый.</p>	<p>Перетащить с помощью ПКМ Format – Background color</p>
<p>131. Откройте подсистему Привод в нелинейной системе. Мы построим нелинейную модель привода, учитывая ограничения на угол переключки руля и скорость его изменения.</p>	<p>Двойной щелчок на блоке</p>
<p>132. Удалите соединительные линии.</p>	<p>ЛКМ на элементе, нажать Delete.</p>
<p>133. Измените передаточную функцию на $R_0(s) = \frac{1}{T_R s}$.</p>	<p>Двойной щелчок на блоке</p> <ul style="list-style-type: none"> • Denominator
<p>134. Откройте окно <i>Library Browser</i>.</p>	<p> View – Library Browser</p>
<p>135. Перетащите в окно модели блок Sum из группы Math Operations. Измените его так, чтобы организовать отрицательную обратную связь.</p>	<p>Двойной щелчок на блоке +- в поле List of signs</p>
<p>136. Перетащите в окно модели два блока Saturation (насыщение) из группы Discontinuities. Расположите один блок перед интегратором (ограничение на скорость переключки), второй – после (ограничение на угол переключки).</p>	<p>137. Введите нужные пределы допустимых значений, так чтобы скорость переключки руля была не более 3 градусов в секунду, а угол переключки – не более 30 градусов. В отчете укажите все установленные значения.</p> <p>Двойной щелчок на блоке</p> <ul style="list-style-type: none"> • Upper limit • Lower limit
<p>138. Соедините блоки нужным способом. Сохраните модель. Скопируйте схему нелинейной подсистемы Привод в отчет.</p>	
<p>139. Закройте лишние окна и перейдите в главное окно модели. Освободите оба осциллографа от связей, перетащив их вправо при нажатой клавише Shift.</p>	<p>140. Перетащите в окно модели два блока Mux (мультиплексор) из группы Signal Routing. Эти блоки служат для объединения сигналов в «жгут» (многожильный кабель).</p>
<p>141. Соедините входы первого блока с сигналами управления (delta) линейной и нелинейной систем, а выход – с входом осциллографа Руль.</p>	<p>142. Аналогично соедините входы второго мультиплексора с сигналами выхода (phi) линейной и нелинейной систем, а выход – с входом осциллографа Курс.</p>

<p>143. Сохраните модель и скопируйте ее через буфер обмена в отчет.</p>	
<p>144. Установите заданный курс 10 градусов и возмущение 0. Выполните моделирование и посмотрите результаты. Жёлтый график показывает изменение первого входа осциллографов – (линейная система), фиолетовый – второго (нелинейная система).</p>	
<p>145. Объясните расхождение между результатами моделирования линейной и нелинейной системы. Какое нелинейное звено существенно влияет на результат?</p>	
<p>146. Создайте новый М-файл.</p>	<p>File – New – M-file</p>
<p>147. В окне редактора введите команды для вывода графиков переходных процессов по курсу. Теперь массив phi содержит 3 столбца: время и сигналы с двух входов осциллографа (выходы линейной и нелинейной системы). Весь текст справа от знака % считается комментарием. Третий параметр команды plot означает цвет: 'b' – синий, 'g' – зеленый, 'r' – красный и т.д. (см. справку по этой команде). Команда hold on означает, что не надо стирать старый график, hold off – надо.</p>	<pre>figure(1); % открыть рис. 1 subplot(2,1,1); plot(phi(:,1),phi(:,2),'b') ; hold on; plot(phi(:,1),phi(:,3),'g') ; hold off; legend('Линейная система', ... 'Нелинейная система')</pre>
<p>148. Сохраните файл под именем lab4graph.m.</p>	<p>File – Save</p>
<p>149. Запустите файл (скрипт¹⁵) на выполнение. Если график не появился на экране, смотрите сообщения об ошибках в командном окне MATLAB.</p>	<p>клавиша F5</p>
<p>150. Увеличьте размер шрифта, вставив эту команду сразу после вызова subplot. Здесь gca означает текущие оси координат (<i>get current axis</i>). Еще раз запустите скрипт.</p>	<pre>set(gca,'FontSize',16);</pre>
<p>151. Добавьте в скрипт название графика и осей координат, так же, как и в работе № 3.</p>	<pre>title('Поворот на 10 градусов') xlabel('Время, сек'); ylabel('\phi, град');</pre>

¹⁵ Скриптом называется файл, содержащий команды MATLAB. При его запуске команды выполняются последовательно одна за другой.

<p>152. Увеличьте толщину линий. С помощью функции get мы сначала получаем массив указателей (хэндлов, <i>handle</i>) на все объекты-линии. Затем с помощью функции set устанавливаем для каждой линии свойство LineWidth (толщина линии), равное 1,5 пункта. Сохраните файл и запустите его на выполнение.</p>	<pre>h = get(gca, 'Children') set(h(1), 'LineWidth', 1.5) set(h(2), 'LineWidth', 1.5)</pre>
<p>153. Добавьте в скрипт команды, с помощью которых в нижней половине окна на одном графике строятся кривые изменения сигнала управления в линейной и нелинейной системах. Не добавляйте заголовок для этого графика (он будет мешать верхнему графику).</p>	
<p>154. Добейтесь, чтобы скрипт работал правильно. Скопируйте текст скрипта в отчет.</p>	
<p>155. Запустите скрипт на выполнение. Скопируйте полученный график в отчет.</p>	
<p>156. Измените величину заданного курса на 90 градусов и снова проведите моделирование.</p>	 <p>Двойной щелчок на блоке Заданный курс ввести 90 в поле Final value</p>
<p>157. Перейдите в окно редактора и измените название графика на «Поворот на 90 градусов». Снова запустите скрипт и скопируйте построенный график в отчет.</p>	<pre>title('Поворот на 90 градусов') клавиша F5 print -dmeta</pre>
<p>158. Объясните, почему расхождение получилось такое существенное расхождение между линейной и нелинейной моделями? Как теперь нелинейности влияют на результат?</p>	

Таблица коэффициентов

Вариант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
61.	16.0	0.06	1	1
62.	16.2	0.07	2	2
63.	16.4	0.08	1	3
64.	16.6	0.07	2	4
65.	16.8	0.06	1	5
66.	17.0	0.07	2	6
67.	17.2	0.08	1	1
68.	17.4	0.07	2	2
69.	17.6	0.06	1	3
70.	17.8	0.07	2	4
71.	18.0	0.08	1	5

72.	18.2	0.09	2	6
73.	18.4	0.10	1	1
74.	18.6	0.09	2	2
75.	18.8	0.08	1	3
76.	19.0	0.07	2	4
77.	19.2	0.08	1	5
78.	19.4	0.09	2	6
79.	19.6	0.10	1	1
80.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

- См. все вопросы к работам № 1, № 2 и № 3.
- Как построить подсистему из нескольких существующих блоков модели?
- Сколько входов и выходов может иметь подсистема?
- Как редактировать подсистему?
- Как изменить названия входов и выходов подсистемы?
- Как скопировать существующий блок или подсистему?
- Как удалить блок или соединительную линию?
- Объясните структуру нелинейной модели привода.
- Почему в нелинейной модели нельзя использовать общую передаточную функцию линейной модели привода $R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}$?
- Как выбираются пределы насыщения для блока, расположенного на входе интегратора?
- Как освободить блок от связей с другими блоками?
- Объясните назначение блока **Mux**.
- Как разобраться, какой сигнал поступает на первый вход осциллографа (через мультиплексор), какой – на второй?
- Что такое скрипт в среде МАТЛАВ?
- Что означает знак % внутри скрипта?
- Как вводить несколько команд в одной строке?
- Как правильно перенести длинную команду на следующую строку?
- Что означает третий параметр при вызове функции **plot**?
- Что означают команды **hold on** и **hold off**?
- Как запустить скрипт на выполнение?
- Как выполнить только некоторые команды из скрипта?
- Что означает **gca**?
- Для чего служат функции **set** и **get**?
- Как узнать и изменить размер шрифта на графике?
- Зачем нужен хэндл (*handle*) графического объекта?
- Как изменить толщину линии на графике?
- Где выводятся сообщения об ошибках в скрипте?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПРОГРАММИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

Цели работы

- освоение методов программирования в среде MATLAB

Задачи работы

- научиться передавать данные из рабочей области MATLAB в модель SIMULINK
- научиться составлять дополнительные функции MATLAB
- освоить некоторые способы автоматизации вычислений

Оформление отчета

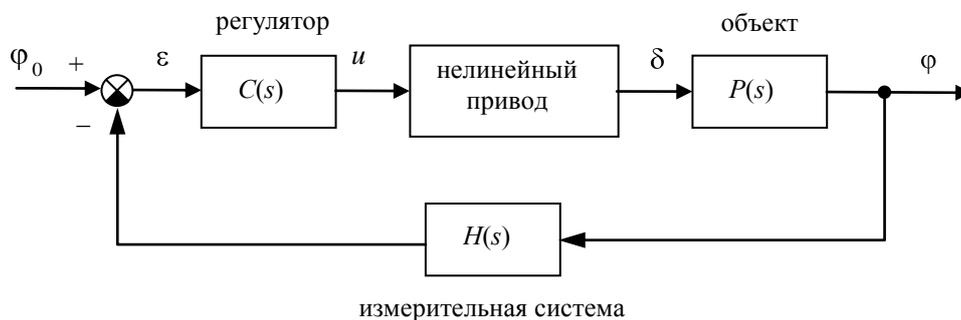
Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды MATLAB. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Описание системы

В работе рассматривается система управления судном по курсу. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\varphi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где φ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Линейная модель привода (рулевой машины) представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией

$$R_0(s) = \frac{1}{T_R s},$$

охваченное единичной отрицательной обратной связью. На угол перекадки руля и скорость перекадки накладываются нелинейные ограничения

$$|\dot{\delta}(t)| < 3 \text{ } ^\circ/\text{сек}, \quad |\delta(t)| < 30^\circ.$$

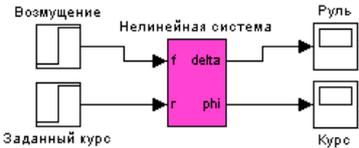
Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией¹⁶

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1},$$

В качестве управляющего устройства используется ПИД-регулятор с передаточной функцией¹⁷

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек и } T_I = 200 \text{ сек.}$$

Инструкция по выполнению работы

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
159. Сделайте свою папку рабочей папкой MATLAB.	ЛКМ по кнопке  справа от поля Current Directory
160. Откройте окно рабочей папки.	View - Current directory
161. Откройте модель, построенную в лабораторной работе № 4.	двойной щелчок на lab4.mdl
162. Сохраните модель в своей папке под именем lab5.mdl .	 File - Save as ...
163. Удалите модель линейной системы, оба мультиплексора и лишние соединительные линии. Достройте схему, как показано на рисунке.	

¹⁶ Численные значения K , T_s , T_R и T_{oc} надо взять из таблицы в конце файла. Они должны совпадать с данными, которые использовались Вами в лабораторных работах № 2–4.

¹⁷ Значение K_c было определено в лабораторной работе № 2.

<p>164. Замените числовые значения постоянного возмущения и заданного курса на символьные: fConst и phiZad соответственно.</p>	 Двойной щелчок на блоке Final value
<p>165. Откройте блок Нелинейная система и замените все числовые значения на имена переменных во всех подсистемах. Через deltaMax обозначим максимальный угол перекладки руля (30°), а через ddMax – максимальную скорость перекладки ($3^\circ/\text{сек}$).</p>	Судно, Numerator: K Denominator: [Ts 1 0] ПД-регулятор: Numerator: Kc*[Ts+1 1] И-канал, Denominator: [TI 0] Гирокомпас, Denominator: [Toc 1] Привод, Denominator: [TR 0] Ограничение скорости перекладки руля: $\pm TR*ddMax$ Ограничение угла перекладки руля: $\pm deltaMax$
<p>166. Объясните, почему введены именно такие параметры для ПД-регулятора и для блока ограничения угла перекладки руля.</p>	
<p>167. Вставьте в отчет схемы всех подсистем нелинейной модели. После этого закройте все окна подсистем, кроме главного окна модели.</p>	
<p>168. Перейдите в командное окно MATLAB и создайте новый М-файл.</p>	File - New - M-file
<p>169. Введите численные значения всех параметров модели для <i>своего варианта</i>. Установите заданный курс 30 градусов. Сохраните файл под именем sysdata.m.</p>	<pre>clear all; clc; K = 0.0694; Ts = 18.2; TR = 2; Toc = 6; ddMax = 3; deltaMax = 30; phiZad = 30; fConst = 0; TI = 200; Kc = 0.7045;</pre>
<p>170. Выполните скрипт, после этого запустите модель. Добейтесь, чтобы моделирование было успешно выполнено. Если этого не происходит, сообщения об ошибках надо искать в командном окне MATLAB.</p>	клавиша F5  ЛКМ по кнопке 
<p>171. Откройте в редакторе скрипт lab4graph.m и сохраните его под именем lab5graph.m.</p>	двойной щелчок на lab4graph.m File - Save as...

<p>172. Добавьте в начало скрипта строку, показанную справа. При этом скрипт становится <i>функцией</i>, принимающей два массива – phi и delta. Эта функция ничего не возвращает, а только строит график в отдельном окне. Она имеет собственное пространство переменных и не может (без специальных приемов) использовать переменные рабочей области MATLAB.</p>	<pre>function lab5graph (phi, delta)</pre>
<p>173. Удалите из функции лишние строки, учитывая, что теперь массивы phi и delta имеют только 2 столбца (строятся только процессы в нелинейной системе).</p>	
<p>174. Измените заголовок на «Переходные процессы при изменении курса». Сохраните файл и скопируйте текст функции в отчет.</p>	<pre>title (...)</pre>
<p>175. Создайте новый М-файл, введите в первой строчке вызов скрипта sysdata (загрузка параметров модели). Добавьте строки для запуска моделирования (модель lab5.mdl) и вывода результатов на экран. Сохраните скрипт под именем lab5go.m и скопируйте его в отчет.</p>	<pre>sysdata; sim ('lab5') lab5graph (phi, delta)</pre>
<p>176. Теперь построим функцию, которая вычисляет перерегулирование и время переходного процесса. Создайте новый М-файл в редакторе и введите в него текст функции¹⁸:</p> <pre>1 function [sigma, Tpp] = overshoot (t, y) 2 yInf = y(end); 3 diff = (y - yInf) / abs (yInf); 4 sigma = max(diff) * 100; 5 i = find(abs(diff) > 0.02); 6 Tpp = t(max(i)+1);</pre> <p>Комментарий:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 – объявление функции <i>overshoot</i>, которая принимает два параметра-массива (время <i>t</i> и переходный процесс <i>y</i>) и возвращает два значения (перерегулирование в процентах <i>sigma</i> и время переходного процесса <i>Tpp</i>). 2 – вычисление <i>последнего</i> значения массива <i>y</i>, которое принимается за установившееся значение 3 – вычисление относительного отклонения в каждой точке графика 4 – вычисление перерегулирования в процентах 5 – в массив <i>i</i> записываются <i>номера</i> всех элементов массива <i>diff</i>, которые по модулю больше 0.02 (для определения времени переходного процесса используется отклонение 2%) 6 – вычисляется время переходного процесса как первый элемент массива <i>t</i>, после которого все элементы массива <i>y</i> отклоняются от установившегося значения не более, чем на 2%. 	
<p>177. Сохраните файл с именем overshoot.m и скопируйте его в отчет.</p>	

¹⁸ Номера строк вводить не надо, они отображаются автоматически на полях в окне редактора.

178. Перейдите в окно скрипта **lab5go**. Удалите последние две строчки, оставив только загрузку исходных данных. Сохраните файл с именем **lab5go1.m**. В последней части работы мы исследуем влияние параметров модели на показатели качества переходных процессов. Сначала посмотрим, как влияет постоянная времени судна T_s ¹⁹.

179. Добавьте в конец скрипта текст программы (без номеров строк)

```

1 Ts0 = Ts;
2 aTs = linspace(0.8, 1.2, 100) * Ts0;
3 aSi = []; aTpp = [];
4 for Ts=aTs
5     sim ( 'lab5' )
6     [si,Tpp] = overshoot ( phi(:,1), phi(:,2) );
7     aSi = [aSi si];
8     aTpp = [aTpp Tpp];
9 end;

```

Комментарий:

- 1 – сохраняем номинальное значение постоянной времени в переменной Ts0
- 2 – создается массив из 100 постоянных времени, которые изменяются в диапазоне от 80 до 120% от номинального (расчетного) значения
- 3 – создаются пустые массивы aSi (для хранения значений перерегулирования) и aTpp (для хранения значений времени переходного процесса)
- 4 – начало цикла, переменная Ts принимает последовательно все значения из массива aTs
- 5 – моделирование при новом значении Ts
- 6 – вычисление перерегулирования и времени переходного процесса
- 7 – в конец массива aSi добавляется новое значение
- 8 – в конец массива aTpp добавляется новое значение
- 9 – конец цикла

180. Чтобы регулятор не изменялся при изменении T_s , необходимо в модели изменить в его числителе T_s на T_{s0} .

ПД-регулятор:

Numerator: $K_c * [T_{s0} + 1]$

181. Запустите скрипт на выполнение. Если открыть окно осциллографа **Курс**, можно наблюдать, как изменяется переходный процесс при изменении постоянной времени.

клавиша F5

182. Добавьте в конец скрипта строки для построения графика. В верхней части надо построить график изменения перерегулирования, в нижней – изменение времени переходного процесса, Здесь удобно использовать элементы из файла **lab5graph.m**, исправив их соответствующим образом.

¹⁹ Свойство системы сохранять устойчивость и существенные показатели качества при малом изменении характеристик объекта управления в сравнении с расчетными значениями называют *грубостью* или *робастностью (robustness)*. Негрубые системы непригодны для использования на практике.

183. Сохраните скрипт и запустите на выполнение только новые строки. Чтобы не проводить моделирование заново, можно выделить их в редакторе и нажать F9 . Скопируйте отлаженный скрипт в отчет.	выделить строки, клавиша F9
184. Если график изменения времени переходного процесса имеет ступенчатый или скачкообразный характер, уменьшите максимально допустимый шаг интегрирования и повторите моделирование (учтите, что время выполнения скрипта увеличится).	 Simulation - Simulation parameters - Max step size = 0.2
185. Скопируйте полученный график в отчет.	
186. Сохраните скрипт с именем lab5go2.m . Исправьте его так, чтобы исследовать зависимости показателей качества от угла поворота судна от 1 до 110 градусов с шагом 1 градус.	
187. Скопируйте отлаженный скрипт и полученный график в отчет. Объясните полученные кривые. Как они должны были бы выглядеть для линейной системы?	

Таблица коэффициентов

Ва риант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
81.	16.0	0.06	1	1
82.	16.2	0.07	2	2
83.	16.4	0.08	1	3
84.	16.6	0.07	2	4
85.	16.8	0.06	1	5
86.	17.0	0.07	2	6
87.	17.2	0.08	1	1
88.	17.4	0.07	2	2
89.	17.6	0.06	1	3
90.	17.8	0.07	2	4
91.	18.0	0.08	1	5
92.	18.2	0.09	2	6
93.	18.4	0.10	1	1
94.	18.6	0.09	2	2
95.	18.8	0.08	1	3
96.	19.0	0.07	2	4
97.	19.2	0.08	1	5

98.	19.4	0.09	2	6
99.	19.6	0.10	1	1
100.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

1. См. все вопросы к работам № 1– 4.
2. В параметрах блока модели указано имя переменной. Как задать ее значение?
3. Как ввести ограничение на скорость перекладки руля, если известна постоянная времени привода?
4. Что такое М-файл?
5. Как создать новый М-файл?
6. Где выводятся сообщения об ошибках при выполнении скрипта или функции?
7. Как строится заголовок функции в М-файле?
8. Может ли функция возвращать несколько величин?
9. Можно ли обращаться к переменным рабочей области MATLAB внутри функции?
10. Как вызывается функция, записанная в М-файл?
11. Как выделить последний элемент массива?
12. Чему равен результат операции $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$, где \mathbf{A} – массив, а \mathbf{x} – число?
13. Как работает функция **find**?
14. Как изменить функцию **overshoot**, чтобы она определяла время переходного процесса с точностью 5%?
15. Что такое грубость (робастность) системы?
16. Что означает запись
 - $\mathbf{x} = []$;
 - $\mathbf{x} = [\mathbf{x} \ \mathbf{y}]$;
 - **phi(:,1)**
 - **phi(1,:)**
17. Как выполнить только несколько строк из скрипта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Цели работы

- освоение методов оптимизации нелинейных систем в среде MATLAB

Задачи работы

- научиться копировать подсистемы из одной модели в другую
- изучить приемы, позволяющие частично компенсировать нелинейность типа «насыщение» в системе с ПИД-регулятором
- научиться использовать пакет **NCD** (*Nonlinear Control Design*)

Оформление отчета

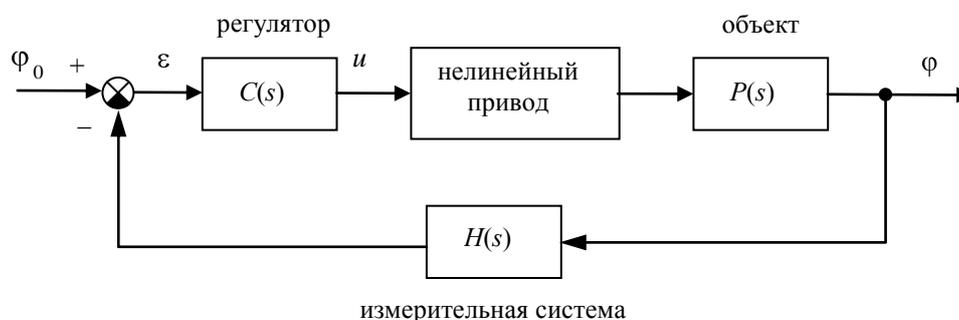
Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды MATLAB. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Описание системы

В работе рассматривается система управления судном по курсу. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\varphi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где φ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Линейная модель привода (рулевой машины) представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией

$$R_0(s) = \frac{1}{T_R s},$$

охваченное единичной отрицательной обратной связью. На угол перекладки руля и скорость перекладки накладываются нелинейные ограничения

$$|\dot{\delta}(t)| < 3 \text{ } ^\circ/\text{сек}, \quad |\delta(t)| < 30^\circ.$$

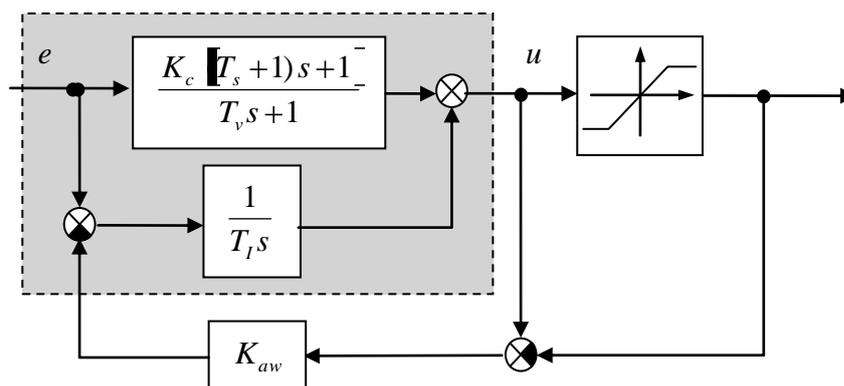
Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде аperiodического звена первого порядка с передаточной функцией²⁰

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1},$$

В качестве управляющего устройства используется ПИД-регулятор с передаточной функцией²¹

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек и } T_I = 200 \text{ сек.}$$

Для компенсации эффекта насыщения, вызванного ограниченным углом перекладки руля, используется схема с внутренней нелинейной обратной связью, охватывающей интегратор в составе регулятора.



Базовый регулятор, построенный по линейной модели, выделен серым фоном. Сигнал u на его выходе представляет собой желаемый угол перекладки руля. Для блока нелинейной коррекции типа «насыщение» выбираются пределы, равные ограничениям на угол перекладки руля.

Если насыщения нет, разность сигналов $u - \bar{u}$ равна нулю, и обратная связь не работает; используется закон управления, синтезированный для линейной системы. Если сигнал u превышает допустимые пределы, разность $u - \bar{u}$ подается (со знаком «минус») на вход интегратора через усилитель. Таким образом, при насыщении сигнал на входе интегратора ослабляется тем сильнее, чем больше разность между желаемым и допустимым углами перекладки. Такой метод коррекции получил в литературе название *anti-windup* (противодействие «наматыванию»).

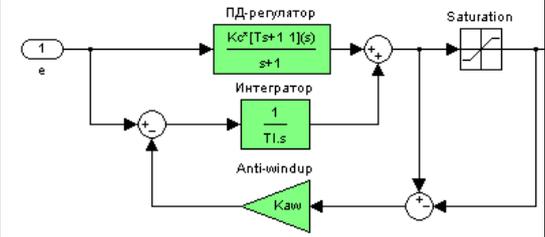
В ходе выполнения работы для выбора оптимального значения коэффициента K_{aw} применяются процедуры численной оптимизации пакета **NCD Blockset**.

Инструкция по выполнению работы

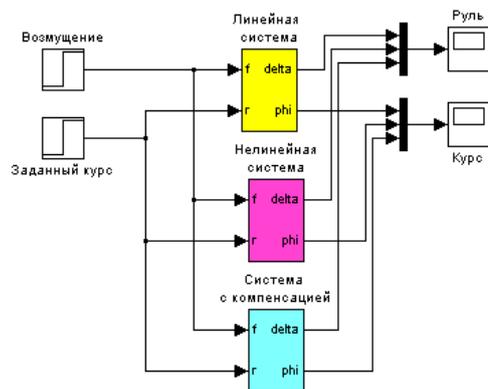
Этап выполнения задания	Команды MATLAB
188. Сделайте свою папку рабочей папкой MATLAB.	ЛКМ по кнопке  справа от поля Current Directory
189. Создайте новый М-файл, в первой строчке наберите имя скрипта sysdata для загрузки исходных данных. Сохраните файл с именем lab6go.m и выполните его.	File - New - M-file File - Save клавиша F5
190. Откройте окно рабочей папки.	View - Current directory

²⁰ Численные значения K , T_s , T_R и T_{oc} надо взять из таблицы в конце файла. Они должны совпадать с данными, которые использовались Вами в лабораторных работах № 2–5.

²¹ Значение K_c было определено в лабораторной работе № 2.

191. Откройте модель, построенную в лабораторной работе № 5.	двойной щелчок на lab5.mdl
192. Сохраните модель в своей папке под именем lab6.mdl .	 File - Save as ...
193. Откройте блок Нелинейная модель-Регулятор . Удалите линию, соединяющую вход блока с входом И-канала.	выделить ЛКМ, нажать Delete
194. Скопируйте сумматор, расположите его перед интегратором и измените знак у второго входа на «минус».	перетащить ПКМ +- в поле List of signs
195. Скопируйте сумматор еще раз, разверните его на 180 градусов и измените расположение входов.	перетащить ПКМ нажать Ctrl+I + - в поле List of signs
196. Откройте блок Нелинейная модель-Привод и перетащите в окно Регулятор второй нелинейный блок (ограничение на угол перекладки руля). Разверните его на 180 градусов.	перетащить ЛКМ нажать Ctrl+I
197. Добавьте блок Gain из группы Math Operations и установите коэффициент усиления, равный Kaw .	Kaw в поле Gain
198. Соберите схему, показанную на рисунке. Скопируйте ее в отчет.	
199. Добавьте в скрипт lab6go команду, устанавливающую начальное значение для Kaw . Сохраните скрипт и выполните его.	Kaw = 1;
200. Далее мы сравним переходные процессы в этой системе с результатами моделирования линейной и исходной нелинейной систем. Закройте окна всех подсистем, кроме главного окна модели. Дайте блоку название Система с компенсацией и поменяйте цвет фона на светло-голубой (этим цветом будут изображаться на осциллографах соответствующие графики).	
201. Скопируйте в новую модель подсистему Линейная модель из модели lab4.mdl и подсистему Нелинейная модель из модели lab5.mdl .	открыть нужную модель, перетаскивание ЛКМ
202. Добавьте в модель мультиплексор (блок Mux из группы Signal Routing) и установите для него количество входов 3.	двойной щелчок ЛКМ 3 в поле Number of inputs

203. Создайте копию мультиплексора и соберите схему по рисунку так, чтобы на каждом из осциллографов изображались по 3 сигнала с разных моделей. Входы f всех систем надо соединить с выходом блока **Возмущение**, а входы r – с выходом блока **Заданный курс**.



204. Перейдите в окно скрипта **lab6go** в редакторе. Добавьте строки для запуска процедуры моделирования и для вывода графика, учитывая, что на каждой половине рисунка надо выводить по 3 графика, массивы **phi** и **delta** содержат по 4 столбца. Удобно скопировать и немного изменить команды для оформления графика из файла **lab4graph.m**.

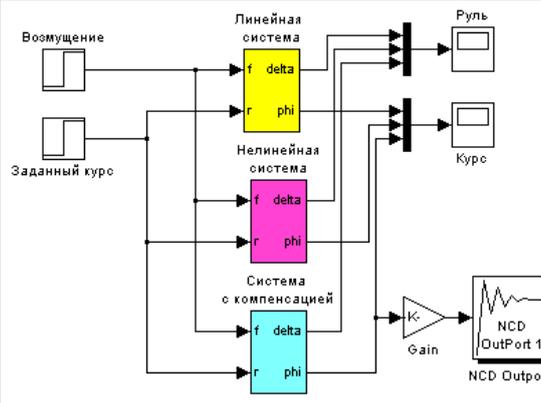
```
sim('lab6')
figure(1)
...
```

205. Запустите скрипт. После отладки сохраните скрипт на диске и скопируйте его в отчет. Скопируйте в отчет построенный график. Опишите полученный эффект.

206. Добавьте в основное окно модели усилитель (блок **Gain** из группы **Math Operations**) и установите коэффициент усиления, равный $1/\text{phiZad}$. Этот (нормирующий) блок будет служить для того, чтобы на выходе установившееся значение было равно 1 (нормировка).

View - Library Browser
перетаскивание ЛКМ
двойной щелчок по блоку
 $1/\text{phiZad}$ в поле Gain

207. Добавьте в модель блок **NCD Output** из пакета **NCD Blockset** и соедините его через нормирующий усилитель (см. выше) с выходом **phi** системы с компенсацией насыщения. Сохраните схему в отчете.



208. Откройте блок **NCD Output**. Цель оптимизации – выбрать некоторые коэффициенты системы так, чтобы переходный процесс оставался внутри черной зоны графика. Горизонтальные и вертикальные границы ограничений (красные полосы) можно сдвигать мышкой. Полоса выделяется нажатием ЛКМ, при этом она становится белой. Кнопка **Split** позволяет разбить выделенную полосу на две независимых части. Нажав ПКМ на красной полосе, можно редактировать ограничение в числовом виде.

209.	Сдвиньте верхнее ограничение так, чтобы ограничить перерегулирование примерно значением 10%. Правую границу первого блока сдвиньте примерно на время 60-65 сек.	
210.	Выберите пункт верхнего меню Optimization – Parameters и введите Kaw в поле Tunable variables (настраиваемые параметры). В поле Lower bound (нижняя граница) введите 0 (нуль).	
211.	Запустите процедуру оптимизации. Она может занимать несколько минут. Признаком окончания будет появление текста <i>Optimization Converged Successfully</i> в командном окне MATLAB.	ЛКМ по кнопке Start
212.	Попытайтесь улучшить переходный процесс, сдвигая ограничения и снова запуская процедуру оптимизации.	
213.	Определите найденное оптимальное значение Kaw . Для этого надо ввести Kaw в командном окне MATLAB. Запишите его в отчет и перенесите в скрипт lab6go .	Kaw
214.	Запустите скрипт lab6go на выполнение и скопируйте полученный график в отчет.	клавиша F5
215.	Определите перерегулирование и время переходного процесса, используя функцию overshoot .	<code>[si, Tpp] = overshoot(phi(:,1), ... phi(:,4));</code>
216.	Измените в командном окне Matlab заданный угол курса на 30° и повторите моделирование. Скопируйте полученный график в отчет. Определите перерегулирование и время переходного процесса.	в командном окне <code>phiZad = 30;</code> выделить нужные строки скрипта, нажать F9
217.	Сделайте выводы о применении схемы с компенсацией насыщения.	

Таблица коэффициентов

Ва риант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
101.	16.0	0.06	1	1
102.	16.2	0.07	2	2
103.	16.4	0.08	1	3
104.	16.6	0.07	2	4
105.	16.8	0.06	1	5
106.	17.0	0.07	2	6
107.	17.2	0.08	1	1
108.	17.4	0.07	2	2

109.	17.6	0.06	1	3
110.	17.8	0.07	2	4
111.	18.0	0.08	1	5
112.	18.2	0.09	2	6
113.	18.4	0.10	1	1
114.	18.6	0.09	2	2
115.	18.8	0.08	1	3
116.	19.0	0.07	2	4
117.	19.2	0.08	1	5
118.	19.4	0.09	2	6
119.	19.6	0.10	1	1
120.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

1. См. все вопросы к работам № 1– 5.
2. Пусть линеаризованная система устойчива. Может ли система стать неустойчивой при учете насыщения привода? На каких режимах это особенно опасно?
3. Является ли примененный способ коррекции линейным или нелинейным? Почему?
4. Как работает регулятор, если сигналы не выходят за допустимые пределы? Почему (докажите по схеме)?
5. Что такое *anti-windup*?
6. Объясните действие блока **Gain**.
7. Как скопировать блок из одной модели в другую?
8. Как изменить число входов мультиплексора?
9. Зачем нужен нормирующий усилитель?
10. Как нужно подключать блок **NCD Output**?
11. Как устанавливать ограничения на переходную функцию?
12. Как установить пределы для поиска решения в блоке **NCD Output**?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ЦИФРОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛЯТОРА

Цели работы

- освоение методов переоборудования непрерывных регуляторов для реализации на цифровом компьютере

Задачи работы

- познакомиться с методами переоборудования непрерывных регуляторов в MATLAB
- научиться моделировать системы с цифровыми регуляторами
- научиться выбирать интервал квантования

Оформление отчета

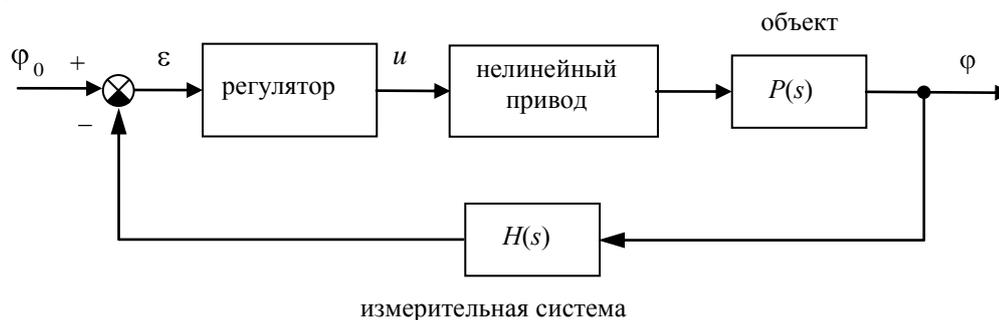
Отчет по лабораторной работе выполняется в виде связного (читаемого) текста в файле формата *Microsoft Word* (шрифт основного текста **Times New Roman**, 12 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине). Он должен включать

- название предмета, номер и название лабораторной работы
- фамилию и инициалы авторов, номер группы
- фамилию и инициалы преподавателя
- номер варианта
- краткое описание исследуемой системы
- результаты выполнения всех пунктов инструкции, которые выделены серым фоном (см. ниже): результаты вычислений, графики, ответы на вопросы.

При составлении отчета рекомендуется копировать необходимую информацию через буфер обмена из рабочего окна среды MATLAB. Для этих данных используйте шрифт **Courier New**, в котором ширина всех символов одинакова.

Описание системы

В работе рассматривается система управления судном по курсу. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\phi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где ϕ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Линейная модель привода (рулевой машины) представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией

$$R_o(s) = \frac{1}{T_R s},$$

охваченное единичной отрицательной обратной связью. На угол перекадки руля и скорость перекадки накладываются нелинейные ограничения

$$|\dot{\delta}(t)| < 3 \text{ } ^\circ/\text{сек}, \quad |\delta(t)| < 30^\circ.$$

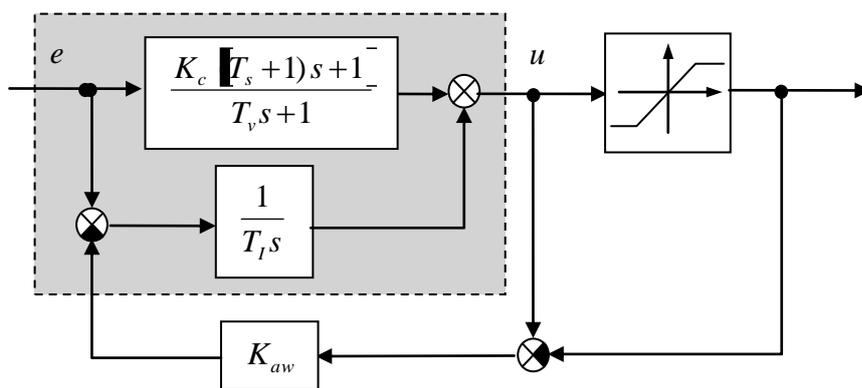
Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией²²

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1},$$

В непрерывной системе в качестве управляющего устройства используется ПИД-регулятор с передаточной функцией²³

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек и } T_I = 200 \text{ сек.}$$

Для компенсации эффекта насыщения, вызванного ограниченным углом перекладки руля, используется схема с внутренней нелинейной обратной связью, охватывающей интегратор в составе регулятора²⁴.



Для реализации регулятора используется цифровой компьютер с интервалом квантования T . Регулятор в расчетной схеме заменяется не последовательное соединение трех звеньев:

- 1) **импульсного элемента**, который выбирает из непрерывного сигнала $e(t)$ значения $e_k = e(kT)$ в моменты квантования $t_k = kT$ (при целых k); импульсный элемент моделирует аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 2) линейного **цифрового фильтра**, который преобразует дискретную последовательность e_k в управляющую последовательность v_k ; передаточная функция этого фильтра определяет закон управления;
- 3) восстанавливающее устройство (**экстраполятор**), которое восстанавливает непрерывный сигнал управления $u(t)$ из последовательности v_k ; экстраполятор моделирует цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), чаще всего используется фиксатор нулевого порядка, который удерживает постоянное значение $u(t)$ в течение очередного интервала квантования:

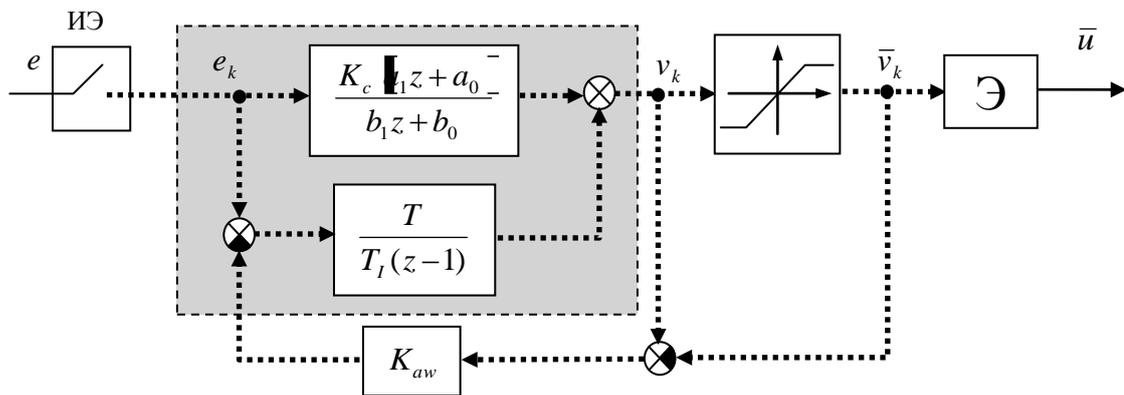
$$u(kT + \varepsilon) = v_k, \quad 0 \leq \varepsilon < T.$$

Схема цифрового регулятора показана на рисунке:

²² Численные значения K , T_s , T_R и T_{oc} надо взять из таблицы в конце файла. Они должны совпадать с данными, которые использовались Вами в лабораторных работах № 2–5.

²³ Значение K_c было определено в лабораторной работе № 2.

²⁴ Значение K_{aw} было определено в лабораторной работе № 6.



Блок **ИЭ** обозначает импульсный элемент (АЦП), блок **Э** – экстраполятор (ЦАП). Точечные линии обозначают дискретные сигналы, сплошные линии – непрерывные.

Цифровые регуляторы обладают многими преимуществами в сравнении с классическими (непрерывными):

- отсутствует дрейф параметров элементов
- в цифровой форме можно реализовать сложные законы управления
- цифровые регуляторы легко перестраивать, настройка сводится к просто к замене алгоритма обработки измеряемых сигналов

В то же время между моментами квантования (моментами съема измеряемых сигналов и выдачи нового управляющего воздействия) система ведет себя как разомкнутая (неуправляемая). Это может привести к потере устойчивости (при больших интервалах квантования в сравнении с постоянной времени объекта) и скрытым колебаниям (колебаниям непрерывного сигнала, которые не проявляются в моменты квантования).

Для построения дискретной модели ПД-регулятора используется преобразование Тастина

$$s \leftarrow \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1},$$

соответствующее интегрированию по методу трапеций. Для рассматриваемого ПД-регулятора такая замена дает

$$D_{pd}(z) = \frac{K_c(z+a_0)}{b_1z+b_0},$$

где коэффициенты равны

$$a_1 = T + 2(T_s + T_v), \quad a_0 = T - 2(T_s + T_v), \quad b_1 = T + 2T_v, \quad b_0 = T - 2T_v.$$

Для построения дискретной передаточной функции интегрального канала применяется метод интегрирования Эйлера (метод прямоугольников), т.е., замена

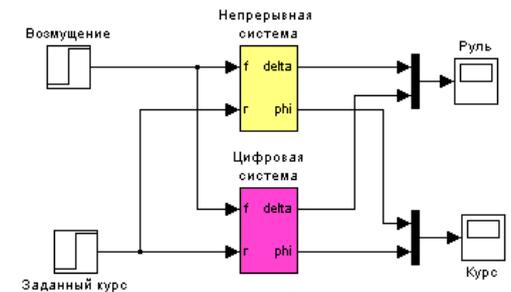
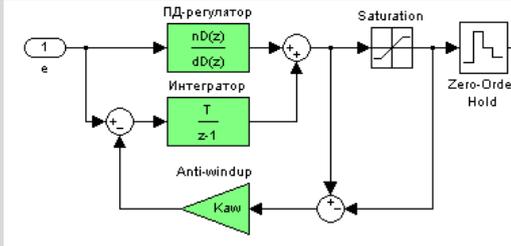
$$s \leftarrow \frac{z-1}{T}.$$

В ходе выполнения работы требуется построить цифровые реализации регулятора при различных интервалах квантования и сравнить переходные процессы в непрерывной и цифровой системе управления.

Инструкция по выполнению работы

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
218. Сделайте свою папку рабочей папкой MATLAB.	ЛКМ по кнопке  справа от поля Current Directory

<p>219. Создайте новый М-файл, в первой строчке наберите имя скрипта sysdata для загрузки исходных данных. Добавьте в него строчку, которая задает полученное в предыдущей работе значение K_{aw}. Сохраните файл с именем lab7go.m и выполните его.</p>	<pre>File - New - M-file sysdata; Kaw = ... File - Save</pre>
<p>220. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров)</p> <pre>1 T = 1; 2 Cpd = tf(Kc*[Ts+1 1], [1 1]); 3 Dpd = c2d (Cpd, T, 'tustin'); 4 [nD,dD] = tfdata (Dpd, 'v');</pre> <p>Комментарий:</p> <p>1 – установить значение интервала квантования 1 с; 2 – построение передаточной функции ПД-регулятора; 3 – применение преобразования Тастина к передаточной функции Cpd; в результате будет построения соответствующая дискретная передаточная функция; 4 – числитель и знаменатель дискретной передаточной функции Dpd записываются в переменные nD и dD.</p>	
<p>221. Выполните скрипт lab7go.m.</p>	<p>клавиша F5</p>
<p>222. Откройте окно рабочей папки.</p>	<p>View - Current directory</p>
<p>223. Откройте модель, построенную в лабораторной работе № 6.</p>	<p>двойной щелчок на lab6.mdl</p>
<p>224. Сохраните модель в своей папке под именем lab7.mdl.</p>	 <p>File - Save as ...</p>
<p>225. Удалите блоки Линейная модель, Нелинейная модель, Gain и NCD Outport, а также все линии связи.</p>	<p>выделить ЛКМ, нажать Delete</p>
<p>226. Измените число входов обоих мультиплексоров на 2.</p>	<p>двойной щелчок 2 в поле Number of inputs</p>
<p>227. Скопируйте подсистему Система с компенсацией. Первую подсистему назовите Непрерывная система, а вторую – Цифровая система.</p>	<p>перетащить ПКМ ЛКМ на названии</p>

<p>228. Измените цвет фона подсистем на желтый и фиолетовый соответственно и постройте схему, показанную на рисунке.</p>	<p>ПКМ - Background color</p> 
<p>229. Откройте подсистему Цифровая система - Регулятор. Удалите блоки ПД-регулятор и Интегратор.</p>	<p>ЛКМ выделить ЛКМ, нажать Delete</p>
<p>230. Откройте окно библиотеки блоков и скопируйте на освободившиеся места два блока Discrete Transfer Fcn (дискретная передаточная функция) из группы Discrete.</p>	<p>View - Library browser перетащить ЛКМ</p>
<p>231. Назовите новые блоки ПД-регулятор и Интегратор и задайте их параметры.</p>	<p>ПД-регулятор Numerator: nD Denominator: dD Sample time: T Интегратор Numerator: [T] Denominator: TI*[1 -1] Sample time: T</p>
<p>232. Добавьте на выход регулятора блок Zero-order hold (фиксатор нулевого порядка) из группы Discrete и установите интервал квантования T.</p>	<p>перетащить ЛКМ из окна Library browser Sample time: T</p>
<p>233. Соберите схему, показанную на рисунке. Скопируйте ее в отчет.</p>	
<p>234. Установите время моделирования 250 с.</p>	<p>Simulation - Simulation parameters - Stop time</p>
<p>235. Выполните моделирование и сравните переходные процессы в непрерывной и цифровой системах (они должны практически совпадать).</p>	<p>двойной щелчок ЛКМ по блокам Курс и Руть</p>
<p>236. Далее мы сравним переходные процессы в цифровых системах при различных интервалах квантования. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):</p>	<pre>1 close all;</pre>

```

2 figure(1);
3 subplot(2,1,1);
4 set(gca,'FontSize',16);
5 subplot(2,1,2);
6 set(gca,'FontSize',16);

```

Комментарий:

- 1 – закрыть все рисунки;
- 2 – создать рисунок номер 1;
- 3 – разбить его на две части по вертикали (курс и угол перекадки руля) и активизировать первый график;
- 4 – установить размер шрифта 16 пунктов;
- 5, 6 – те же операции для второго графика.

237. В цикле будем изменять интервал квантования T , строить новую дискретную модель ПД-регулятора, проводить моделирование и строить очередной график, не стирая существующий. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):

```

1 aT = [2 3 5];
2 col = 'bgr';
3 for i=1:length(aT)
4     T = aT(i);
5     Dpd = c2d ( Cpd, T, 'tustin' );
6     [nD,dD] = tfdata ( Dpd, 'v' );
7     sim('lab7')
8     subplot(2,1,1);
9     plot(phi(:,1),phi(:,3),col(i));
10    hold on;
11    subplot(2,1,2);
12    plot(delta(:,1),delta(:,3),col(i));
13    hold on;
14 end;

```

Комментарий:

- 1 – создается массив интервалов квантования;
- 2 – создается символьный массив с обозначениями цветов графиков ('b' – синий, 'g' – зеленый, 'r' – красный);
- 3 – заголовок цикла, i – номер графика;
- 4 – выбрать значение интервала квантования из массива;
- 5 – построить дискретную модель ПД-регулятора с помощью преобразования Тастина;
- 6 – получить числитель и знаменатель этой модели;
- 7 – выполнить моделирование;
- 8 – перейти к первому графику;
- 9 – построить изменение угла курса, цвет линии определяется символом из массива col;

10 – при выводе следующего графика не стирать существующие кривые;

11-13 – те же операции для второго графика (угол перекадки руля);

14 – конец цикла

238. Остается построить (для сравнения) переходные процессы в непрерывной системе (второй столбец в массивах phi и delta). Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):

```
1 subplot(2,1,1);
2 plot(phi(:,1),phi(:,2),'k--');
3 legend('T=2', 'T=3', 'T=5', 'Непрерывная система');
4 h = get(gca, 'Children');
5 for i=1:4
6     set(h(i), 'LineWidth', 1.5);
7 end;
```

Комментарий:

1 – перейти к первому графику;

2 – строится переходный процесс в непрерывной системе, штриховая линия ('--') черного цвета ('k');

3 – выводится легенда;

4 – получить массив указателей на линии;

5-7 – цикл для изменения толщины линий

6 – установить толщину линий 1,5;

239. Добавьте самостоятельно аналогичные команды для второго графика (используйте второй столбец массива delta).

240. Выполните скрипт.

клавиша F5

241. Скопируйте график в отчет.

print -dmeta

ПКМ - Вставить

242. Сделайте выводы о максимальном допустимом интервале квантования, при котором переходные процессы в цифровой системе практически совпадают с переходными процессами в непрерывной системе.

Таблица коэффициентов

Вариант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
121.	16.0	0.06	1	1
122.	16.2	0.07	2	2
123.	16.4	0.08	1	3
124.	16.6	0.07	2	4
125.	16.8	0.06	1	5
126.	17.0	0.07	2	6
127.	17.2	0.08	1	1
128.	17.4	0.07	2	2

129.	17.6	0.06	1	3
130.	17.8	0.07	2	4
131.	18.0	0.08	1	5
132.	18.2	0.09	2	6
133.	18.4	0.10	1	1
134.	18.6	0.09	2	2
135.	18.8	0.08	1	3
136.	19.0	0.07	2	4
137.	19.2	0.08	1	5
138.	19.4	0.09	2	6
139.	19.6	0.10	1	1
140.	18.2	0.0694	2	6

Контрольные вопросы к защите

1. См. все вопросы к работам № 1–6.
2. Что такое переоборудование?
3. В чем отличие непрерывной и цифровой систем управления?
4. В чем преимущества цифровых систем управления?
5. Что такое аналоговые и дискретные сигналы?
6. Что такое дискретная передаточная функция?
7. Что такое импульсный элемент? Моделью какого реального устройства он служит?
8. Что такое экстраполятор? Моделью какого реального устройства он служит?
9. Что такое фиксатор нулевого порядка? Почему более сложные экстраполяторы применяются редко?
10. Что такое цифровой фильтр?
11. Какой оператор используется для построения дискретной передаточной функции цифрового фильтра?
12. Как найти дискретную передаточную функцию фильтра, заданного разностным уравнением?
13. Какие методы переоборудования вы знаете? Какой из них наиболее точный?
14. Как выполнить переоборудование методом Эйлера?
15. Какая функция МАТЛАВ выполняет преобразование Тастина? Как ее вызывать?
16. В чем недостаток методов переоборудования на основе формул численного интегрирования Симпсона и Уэддла?
17. Почему для переоборудования ПД-регулятора использовано преобразование Тастина, а для интегральной части – метод Эйлера?
18. Что такое алгебраический цикл? В каком случае алгебраических циклов не возникает?
19. Какие эффекты наблюдаются при увеличении интервала квантования?
20. Как обосновать выбор интервала квантования при переоборудовании непрерывного регулятора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ САУ

1. Цель работы

Исследование влияния параметров линейной системы (рис.2.1) на ее устойчивость.

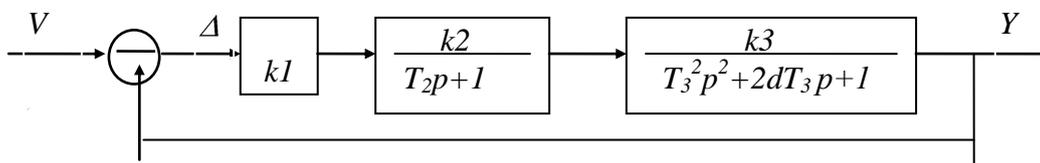


Рис.2.1. Структурная схема исследуемой системы

2. Краткое теоретическое введение

Передаточная функция линейной системы в общем случае имеет вид

$$W(p) = \frac{y}{v} = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0}, n \geq m.$$

Алгебраический критерий устойчивости Гурвица предполагает исследование матрицы, составленной из коэффициентов характеристического уравнения:

$$G = \begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 \end{bmatrix}.$$

Система устойчива, если все диагональные миноры матрицы Гурвица положительны.

Анализ устойчивости по критерию Михайлова предполагает построение на комплексной плоскости годографа

$$A(j\omega) = a_n (j\omega)^n + \dots + a_1 (j\omega) + a_0$$

при изменении ω от 0 до ∞ . Система будет устойчива, если годограф, начинаясь на положительной вещественной полуоси при $\omega = 0$, проходит последовательно n квадрантов против часовой стрелки, устремляясь в n -м в ∞ .

Критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по частотной характеристике разомкнутой системы. Если разомкнутая система устойчива, то замкнутая система также будет устойчивой в том случае, когда АФХ разомкнутой системы $W_p(j\omega)$ не охватывает точку $(-1, j0)$ при изменении ω от 0 до ∞ .

3. Методические указания

Работа выполняется с помощью пакета прикладных программ COMPAS.

Для экспериментального определения критического значения исследуемого параметра его необходимо изменить в несколько раз по сравнению с исходным и проанализировать полученные переходные процессы. Если при одном параметре система была устойчива, а при другом - неустойчива, то критическое значение находится внутри выделенного интервала, и найти его можно, например, методом половинного деления.

Наличие незатухающих колебаний постоянной амплитуды на выходе свидетельствует о положении системы на границе устойчивости.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Набрать модель исследуемой системы, параметры которой приведены в таблице 2.1. Номер варианта соответствует порядковому номеру бригады.

4.2. Подавая на вход единичное скачкообразное воздействие, зарисовать переходные процессы в системе при заданных параметрах. На экран графического монитора выводить входной, выходной сигналы и ошибку (Δ).

Таблица 2.1.

Номер варианта	k_1	k_2	T_2	k_3	T_3	d
1	1	1.5	0.4	4	1.2	1.2
2	5	0.8	0.2	3	1	1
3	2	1	0.1	2	0.8	0.8
4	3	2	0.3	2	1.5	1.5
5	1.5	4	0.5	1	0.9	0.9
6	2.5	1.5	0.2	2	1	1
7	4	0.6	0.2	2	0.7	0.7
8	2	1	0.5	1	0.6	0.6

4.3. Экспериментально определить критическое значение коэффициента передачи k_I , т.е. такие значения, при которых система находится на границе устойчивости. Сравнить их с расчетными значениями, найденными с помощью критерия Найквиста.

4.4. Построить переходный процесс при $k_I = 0.8 k_{Iкр}$, проанализировать результаты.

4.5. Увеличить коэффициент d в два раза по сравнению с исходным значением и определить $k_{Iкр}$. Затем уменьшить d в два раза и найти $k_{Iкр}$. Построить зависимость $k_{Iкр} = k_{Iкр}(d)$.

4.6. Найти экспериментальное критическое значение $d_{кр}$. Сравнить с $d_{кр}$, рассчитанным с помощью критерия Гурвица.

4.7. Воспользовавшись критерием Михайлова, найти $T_{2кр}$. Определить критические значения $T_{2кр}$ экспериментально и проанализировать результаты.

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Структурная схема исследуемой системы и численные значения параметров.

5.3. Рассчитанные и экспериментально найденные критические значения параметров.

5.4. График переходного процесса исследуемой системы при табличных значениях параметров.

5.5. График переходных процессов при $k_I = k_{Iкр}$ и $k_I = 0.8 k_{Iкр}$.

5.6. График зависимости $k_{Iкр}(d)$.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Как формулируется основное условие устойчивости линейных систем?
- 6.2. Как по АФХ исследуемой разомкнутой системы найти $k_{кр}$?
- 6.3. Каким образом коэффициент передачи разомкнутой системы влияет на вид годографа Михайлова?
- 6.4. Как, используя критерий Гурвица для замкнутой системы, найти критическое значение коэффициента разомкнутой системы?
- 6.5. Какой вид имеет переходная характеристика системы, находящейся на колебательной границе устойчивости?
- 6.6. Каковы условия положения системы на границе устойчивости по критериям Гурвица, Михайлова, Найквиста?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попов Е.П.** Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука, 1989.
1. **Бесекерский В.А., Попов Е.П.** Теория систем автоматического управления. М.: Профессия, 2003.
2. **Мирошник И.В.** Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб.: Питер, 2005.
3. **Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э.,** Проектирование систем управления. М.: Бинوم, 2004.
4. **Поляков К.Ю.** Лабораторные работы по теории автоматического управления. Исследование САУ в среде Matlab.
5. **Клиначёв Н.В.** Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. — Offline версия 3.6. — Челябинск, 2005.
6. **Сенигов П.Н.** Теория автоматического управления: Конспект лекций. — Челябинск: ЮУрГУ, 2001.
7. **Федосов Б.Т.** Методическое обеспечение курса ТАУ. Электронные учебные пособия.
8. **Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф., Харченко В.Ю.** Теория автоматического управления: Учебно-методическое пособие. — Тамбов: Издательство ТГТУ, 2006.
9. **Туманов М.П.** Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления: Учебное пособие. — М.: МГИЭМ., 2005.
10. **Туманов М.П.** Теория управления. Теория импульсных, дискретных и нелинейных САУ: Учебное пособие. — М.: МГИЭМ., 2005.
11. **Клавдиев А.А.** Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч.1: Учебное пособие. - СПб.: СЗТУ, 2005.
12. **Золотов О.И., Кухаренко Н.В., Макаров В.Л.** Теория управления: Рабочая программа, задания на контрольные работы. - СПб.: СЗТУ, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рейтинг по предмету

Семестр А

№ п/п	Тема	Количество баллов
1	Отчет по лабораторной работе №1	8
2	Отчет по лабораторной работе №2	8
3	Отчет по лабораторной работе №3	8
4	Отчет по лабораторной работе №4	8
5	Отчет по лабораторной работе №5	8
6	Отчет по лабораторной работе №6	10
7	Отчет по лабораторной работе №7	10
8	Отчет по лабораторной работе №8	10
	Всего баллов	70

За каждую выполненную студентом лабораторную работу, выставляется балл исходя из максимального количества баллов, в зависимости от проработанности и степени усвоенного материала.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(требования к оформлению отчета по лабораторным работам)

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя следующие пункты.

1. Титульный лист с указанием группы, варианта лабораторной работы и ФИО студентов, которые выполняли работу.
2. Тема работы.
3. Цель работы.
4. Ход выполнения работы, при необходимости дополненный экспериментально и теоретически полученными данными в виде таблиц, графиков и диаграмм.
5. Выводы. В выводе должна отражаться цель работы и достигнутый результат.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(шаблон составления отчетов по лабораторным работам для студентов)

Серым цветом помечен текст, который необходимо менять при каждом последующем оформлении отчета, он включает в себя:

- Номер лабораторной работы и варианта
- Тема лабораторной работы
- ФИО исполнителя и проверяющего
- Цель работы, задание
- Ход работы
- Результаты
- Выводы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Институт инноватики
Факультет инновационных технологий

Отделение кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии»

Отчет по лабораторной работе №1

Вариант 1

**ОБЗОР АНТИВИРУСНЫХ ПРОДУКТОВ, СРАВНЕНИЕ ИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО
КРИТЕРИЯМ УДОБСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ**

Выполнил:

Студент группы 123

Иванов А.А.

_____ 31.12.2012

Проверил:

к.т.н., старший преподаватель ОКЮ

Сидоров В.В.

_____ 31.12.2012

Цель работы:

Ознакомиться с современными антивирусными продуктами, научиться работать и настраивать антивирусы и сетевые экраны.

Задание:

1. Исследовать один из вариантов антивирусных продуктов на предмет качественной проработки интерфейса.
2. Проанализировать работу каждого антивируса на тестовом наборе вирусов с эвристикой и без.
3. Замерить параметры работы антивируса (время работы антивируса на тестовом каталоге диска, загрузка ЦП, количество найденных вирусов).
4. Оценить работу сетевого экрана антивирусного продукта (удобство, защита от угроз, профилирование).

Ход работы:

1. Установлен антивирус на компьютер, обновлены антивирусные базы.
2. Исследован интерфейс работы с антивирусом.
3. Распакован архив virus_collection.rar во временную папку на диске C:.
4. Антивирусом была просканирована папка с коллекцией вирусов, сначала без эвристического анализа, затем с ним.
5. Замерено время сканирования антивируса и загрузка ЦП в процессе работы.
6. Исследована работа сетевого экрана (Firewall) антивирусного продукта по методике, представленной в текстовом файле Firewall.txt.
7. Все исследуемые данные занесены в таблицу.

Результаты:

В результате проделанной работы произведено ознакомление с антивирусным продуктом. Была рассмотрена практическая работа антивируса по нахождению вирусов на тестовой коллекции вирусов при помощи эвристического анализа и без него. Изучена работа с сетевым экраном по защите компьютера от внешних угроз.

Выводы:

Рассмотренный антивирусный продукт обладает рядом особенностей, в ряде которых стоит отметить достоинства и недостатки: высокая скорость сканирования, большая база вирусных записей, что дает возможность найти большее количество известных вирусов по сравнению с другими антивирусами. Из недостатков стоит отметить непродуманность сетевого экрана, частота появления диалогового окна которого слишком большая по сравнению с другими антивирусными продуктами.

В целом рассмотренный антивирусный продукт справляется с большинством поставленных задач и составляет большую конкуренцию на рынке антивирусов.