

Примечание: В данной лабораторной работе считается, что для прямого измерения доступна только величина $y(t)$, все ее производные ($\dot{y}(t)$, $\ddot{y}(t)$ и т.д.) к измерению недоступны и не могут быть использоваться в регуляторах напрямую. Общая схема системы, замкнутой регулятором, приведена на рисунке 1.

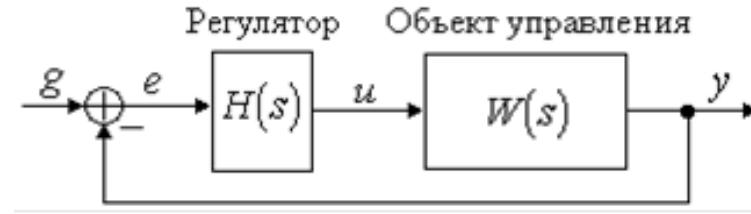


Рис. 1: Общий вид замкнутой системы

Задание 1. Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном

Рассмотреть объект управления 2-го порядка, заданный дифференциальным уравнением

$$a_2\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_0y = u. \quad (1)$$

Придумать такие коэффициенты a_2 , a_1 и a_0 , чтобы она содержала хотя бы один неустойчивый полюс. Задаться ненулевым $\dot{y}(0)$ ($y(0)$ принять равным 0) и выполнить моделирования свободного движения разомкнутой системы $y_{\text{раз}}(t)$.

Рассмотреть регулятор вида

$$u = k_0y + k_1\dot{y} \quad (2)$$

и построить структурную схему замкнутой системы, состоящей из объекта управления (1) и регулятора (2), в режиме стабилизации. Определить, при каких значениях параметров k_0 и k_1 замкнутая система будет устойчивой.

Задаться конкретными значениями параметров k_0 и k_1 , обеспечивающими асимптотически устойчивую замкнутую систему, и выполнить моделирования движения замкнутой системы $y_z(t)$ с начальными условиями, выбранными в рамках предыдущего моделирования. При моделировании в программной среде MATLAB/Simulink для получения производной $\dot{y}(t)$ использовать блок Derivative (см рисунок 2), основанный на использовании конечной разности с малым шагом Δt

$$\dot{y}(t) \approx \frac{y(t) - y(t - \Delta t)}{\Delta t}.$$

Сравнить результаты экспериментов и сделайте выводы.

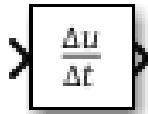


Рис. 2: Внешний вид блока Derivative в программной среде MATLAB/Simulink

Ожидаемые результаты:

- Коэффициенты a_2, a_1 и a_0 , выбранные начальные условия $\dot{y}(0)$, диапазоны значений k_0 и k_1 , выбранные параметры k_0 и k_1 .
- Листинги аналитических расчетов.
- Структурная схема замкнутой системы.
- График выхода $y_{\text{раз}}(t)$.
- График выхода $y_3(t)$.
- Выводы.

Задание 2. Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном

Модифицировать замкнутую систему из **Задания 1**, заменив аппроксимацию производной $\dot{y}(t)$ на передаточную функцию вида

$$W_{\text{п.дифф.}}(p) = \frac{p}{Tp + 1}. \quad (3)$$

Определить аналитически критические значения параметра T , при которых система становится неустойчивой для выбранных ранее k_0 и k_1 .

Осуществить аналогичное **Заданию 1** моделирование движения замкнутой системы $y_3(t)$ для нескольких различных значений параметра T , соответствующих устойчивой системе. Привести соответствующие графики выхода $y(t)$ и сопоставить их между собой и с результатом моделирования замкнутой системы из **Задания 1**. Сделать выводы.

Ожидаемые результаты:

- Диапазон значений T , выбранные значения параметра T .
- Листинги аналитических расчетов.
- Графики выходов $y_3(t)$ (включая полученный в **Задании 1**), их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.
- Выводы.

Задание 3. Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка (П-регулятор)

Рассмотреть замкнутую систему, заданную структурной схемой на рисунке 1, где

$$H(s) = k$$

— пропорциональный регулятор. Варианты передаточной функции объекта управления $W(s)$ и характеристики задающего воздействия $g(t)$ приведены в **Таблице 1**. Задаться не менее чем тремя значениями параметра k , которые бы обеспечивали асимптотически устойчивую замкнутую систему.

Исследовать стационарный режим работы при $g(t) = A$: выполнить моделирование для выбранных значений k , а также аналитически определить предельное значение ошибки $e_{\text{уст}}$ для каждого значения k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы о влиянии величины k .

Исследовать режим движения с постоянной скоростью при $g(t) = Vt$: выполнить моделирование для выбранных значений k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы о влиянии величины k .

Ожидаемые результаты:

- Выбранные значения параметра k .
- Исследование стационарного режима работы:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Аналитически посчитанные значения $e_{\text{уст}}$.

- Исследование режима движения с постоянной скоростью:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

- Листинги аналитических расчетов.
- Выводы.

Задание 4. Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка (И-регулятор)

Рассмотреть замкнутую систему, заданную структурной схемой на рисунке 1, где

$$H(s) = \frac{k}{s}$$

— интегральный регулятор. Варианты передаточной функции объекта управления $W(s)$ и характеристики задающего воздействия $g(t)$ приведены в **Таблице 1**. Задаться не менее чем тремя значениями параметра k , которые бы обеспечивали асимптотически устойчивую замкнутую систему.

Исследовать стационарный режим работы при $g(t) = A$: выполнить моделирование для выбранных значений k , а также аналитически определить предельное значение ошибки e для каждого значения k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы.

Исследовать режим движения с постоянной скоростью при $g(t) = Vt$: выполнить моделирование для выбранных значений k , а также аналитически определить предельное значение ошибки e для каждого значения k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы.

Исследовать режим движения с постоянным ускорением при $g(t) = \frac{at^2}{2}$: выполнить моделирование для выбранных значений k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы.

Ожидаемые результаты:

- Выбранные значения параметра k .
- Исследование стационарного режима работы:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Аналитически посчитанные значения $e_{\text{уст}}$.

- Исследование режима движения с постоянной скоростью:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Лабораторная работа №4 Точностные свойства системы, астатизмы и регуляторы

Аналитически посчитанные значения $e_{уст}$.

- Исследование режима движения с постоянным ускорением:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

- Листинги аналитических расчетов.
- Выводы.

Задание 5. Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка (ПИ-регулятор)

Рассмотреть замкнутую систему, заданную структурной схемой на рисунке 1, где

$$H(s) = \frac{k_{\text{И}}}{s} + k_{\text{П}}$$

— пропорционально-интегральный регулятор. Варианты передаточной функции объекта управления $W(s)$ и характеристики задающего воздействия $g(t)$ приведены в **Таблице 1**. Задаться не менее чем двумя значениями каждого из параметров $k_{\text{И}}$ и $k_{\text{П}}$ и составить все возможные комбинации пар выбранных значений параметров (т.е. не менее четырех комбинаций). Все пары параметров должны обеспечивать асимптотически устойчивую замкнутую систему.

Исследовать режим движения с постоянной скоростью при $g(t) = Vt$: выполнить моделирование для выбранных значений k , а также аналитически определить предельное значение ошибки $e_{\text{уст}}$ для каждого значения k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы.

Исследовать режим слежения за гармоническим сигналом при $g(t) = a \sin(\omega t)$: выполнить моделирование для выбранных значений k . Сопоставить результаты между собой и сделать выводы.

Ожидаемые результаты:

- Выбранные пары параметров $k_{\text{И}}$ и $k_{\text{П}}$.
- Исследование режима движения с постоянной скоростью:

Графики выхода $y(t)$ и входа $g(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Аналитически посчитанные значения $e_{\text{уст}}$.

- Исследование режима слежения за гармоническим сигналом:

Графики выхода $y(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

Графики ошибки $e(t)$, их сопоставление. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.

- Листинги аналитических расчетов.
- Выводы.

Задание 6. Задача слежения за гармоническим сигналом (регулятор общего вида)

Рассмотреть замкнутую систему, заданную структурной схемой на рисунке 1, где

$$H(s) = \frac{\sum_{k=0}^m (b_k s^k)}{\sum_{k=0}^m (a_k s^k)} \quad (4)$$

— регулятор общего вида. Варианты передаточной функции объекта управления $W(s)$ и характеристики задающего воздействия $g(t)$ приведены в **Таблице 1**.

Для задающего гармонического задающего сигнала $g(t) = A \sin(\omega t)$ синтезировать *физически реализуемый* регулятор вида (4), способный обеспечить предельное значение ошибки $e_{\text{уст}} = 0$:

- Определить необходимый порядок m ;
- Задаться типовым характеристическим полиномом соответствующего порядка:
 - Типовым **полиномом Ньютона** для нечетных вариантов;
 - Типовым **полиномом Баттерворт** для четных вариантов;
- Задаться конкретным значением коэффициента подобия ω_0 ;
- Вычислить конкретные параметры b_k и a_k ;
- Подтвердить работоспособность аналитическим расчетом $e_{\text{уст}}$;
- Выполнить моделирование, демонстрирующее работоспособность синтезированного регулятора;
- Сравнить фактическое время переходного процесса для ошибки $e(t)$ с теоретическим, полученным на основании **Теоремы подобия**.

Ожидаемые результаты:

- Регулятор общего вида $H(s)$ в конкретных значениях параметров b_k и a_k .
- Графики сигналов $y(t)$, $e(t)$.
- Аналитически посчитанное значение $e_{\text{уст}}$.
- Листинги аналитических расчетов.
- Выводы.

Лабораторная работа №4 Точностные свойства системы, астатизм и регуляторы

Контрольные вопросы для подготовки к защите:

1. Какие задачи теории автоматического управления вы знаете?
2. Что такое астатизм? Как определить порядок астатизма системы?
3. Какая формула у ПИД-регулятора?
4. Какое влияние на замкнутую систему оказывают дифференциальные компоненты регуляторов?
5. Какое влияние на замкнутую систему оказывают интегральные компоненты регуляторов?
6. При каких значениях параметра T реальное дифференцирующее звено (3) приближается к идеальному?
7. В каких случаях возможен аналитический расчет установившейся ошибки? Каким образом его можно произвести?
8. Как звучит формулировка Теоремы подобия?
9. Можно ли обеспечить слежение с нулевой установившейся ошибкой за гармоническим сигналом при помощи ПИД-регулятора? Почему?

Таблица 1: Исходные данные для Заданий 3 и 4

Бап.	$W(s)$	Параметры сигнала g				Бап.	$W(s)$	Параметры сигнала g			
		A	Vt	$\frac{at^2}{2}$	$A \sin(\omega t)$			A	Vt	$\frac{at^2}{2}$	$A \sin(\omega t)$
1	$\frac{2}{s^2+3s+1}$	1	$0.5t$	$0.25t^2$	$\sin(0.25t)$	16	$\frac{3}{2s^2+2s+1.5}$	4	$3t$	$0.3t^2$	$24 \sin(0.3t)$
2	$\frac{3}{s^2+2.5s+1}$	2	$2t$	$0.5t^2$	$2 \sin(0.5t)$	17	$\frac{3}{s^2+7.5s+2}$	4	t	$0.25t^2$	$4 \sin(0.25t)$
3	$\frac{1.5}{s^2+0.5s+1}$	2	$4t$	$0.2t^2$	$2 \sin(0.2t)$	18	$\frac{3}{1.5s^2+2s+4}$	3	$2t$	$0.45t^2$	$3 \sin(0.45t)$
4	$\frac{1.5}{s^2+2s+1}$	1	t	$0.4t^2$	$\sin(0.4t)$	19	$\frac{4}{1.5s^2+2.5s+7}$	4	$3t$	$0.35t^2$	$4 \sin(0.35t)$
5	$\frac{1}{s^2+s+2}$	2	$2t$	$0.3t^2$	$2 \sin(0.3t)$	20	$\frac{2}{s^2+3.5s+1}$	3	$2t$	$0.5t^2$	$3 \sin(0.5t)$
6	$\frac{5}{s^2+5s+6}$	1	t	$0.45t^2$	$\sin(0.45t)$	21	$\frac{1}{2.5s^2+s+1}$	3	$0.5t$	$0.2t^2$	$3 \sin(0.2t)$
7	$\frac{1}{2s^2+3s+1}$	1	$1.5t$	$0.25t^2$	$\sin(0.25t)$	22	$\frac{2}{s^2+5s+4}$	3	$3t$	$0.1t^2$	$3 \sin(0.1t)$
8	$\frac{2}{0.5s^2+2s+1}$	1	$2t$	$0.2t^2$	$\sin(0.2t)$	23	$\frac{3}{s^2+3s+2}$	4	$3t$	$0.35t^2$	$4 \sin(0.35t)$
9	$\frac{2}{0.5s^2+s+2}$	2	$2t$	$0.5t^2$	$2 \sin(0.5t)$	24	$\frac{4}{3s^2+3s+2}$	4	$2t$	$0.25t^2$	$4 \sin(0.25t)$
10	$\frac{8}{0.5s^2+s+8}$	2	t	$0.3t^2$	$2 \sin(0.3t)$	25	$\frac{1}{1.5s^2+2s+1}$	4	$3t$	$0.15t^2$	$4 \sin(0.15t)$
11	$\frac{1}{0.5s^2+s+1}$	2	$2t$	$0.45t^2$	$2 \sin(0.45t)$	26	$\frac{1}{4s^2+6s+1}$	1	$3t$	$0.5t^2$	$\sin(0.5t)$
12	$\frac{1}{0.1s^2+0.7s+1}$	4	$2t$	$0.4t^2$	$4 \sin(0.4t)$	27	$\frac{1}{4s^2+0.6s+1}$	3	$2.5t$	$0.4t^2$	$3 \sin(0.4t)$
13	$\frac{2}{0.3s^2+0.2s+1}$	3	$2.5t$	$0.2t^2$	$3 \sin(0.2t)$	28	$\frac{1}{0.1s^2+0.8s+1}$	1	$3.5t$	$0.3t^2$	$\sin(0.3t)$
14	$\frac{3}{0.5s^2+0.9s+1}$	3	$3.5t$	$0.35t^2$	$3 \sin(0.35t)$	29	$\frac{2}{s^2+2s+2}$	2	$3t$	$0.55t^2$	$2 \sin(0.55t)$
15	$\frac{3}{s^2+4s+1}$	3	$1.5t$	$0.1t^2$	$3 \sin(0.1t)$	30	$\frac{4}{s^2+s+3}$	1	$3t$	$0.5t^2$	$\sin(0.5t)$