

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

**Лабораторная работа №1**

**«Анализ динамических характеристик эталонных моделей  
систем со стандартной настройкой»**

по дисциплине Системы управления в электроприводе

Выполнил: Студент группы  
R34362 Ванчукова Т. С.  
Преподаватель: Ловлин С.Ю.

Санкт-Петербург, 2023

## Содержание

Задание .....	3
Ход работы.....	4
Линейный оптимум.....	4
Задание 1 .....	4
Задание 2 .....	4
Задание 3 .....	5
Задание 4 .....	6
Биномиальный оптимум.....	8
Задание 1 .....	8
Задание 2 .....	8
Задание 3 .....	9
Задание 4 .....	10
Оптимум по модулю .....	12
Задание 1 .....	12
Задание 2 .....	12
Задание 3 .....	13
Задание 4 .....	14
Симметричный оптимум .....	16
Задание 1 .....	16
Задание 2 .....	16
Задание 3 .....	17
Задание 4 .....	18
Астатизм третьего порядка .....	20
Задание 1 .....	20
Задание 2 .....	20
Задание 3 .....	21
Задание 4 .....	22
Результаты работы .....	23

### Задание

Исследование характеристик систем, настроенных на биномиальный оптимум, оптимум по модулю, симметричный оптимум, настройкой на астатизм третьего порядка.

#### Задание 1

Для перечисленных стандартных передаточных функций разомкнутых систем  $W_{\text{раз}}(s)$  найти соответствующие им передаточные функции замкнутых систем  $W_{\text{зам}}(s)$ , снять кривые переходных процессов при отработке скачка задающего воздействия.

#### Задание 2

Параметры переходных процессов: время переходного процесса для входа в 5% зону –  $t_{p5}$ , время переходного процесса для входа в 2% зону –  $t_{p2}$ , перерегулирование –  $\Delta u$  занести в Таблица 1.

#### Задание 3

Снять кривые переходных процессов при отработке задающих воздействий вида  $g = vt$  и  $g = at^2$ . Заполнить Таблица 2.

#### Задание 4

Снять ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем управления указанных выше эталонных настроек. Определить запас по амплитуде, запас по фазе и показатель колебательности.

Заполнить  
Таблица 3.

## Ход работы

$$T_u = 0.0116$$

Линейный оптимум

Задание 1

$$W_{\text{раз.лин.}}(s) = \frac{1}{T_u s}$$
$$W_{\text{зам.лин.}}(s) = \frac{1}{T_u s + 1}$$

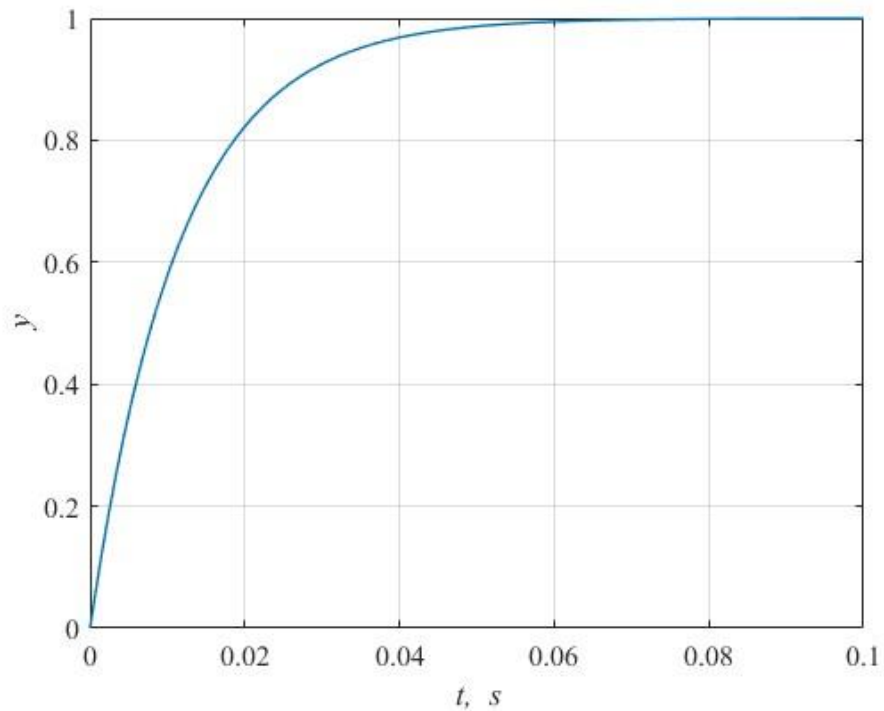


Рисунок 1. Кривая переходного процесса линейного оптимума

Задание 2

Найдем время переходного процесса для входа в 5% и в 2% зону.

$$t_{tr5} = t_1 - t_0$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_1$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$$t_{tr5} = 0.095$$

$$t_{tr2} = 0.098$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0$$

### Задание 3

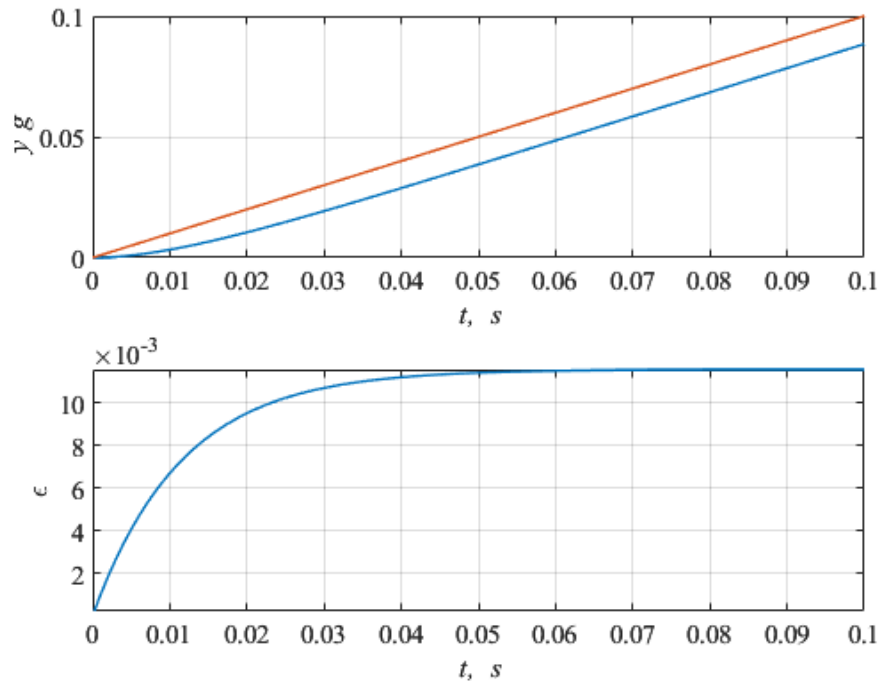


Рисунок 2. Кривая переходных процессов при обработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t$  и график ошибки

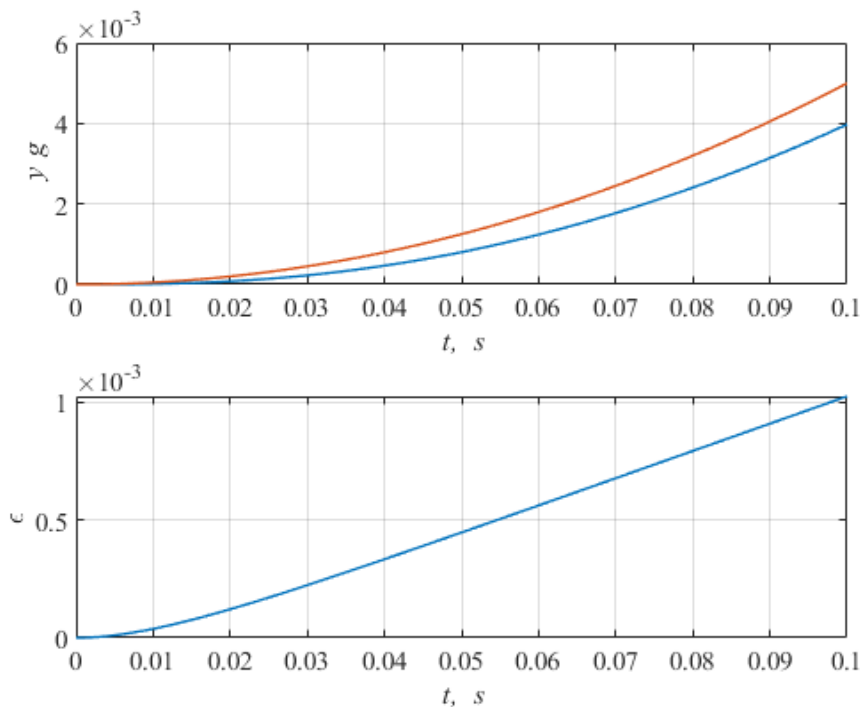


Рисунок 3. Кривая переходных процессов при обработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t^2$  и график ошибки

Так как при линейном воздействии ошибка равна установившемуся значению, а при квадратичном – бесконечности, система имеет первый порядок астатизма.

#### Задание 4

ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем:

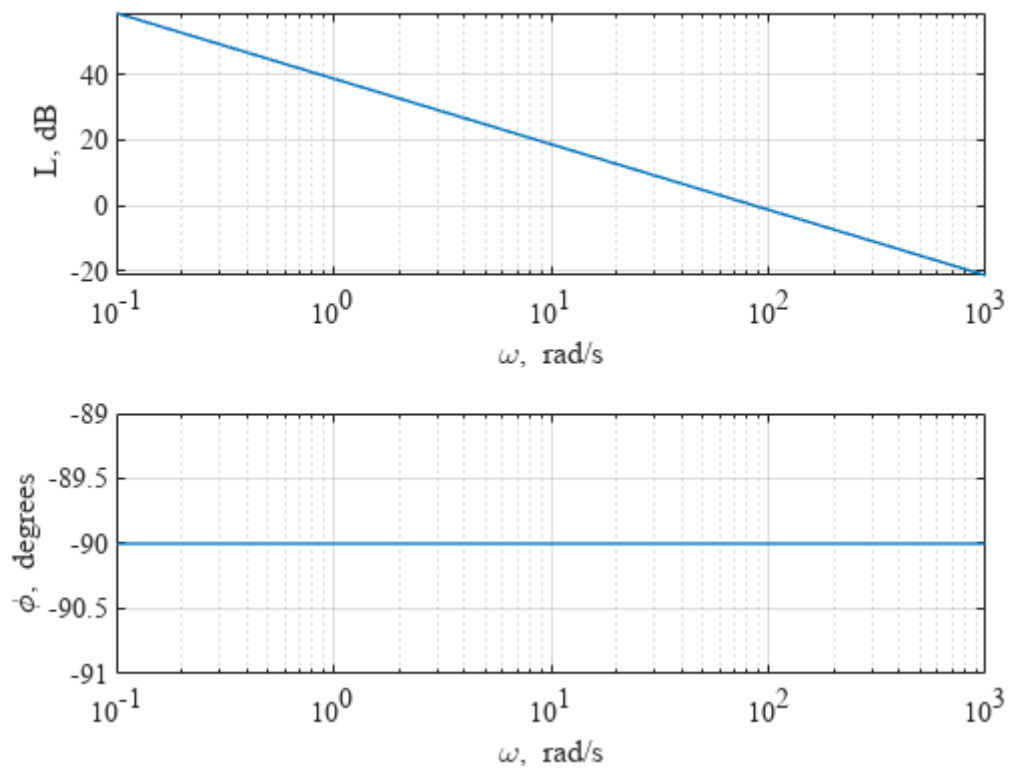


Рисунок 4. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы

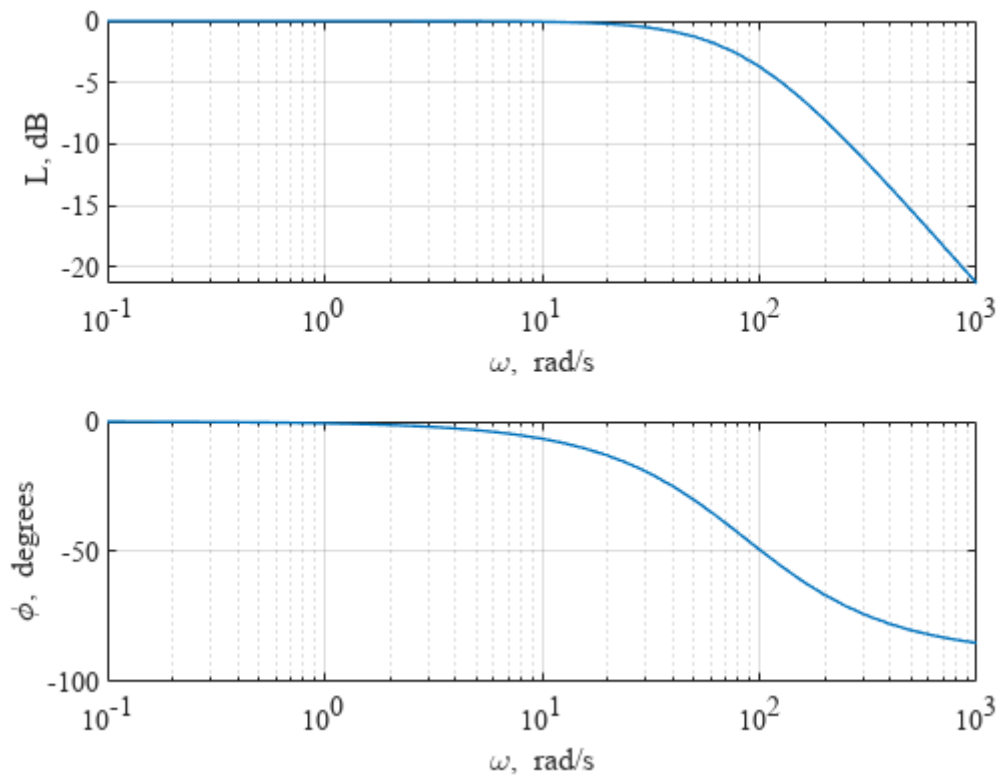


Рисунок 5. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций замкнутой системы

Определим запас по амплитуде, по фазе, показатель колебательности.  
По Рисунок 4 видим, что запас по амплитуде равен бесконечности.

Запас по фазе равен  $90^\circ$ , определяем по графикам:  $-90 - (-180) = 90^\circ$ .

$$\text{Показатель колебательности: } M = \frac{10^{\frac{\max(Lw) - Lw(1)}{20}}}{10^{\frac{Lw(1)}{20}}} = 1$$

## Биномиальный оптимум

### Задание 1

$$W_{\text{раз.бин.}}(s) = \frac{1}{3T_us(T_us + 1)}$$
$$W_{\text{зам.бин.}}(s) = \frac{1}{3T_us^2 + 3T_us + 1}$$

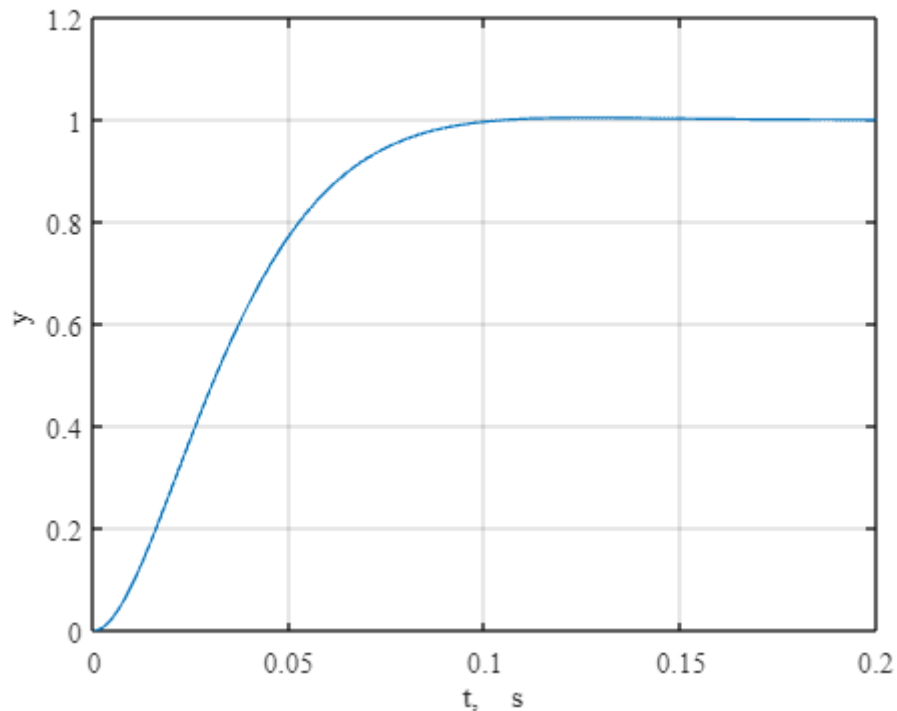


Рисунок 6. Кривая переходного процесса биномиального оптимума

### Задание 2

Найдем время переходного процесса для входа в 5% и в 2% зону.

$$t_{tr5} = t_1 - t_0$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_1$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$$t_{tr5} = 0.0753$$

$$t_{tr2} = 0.0863$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0.0041$$



### Задание 3

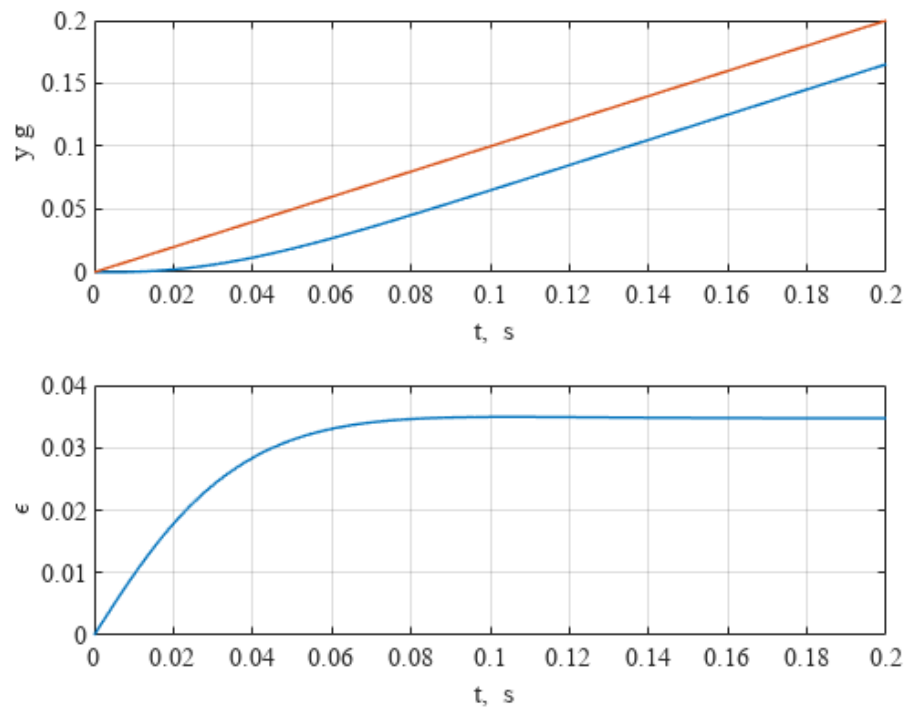


Рисунок 7. Кривая переходных процессов при обработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t$  и график ошибки

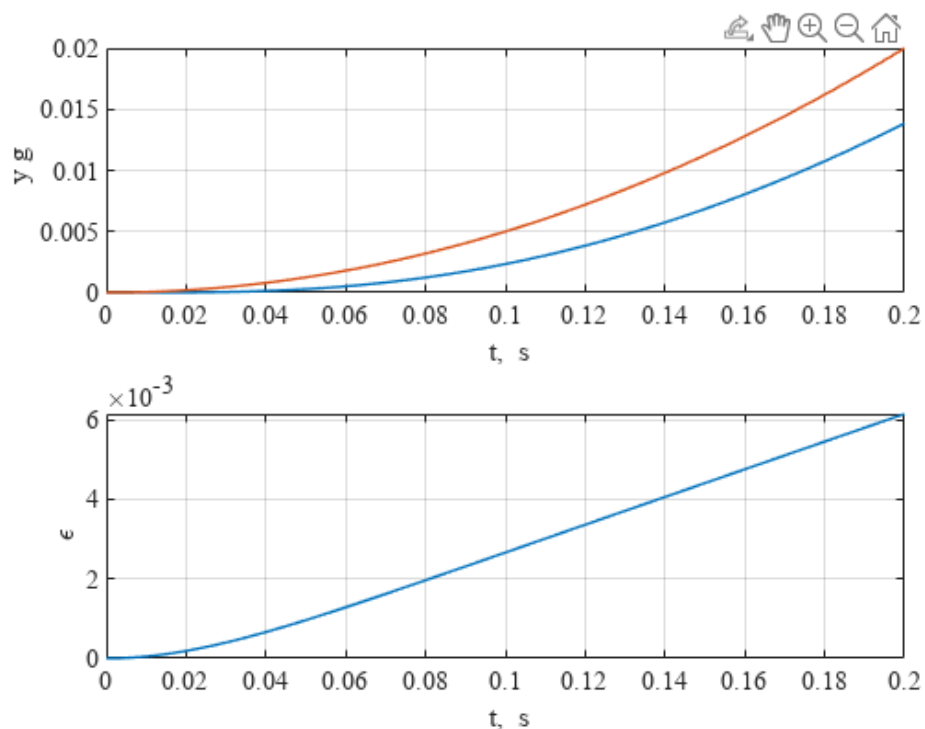


Рисунок 8. Кривая переходных процессов при обработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t^2$  и график ошибки

Так как при линейном воздействии ошибка равна установившемуся значению, а при квадратичном – бесконечности, система имеет первый порядок астатизма.

#### Задание 4

ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем:

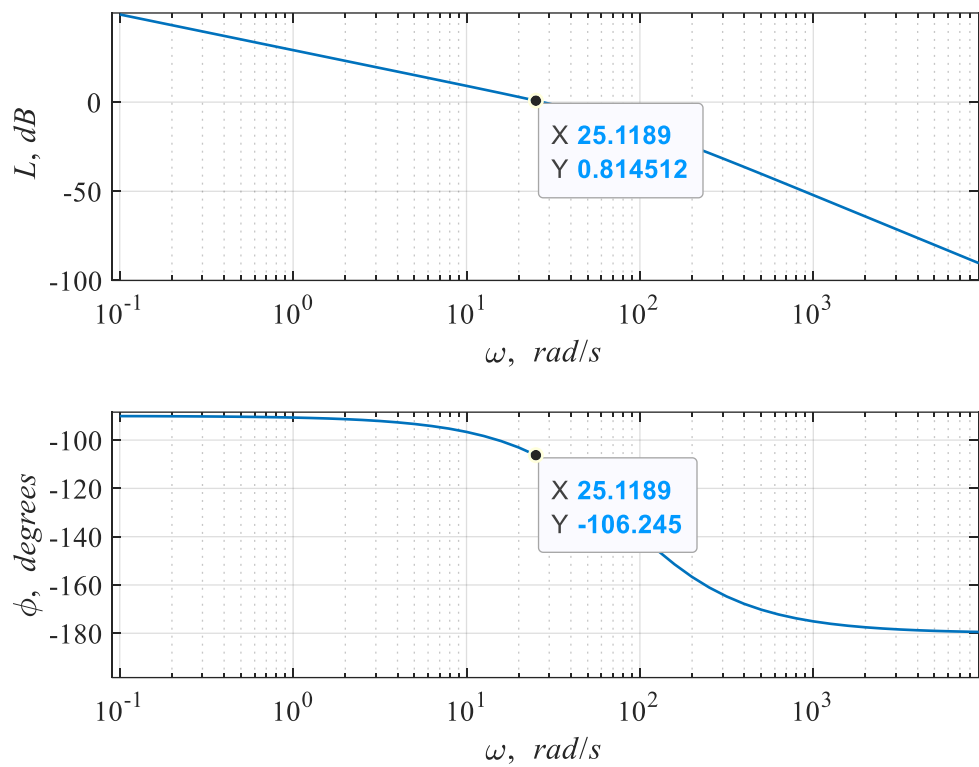


Рисунок 9. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы

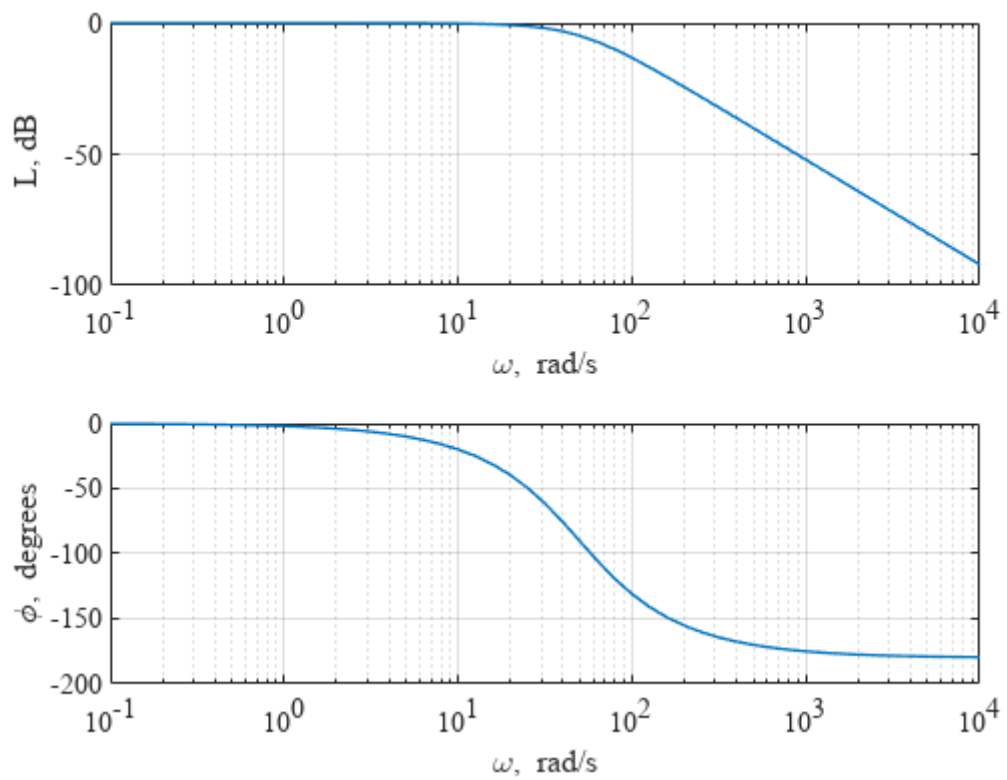


Рисунок 10. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций замкнутой системы

Определим запас по амплитуде, по фазе, показатель колебательности.  
По Рисунок 9 видим, что запас по амплитуде равен бесконечности.

Запас по фазе равен  $73^\circ$ , определяем по графикам:  $-107 - (-180) = 73^\circ$ .

Показатель колебательности:  $M = \frac{10^{\frac{\max(Lw) - Lw(1)}{20}}}{10^{\frac{Lw(1)}{20}}} = 1$

Оптимум по модулю

Задание 1

$$W_{\text{раз.мод.}}(s) = \frac{1}{2T_u s (T_u s + 1)}$$
$$W_{\text{зам.мод.}}(s) = \frac{1}{2T_u s^2 + 2T_u s + 1}$$

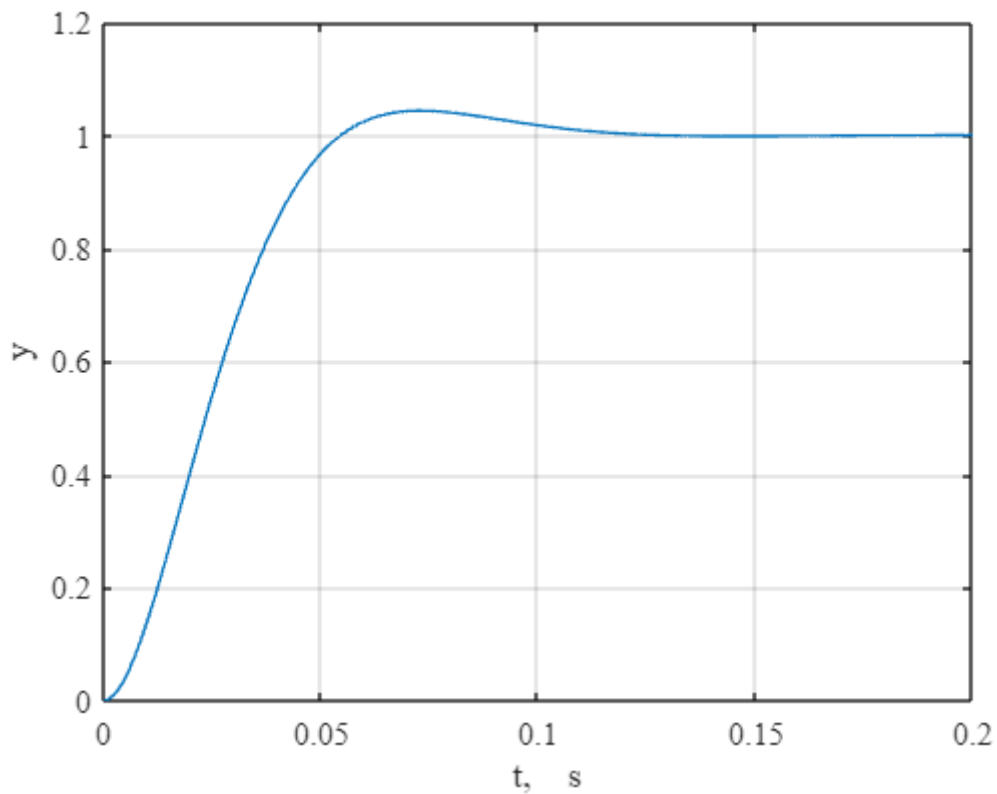


Рисунок 11. Кривая переходного процесса оптимума по модулю

Задание 2

Найдем время переходного процесса для входа в 5% и в 2% зону.

$$t_{tr5} = t_1 - t_0$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_1$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$$t_{tr5} = 0.0473$$

$$t_{tr2} = 0.0973$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0.0432$$

### Задание 3

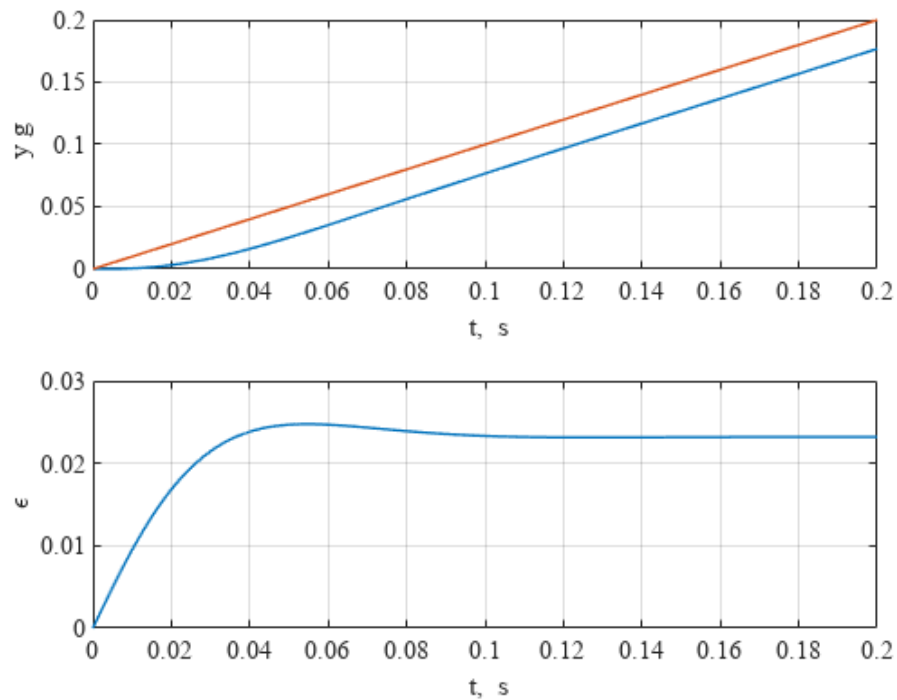


Рисунок 12. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t$  и график ошибки

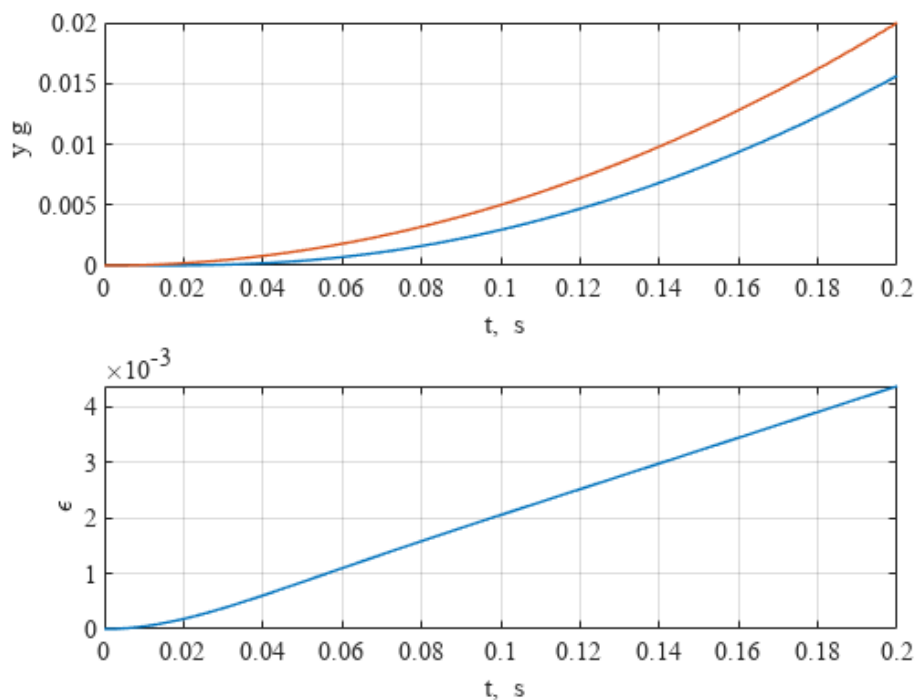


Рисунок 13. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t^2$  и график ошибки

Так как при линейном воздействии ошибка равна установившемуся значению, а при квадратичном – бесконечности, система имеет первый порядок астатизма.

#### Задание 4

ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем:

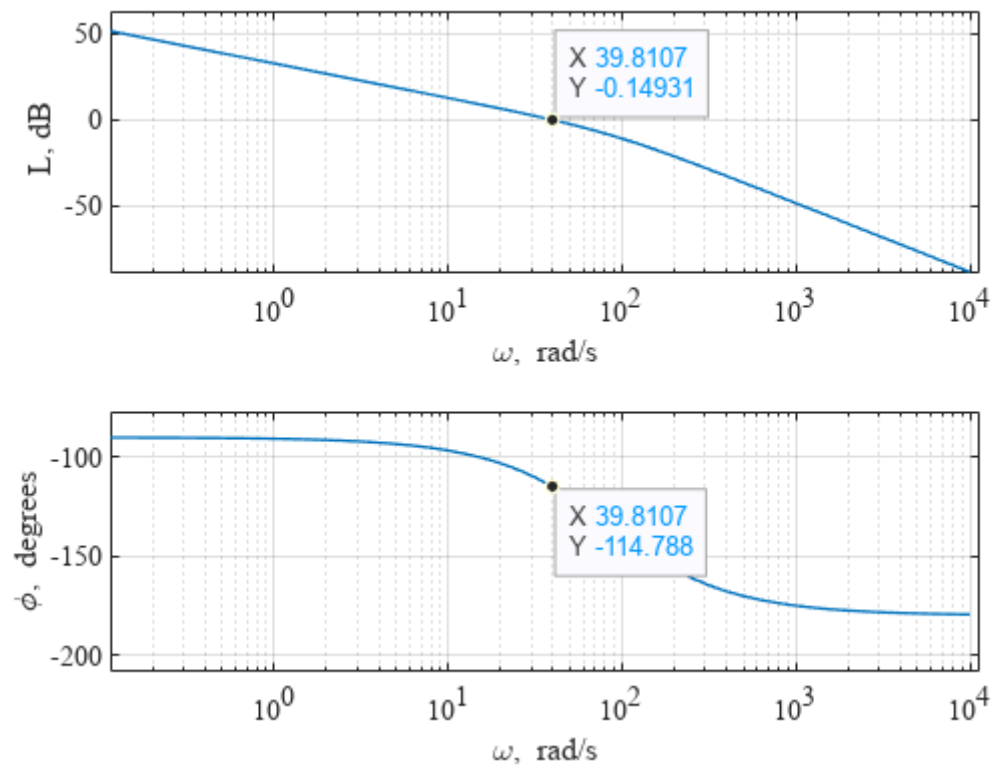


Рисунок 14. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы

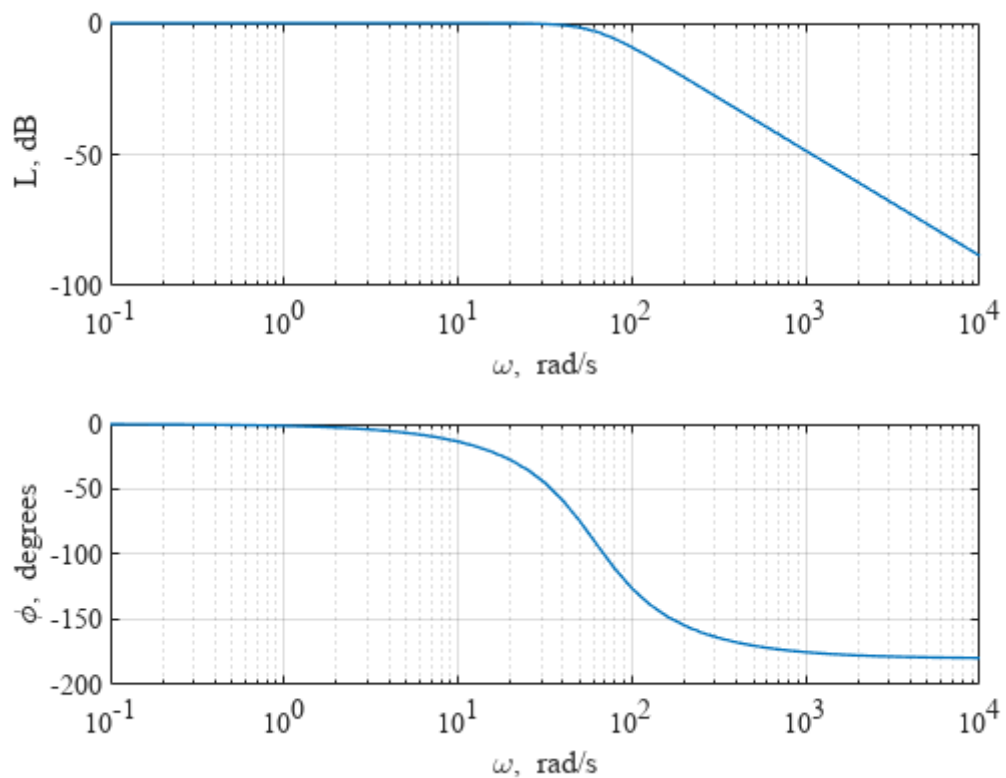


Рисунок 15. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций замкнутой системы

Определим запас по амплитуде, по фазе, показатель колебательности.  
По Рисунок 14 видим, что запас по амплитуде равен бесконечности.

Запас по фазе равен  $90^\circ$ , определяем по графикам:  $-115 - (-180) = 65^\circ$ .

$$\text{Показатель колебательности: } M = \frac{10^{\frac{\max(Lw) - Lw(1)}{20}}}{10^{\frac{Lw(1)}{20}}} = 1$$

## Симметричный оптимум

### Задание 1

$$W_{\text{раз.мод.}}(s) = \frac{4T_u s + 1}{8T_u^2 s^2 (T_u s + 1)}$$
$$W_{\text{зам.мод.}}(s) = \frac{4T_u s + 1}{8T_u^3 s^3 + 8T_u^2 s^2 + 4T_u s + 1}$$

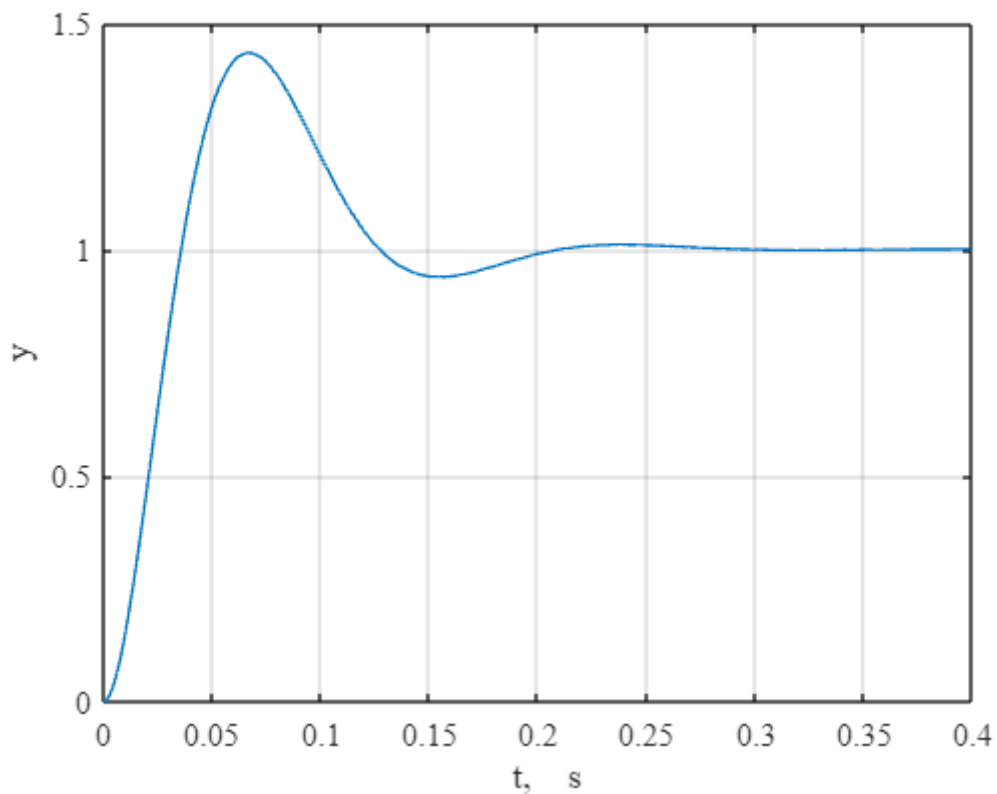


Рисунок 16. Кривая переходного процесса симметричного оптимума

### Задание 2

Найдем время переходного процесса для входа в 5% и в 2% зону.

$$t_{tr5} = t_1 - t_0$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_1$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$$t_{tr5} = 0.1703$$

$$t_{tr2} = 0.1913$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0.4338$$



### Задание 3

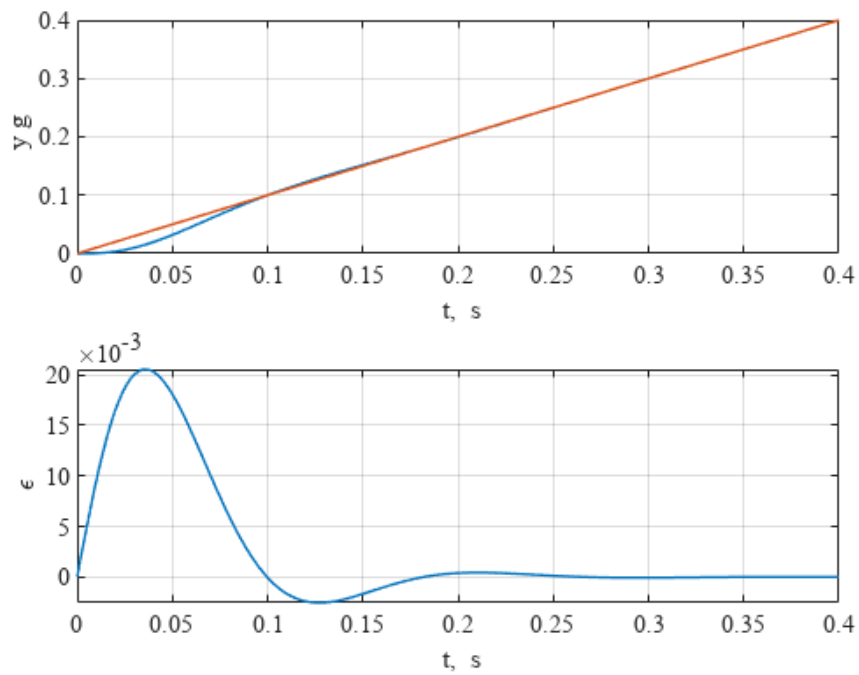


Рисунок 17. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t$  и график ошибки

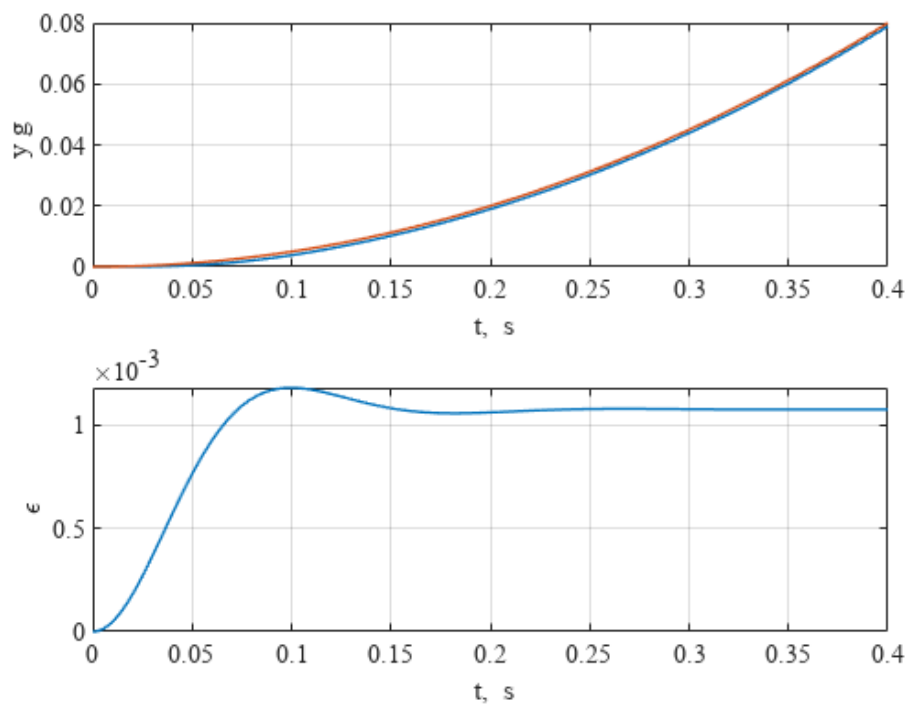


Рисунок 18. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t^2$  и график ошибки

Так как при линейном воздействии ошибка равна нулю, а при квадратичном – установившемся значению, система имеет второй порядок астатизма.

#### Задание 4

ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем:

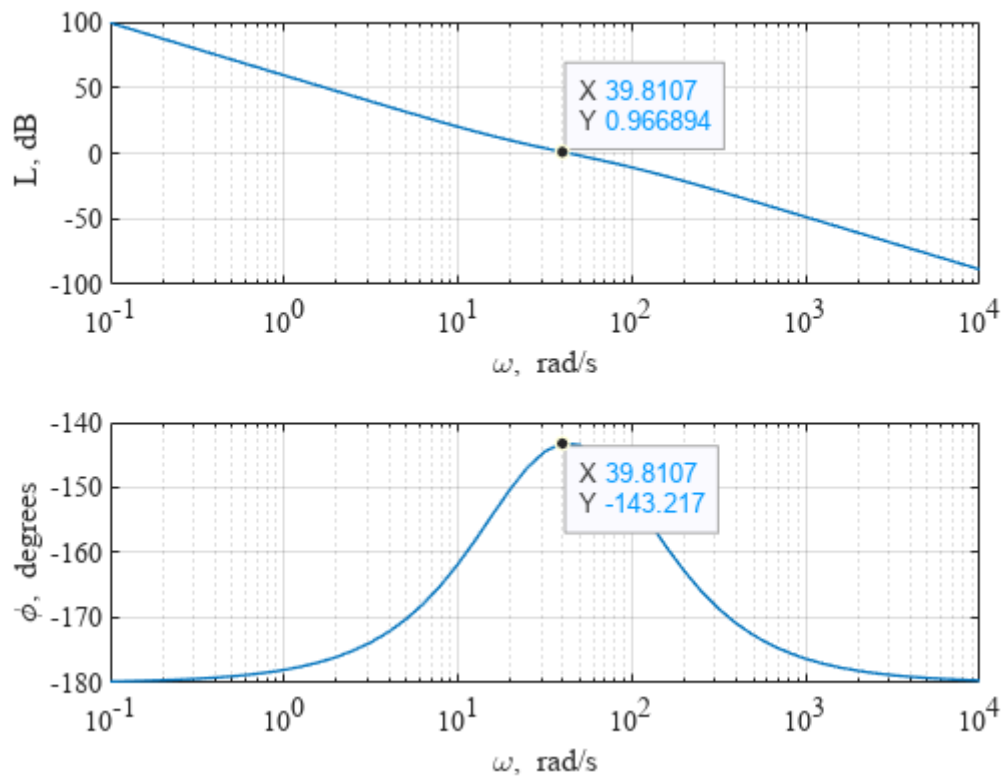


Рисунок 19. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы

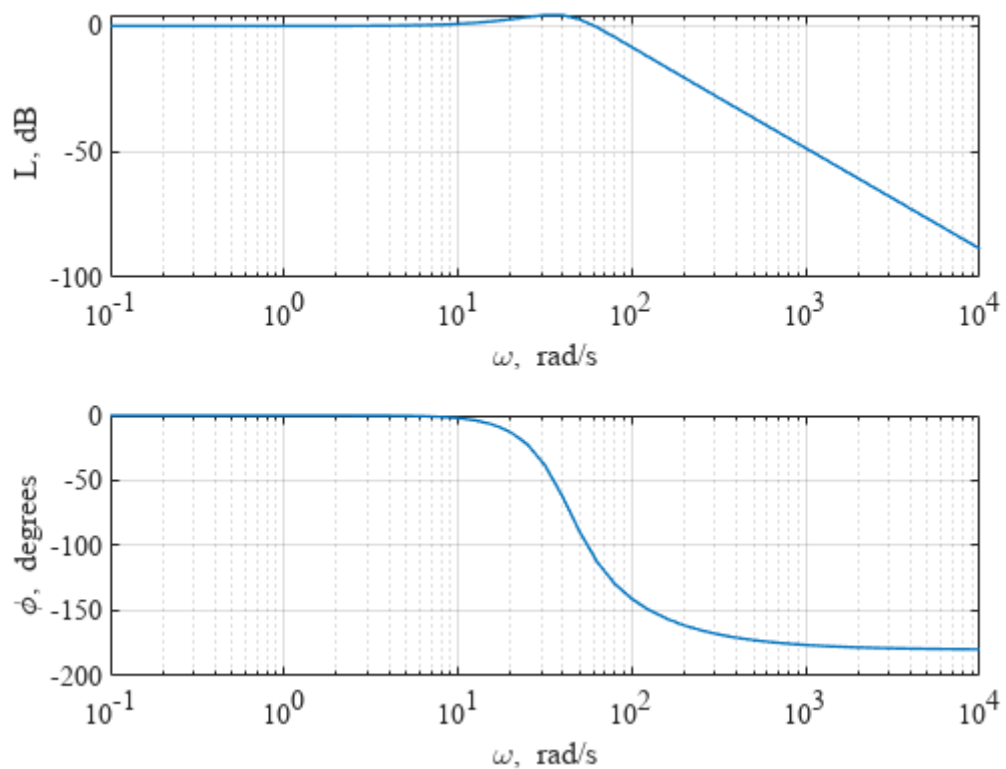


Рисунок 20. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций замкнутой системы

Определим запас по амплитуде, по фазе, показатель колебательности.

По Рисунок 19 видим, что запас по амплитуде равен бесконечности.

Запас по фазе равен  $37^\circ$ , определяем по графикам:  $-143 - (-180) = 37^\circ$ .

Показатель колебательности:  $M = \frac{10^{\frac{\max(Lw) - Lw(1)}{20}}}{10^{\frac{Lw(1)}{20}}} = 1.6515$ .

## Астатизм третьего порядка

### Задание 1

$$W_{\text{раз.аст.}}(s) = \frac{(16T_u s + 1)(4T_u s + 1)}{128T_u^3 s^3 (T_u s + 1)}$$

$$W_{\text{зам.аст.}}(s) = \frac{W_{\text{раз.аст.}}(s)}{1 + W_{\text{раз.аст.}}(s)} = \frac{64T_u^2 s^2 + 20T_u s + 1}{128T_u^4 s^4 + 128T_u^3 s^3 + 64T_u^2 s^2 + 20T_u s + 1}$$

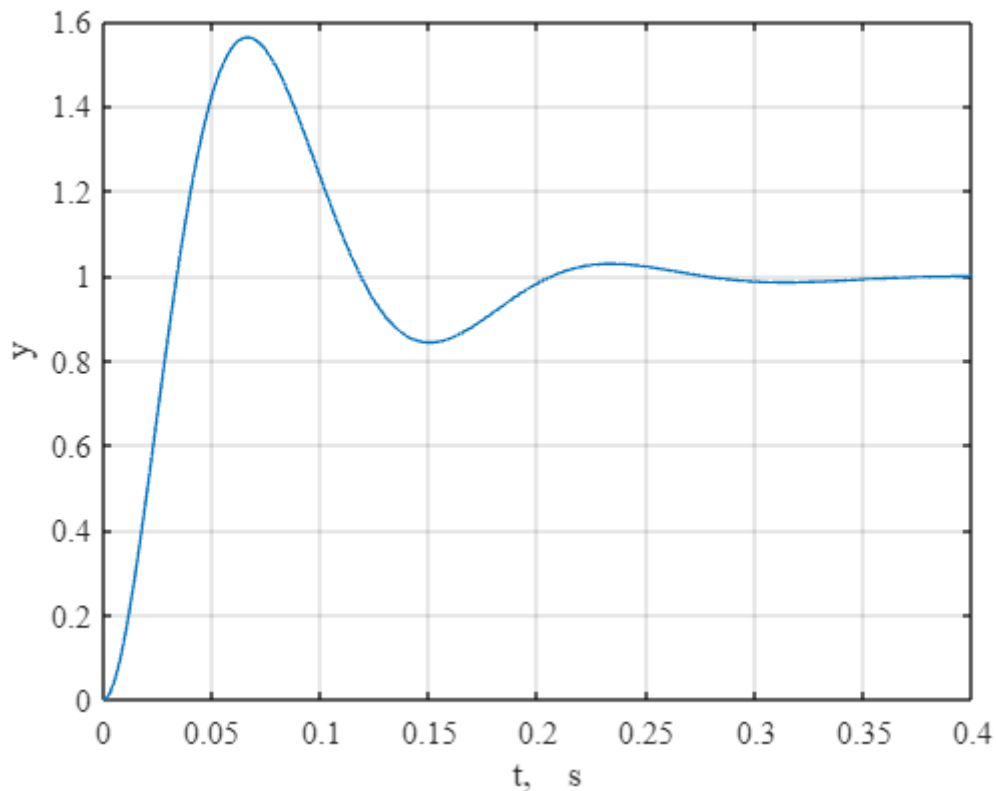


Рисунок 21. Кривая переходного процесса астатизма третьего порядка

### Задание 2

Найдем время переходного процесса для входа в 5% и в 2% зону.

$$t_{tr5} = t_1 - t_0$$

$t_0$  – время начала переходного процесса

$t_1$  – максимальное значения  $t$ , при котором справедливо:

$$\varepsilon(t_1) \geq D, D = 0.05 \cdot |y_0 - y_{ss}|$$

$$t_{tr5} = 0.1883$$

$$t_{tr2} = 0.2533$$

Вычислим перерегулирование  $\Delta y$ :

$$\Delta y = 0.5638$$

### Задание 3

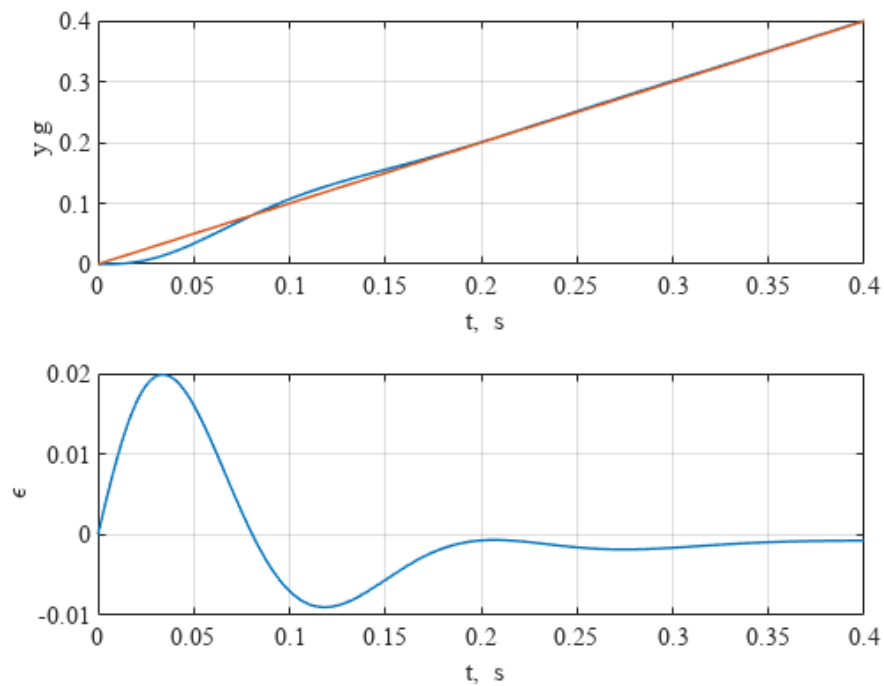


Рисунок 22. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t$  и график ошибки

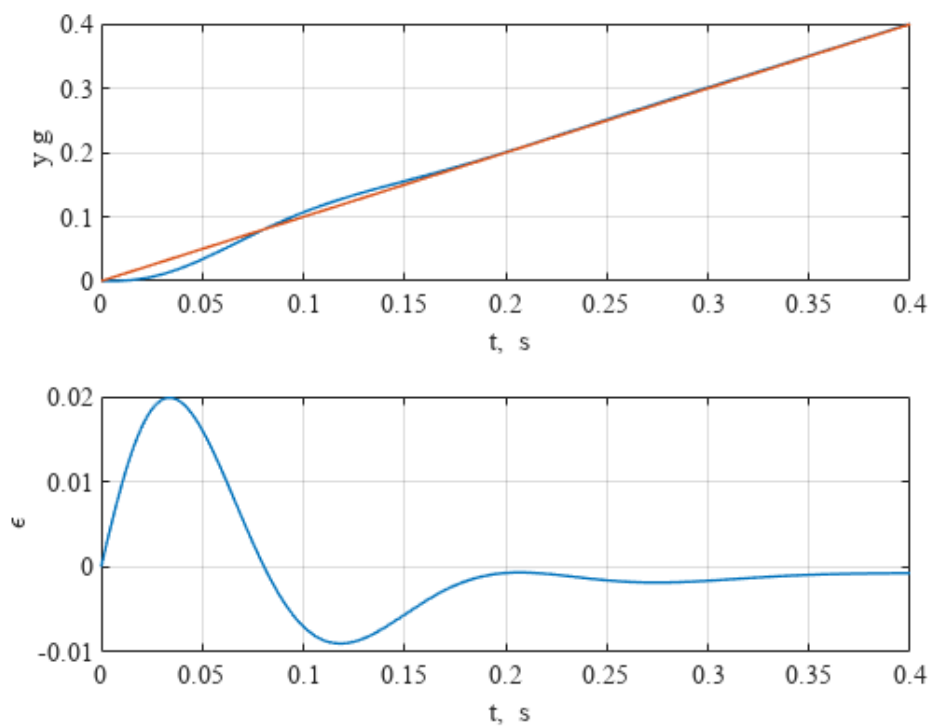


Рисунок 23. Кривая переходных процессов при отработке задающего воздействия вида  $g = 1 \cdot t^2$  и график ошибки

Так как при линейном и квадратичном воздействиях ошибка равна нулю, система имеет третий порядок астатизма.

#### Задание 4

ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутых и замкнутых систем:

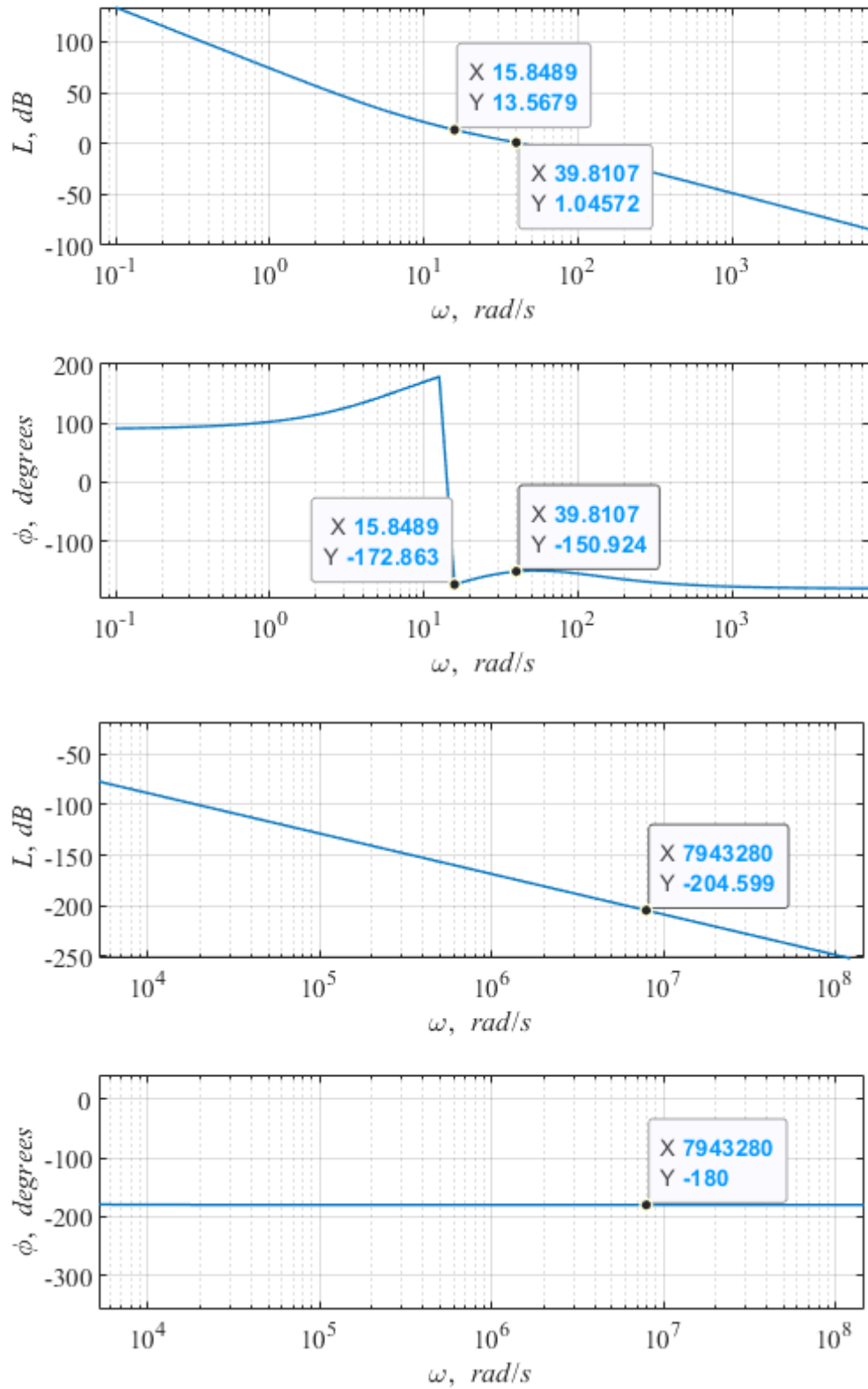


Рисунок 24. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций разомкнутой системы

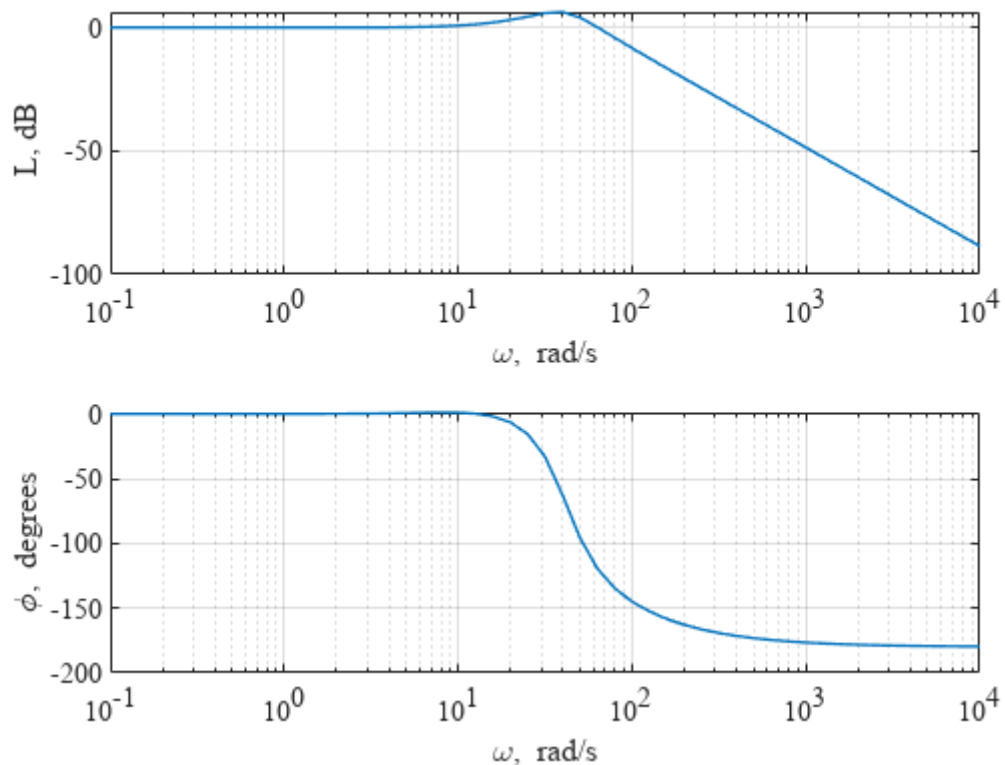


Рисунок 25. ЛАЧХ и ФЧХ передаточных функций замкнутой системы  
 Определим запас по амплитуде, по фазе, показатель колебательности.  
 По Рисунок 24 видим, что запас по амплитуде равен:  $0 - (-204.599) = 204.599$ .

Запас по фазе равен  $90^\circ$ , определяем по графикам:  $-150 - (-180) = 30^\circ$ .

Показатель колебательности:  $M = \frac{10^{\frac{\max(Lw) - Lw(1)}{20}}}{10^{\frac{Lw(1)}{20}}} = 2.0571$

## Результаты работы

Таблица 1

Эталонная модель	$t_{p5}, \text{с}$	$t_{p2}, \text{с}$	$\Delta y$
Линейный оптимум	0.095	0.098	0
Биномиальный оптимум	0.0753	0.0863	0.0041
Оптимум по модулю	0.0473	0.0973	0.0432
Симметричный оптимум	0.1703	0.1913	0.4338

Астатизм третьего порядка	0.1883	0.2533	0.5638
---------------------------------	--------	--------	--------

Таблица 2

Эталонная модель	Статическая система	Астатизм первого порядка	Астатизм второго порядка	Астатизм третьего порядка
Линейный оптимум		✓		
Биномиальный оптимум		✓		
Оптимум по модулю		✓		
Симметричный оптимум			✓	
Астатизм третьего порядка				✓

Таблица 3

Эталонная модель	Показатель колебательности	Запас по амплитуде	Запас по фазе
Линейный оптимум	1	$\infty$	90°
Биномиальный оптимум	1	$\infty$	73°
Оптимум по модулю	1	$\infty$	65°
Симметричный оптимум	1.6515	$\infty$	37°
Астатизм третьего порядка	2.0571	204.599	30°



**Вывод:** в процессе выполнения лабораторной работы были исследованы характеристики систем, настроенных на биномиальный оптимум, оптимум по модулю, симметричный оптимум, настройкой на астатизм третьего порядка, а именно были вычислили прямые показатели качества (время переходного процесса, перерегулирование, показатель колебательности), частотные характеристики: были построены ЛАЧХ и ФЧХ, вычислены запасы по амплитуде и фазе.

В ходе проведенного исследования было выявлено, что линейный, биномиальный и технический оптимумы являются астатизмами первого порядка, следовательно, только при линейно-возрастающем сигнале эти оптимумы могут достигнуть установившейся ошибки. Симметричный оптимум – астатизм второго порядка, значит, установившееся ошибка может быть достигнута при квадратичном воздействии, а при линейно-возрастающем стремится к нулю. Астатизм третьего порядка при линейно-возрастающем и квадратичном сигналах стремится к нулю (результаты представлены в Таблица 2).

Также можно сделать вывод (Таблица 1), что лучшими динамическими показателями (быстродействие и перерегулирование) обладает линейный оптимум, а худшими астатизм третьего порядка. У астатизма третьего порядка наибольший показатель колебательности и наименьший запас по фазе.