

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Калужский филиал

федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э.

Баумана (национальный исследовательский университет)»

(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)



ФАКУЛЬТЕТ ИУК «Информатика и управление»

КАФЕДРА ИУКЗ «Системы автоматического управления»

ОТЧЁТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**«Определение частотных характеристик
систем автоматического управления»**

**ДИСЦИПЛИНА: «Общая теория автоматического
управления»**

Выполнил: студент гр. ИУКЗ-51Б

_____ (Смирнов Ф.С.)

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Проверил:

_____ (Корнюшин Ю.П.)

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Дата сдачи (защиты):

Результаты сдачи (защиты):

- Балльная оценка:

- Оценка:

Калуга , 2023

Цель лабораторной работы - формирование практических навыков по нахождению частотных характеристик линейных систем управления.

Задача лабораторной работы - освоение технологии нахождения частотных характеристик линейных систем управления экспериментальным методом и согласно формул, в случае задания системы с использованием передаточных функций. Закрепление полученных знаний на практике.

Эксперимент 1. Экспериментальное определение частотных характеристик пропорционального (усилительного) звена.

Передаточная функция звена $W(s) = K$.

1.1. Получить самостоятельно частотные характеристики исследуемого звена: $W(j\omega)$, $P(\omega)$, $Q(\omega)$, $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $L(\omega)$, ЛФЧХ и построить качественно графики полученных функций.

$$W(s) = 3.5$$

$$P(\omega) = 3.5$$

$$Q(\omega) = 0$$

$$W(j\omega) = 3.5 = 3.5 \cdot e^{j \cdot 0}$$

$$A(\omega) = 3.5$$

$$\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}\right) = 0$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg A(\omega) = 20 \cdot \lg(3.5)$$

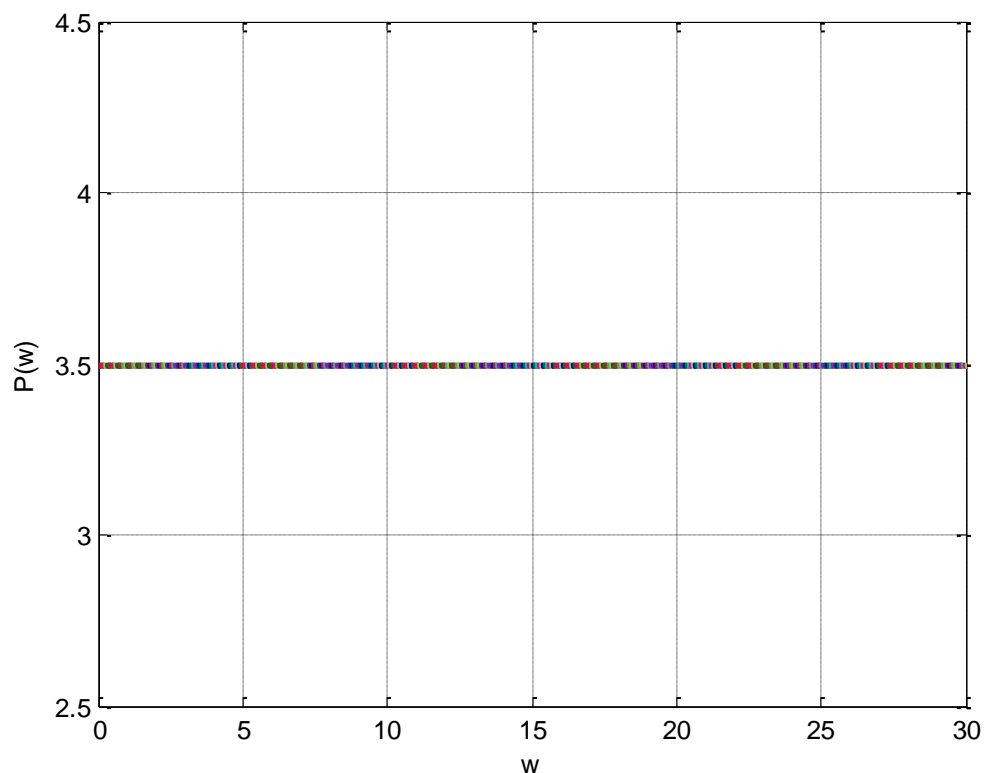


Рис. 1 – Вещественная частотная характеристика

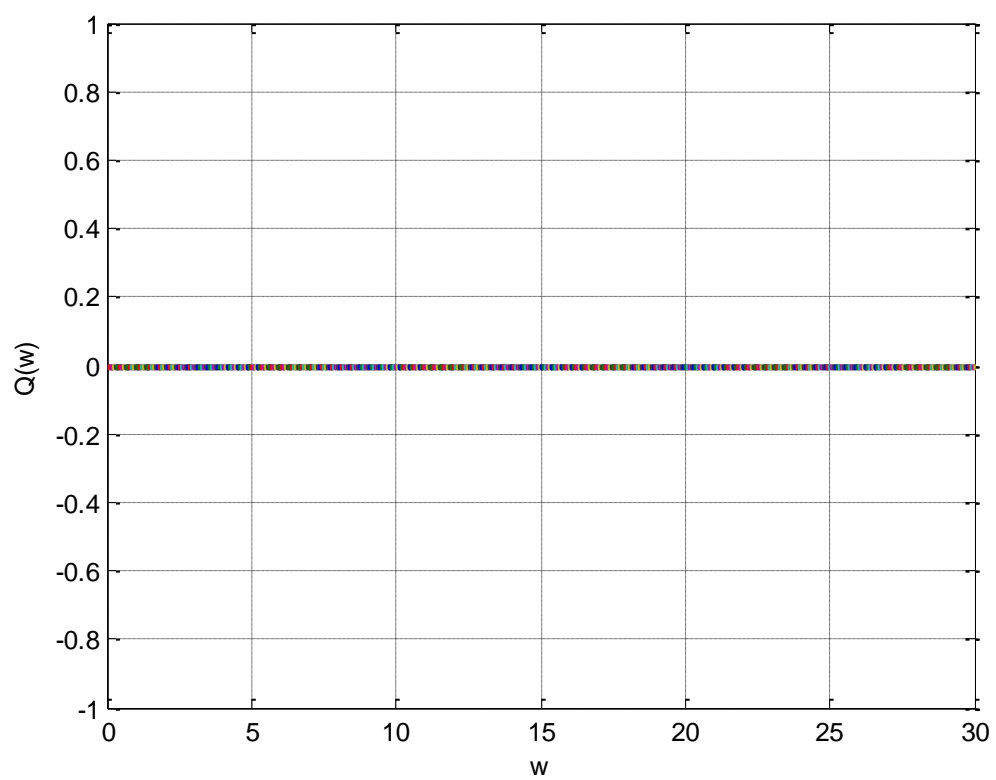


Рис. 2 – Мнимая частотная характеристика

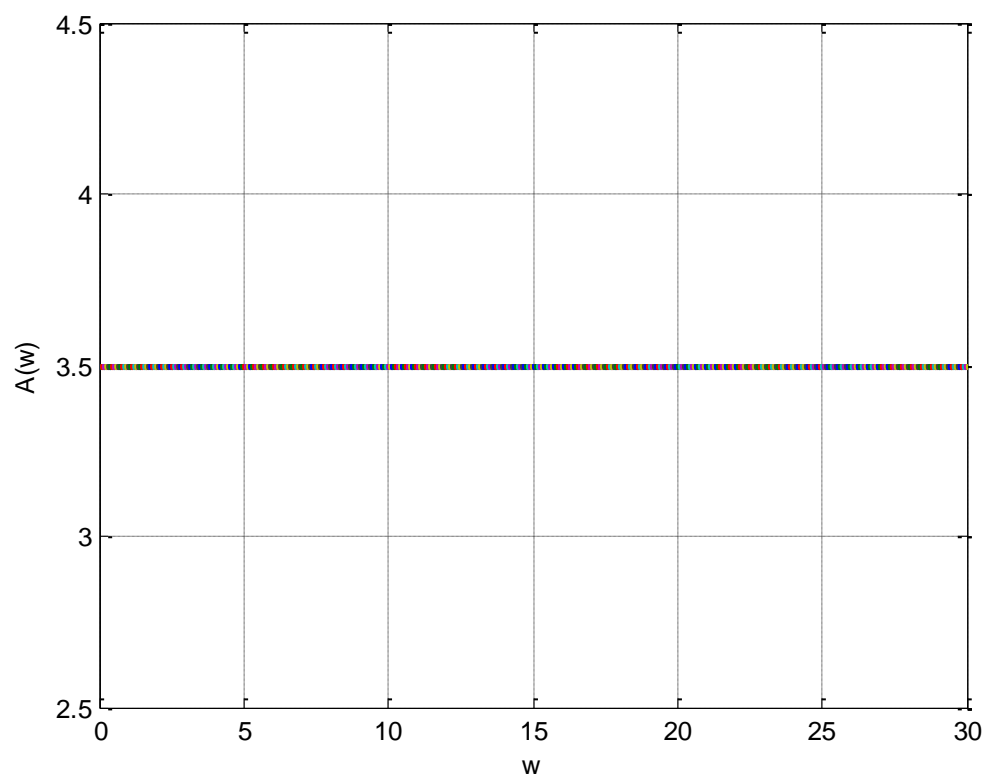


Рис. 3 – Амплитудная частотная характеристика

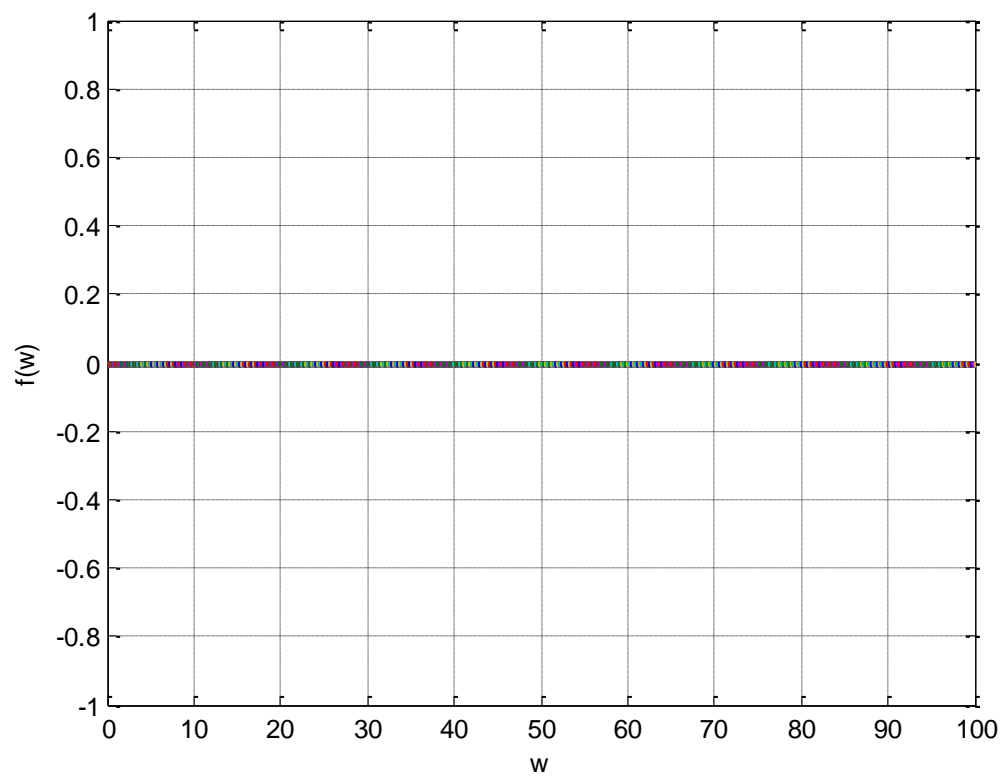


Рис. 4 – Фазочастотная характеристика

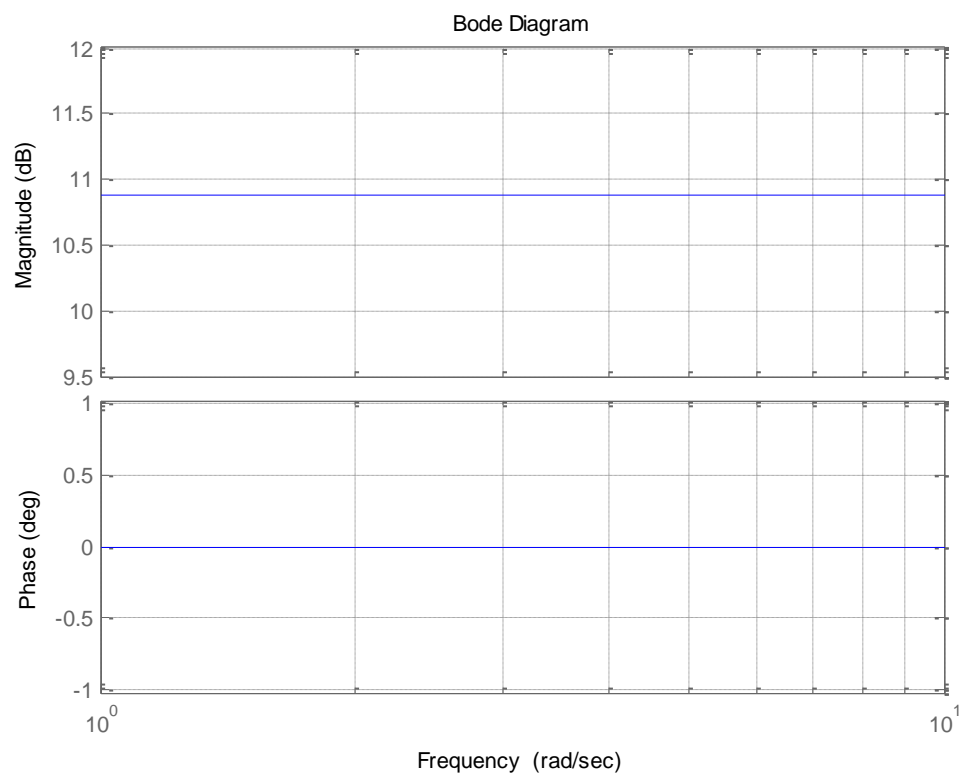


Рис. 5 – ЛАЧХ и ЛФЧХ

1.2. Для получения схемы набора использовать блоки Sin, Transfer Fcn, Mux, Scope, соединённые последовательно. На блоке Transfer Fcn набрать заданную передаточную функцию. На экране осциллографа обязательно должны быть входной и выходной сигналы.

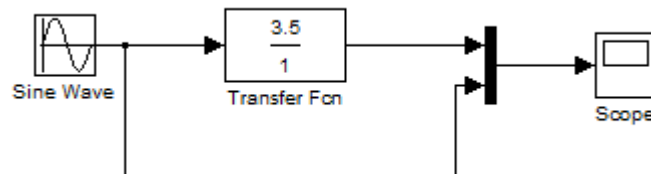


Рис. 6 – Схема пропорционального(усилительного) звена

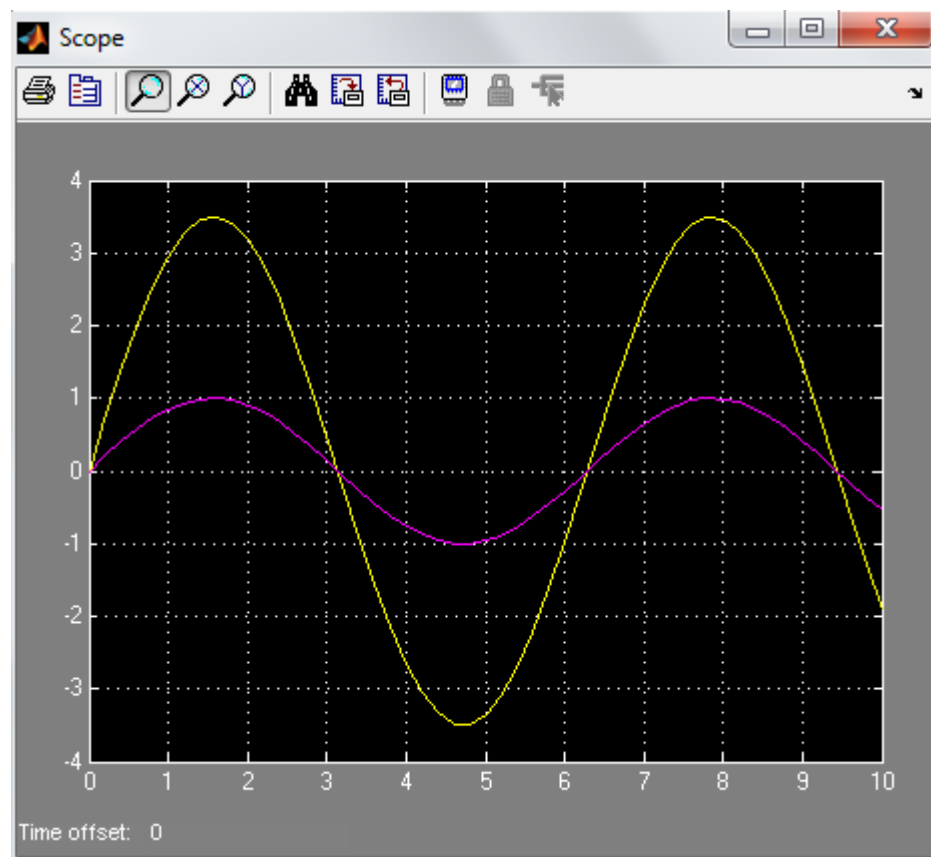


Рис. 7 – Входной и выходной сигналы на экране осциллографа

1.3. Определить отношение амплитуд сигналов \hat{A}_x / A_y и сдвиг фаз между ними для различных значений частоты ω в пределах от $0,1 \text{ c}^{-1}$ до 10 c^{-1} . Эксперимент провести для 3-4 значений частоты, результаты занести в таблицу 1.

φ_y - значение по горизонтальной оси, соответствующее максимальному значению входного сигнала;

φ_x - значение по горизонтальной оси, соответствующее максимальному значению выходного сигнала;

M_φ - масштабный коэффициент, соответствующий цене деления по горизонтальной оси, позволяющий определить величину фазового сдвига в градусах.

Например: $M_\varphi = 180/3.14$, где 180 – градусы; 3.14 – значение времени, соответствующее пересечению входного сигнала горизонтальной оси, при заданной частоте 1 рад/сек.

$$\varphi(\omega) = M_\varphi(\varphi_y - \varphi_x)$$

Таблица 1

ω	\dot{A}_y	\dot{A}_x	\dot{A}_x / A_y	φ_y	φ_x	$\varphi_y - \varphi_x$	M_φ	$\varphi(\omega)$
0.1	1	3.5	3.5	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{180}{\pi}$	0
1	1	3.5	3.5	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{180}{\pi}$	0
10	1	3.5	3.5	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{180}{\pi}$	0

1.4. По полученным значениям $\dot{A}(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ построить графики.

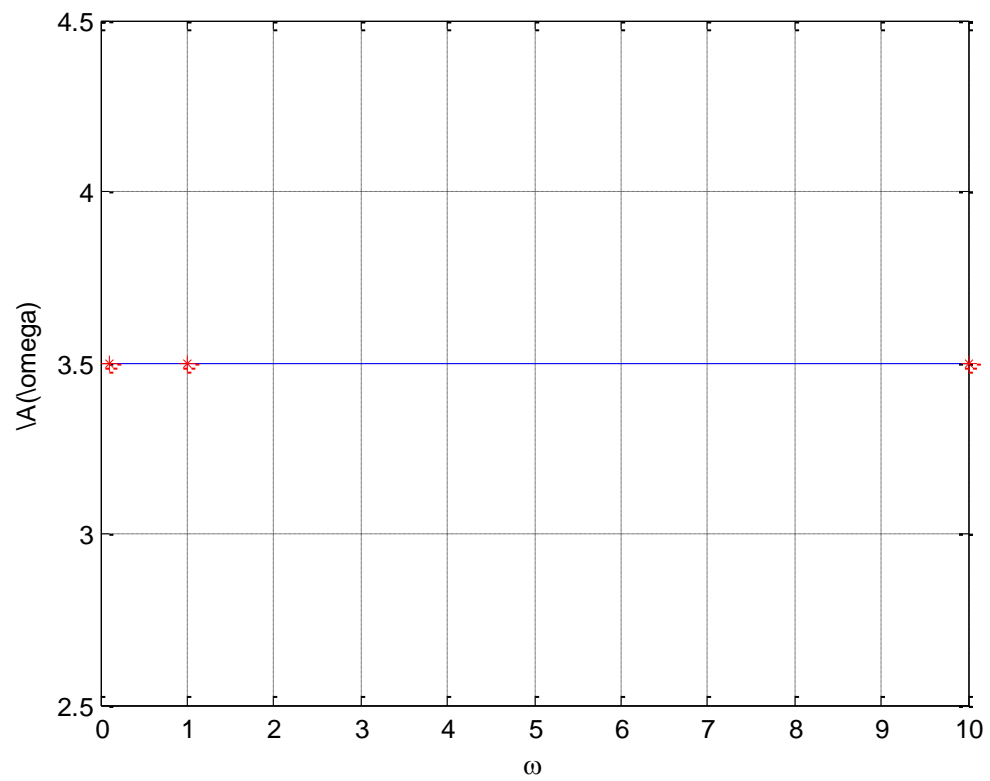


Рис. 8 – Экспериментальная АЧХ

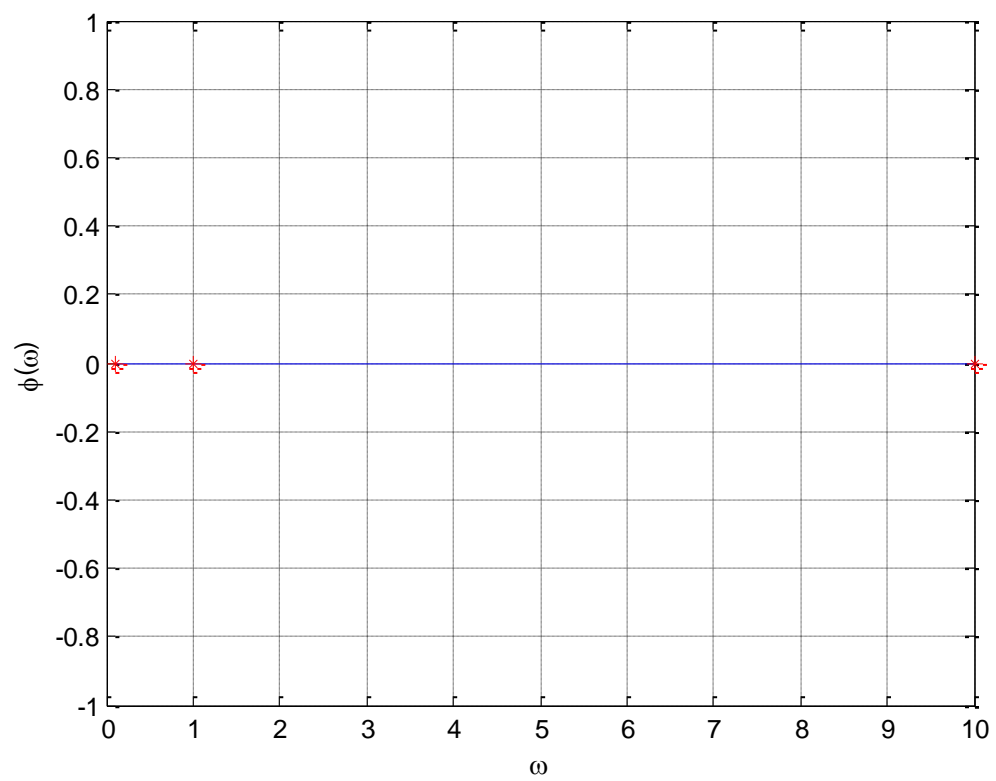


Рис. 9 – Экспериментальная ФЧХ

1.5. Сравнить экспериментальные характеристики с теоретическими, оценить погрешность эксперимента.

Экспериментальные характеристики совпадают с теоретическим.

Эксперимент 2. Экспериментальное определение частотных характеристик интегрирующего звена.

Передаточная функция: $W(s) = \frac{K}{s}$.

Скопировать схему моделирования эксперимента 1, задать требуемую передаточную функцию на блоке Transfer Fcn. Получить на экране осциллографа одновременно изображение входного и выходного сигналов.

Повторить пункты 1.1 – 1.5.

$$W(s) = \frac{3.5}{s}$$

$$W(j\omega) = \frac{3.5}{j\omega} = \frac{3.5j}{j^2\omega} = 0 + j\frac{-3.5}{\omega}$$

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} = \sqrt{\frac{3.5^2}{\omega^2}} = \frac{3.5}{\omega}$$

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \arctg \left[\frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \right] = \arctg \left[-\frac{3.5}{\omega \cdot 0} \right]$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg A(\omega) = 20 \cdot \lg \left(\frac{3.5}{\omega} \right)$$

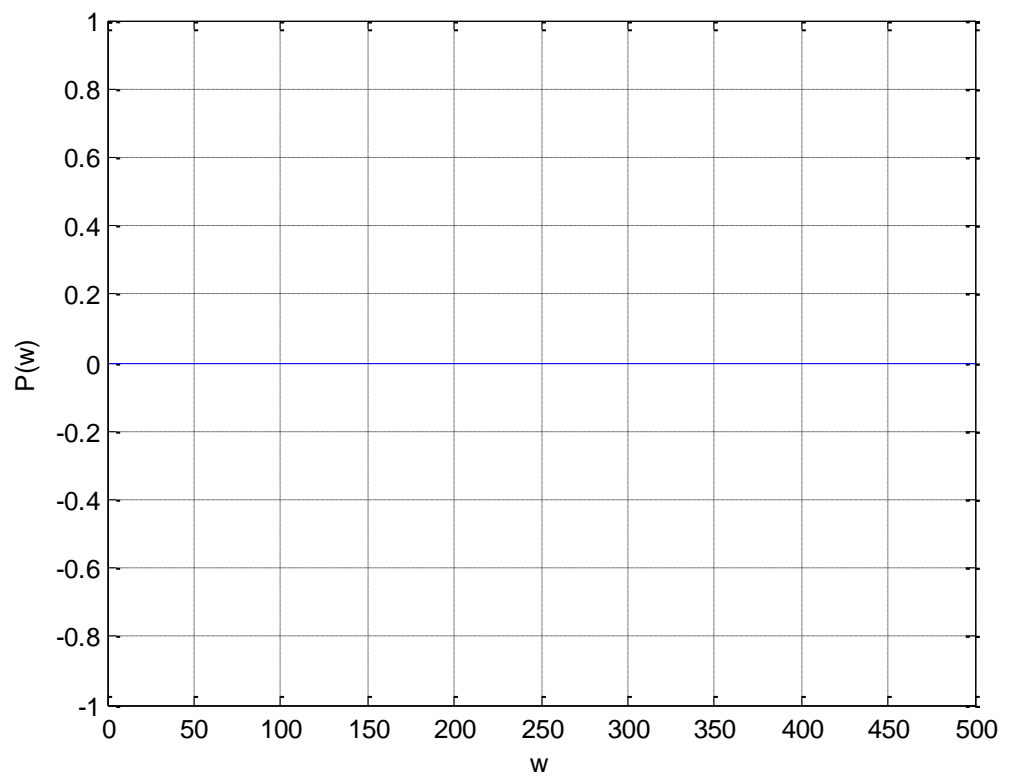


Рис. 10 – Вещественная частотная характеристика

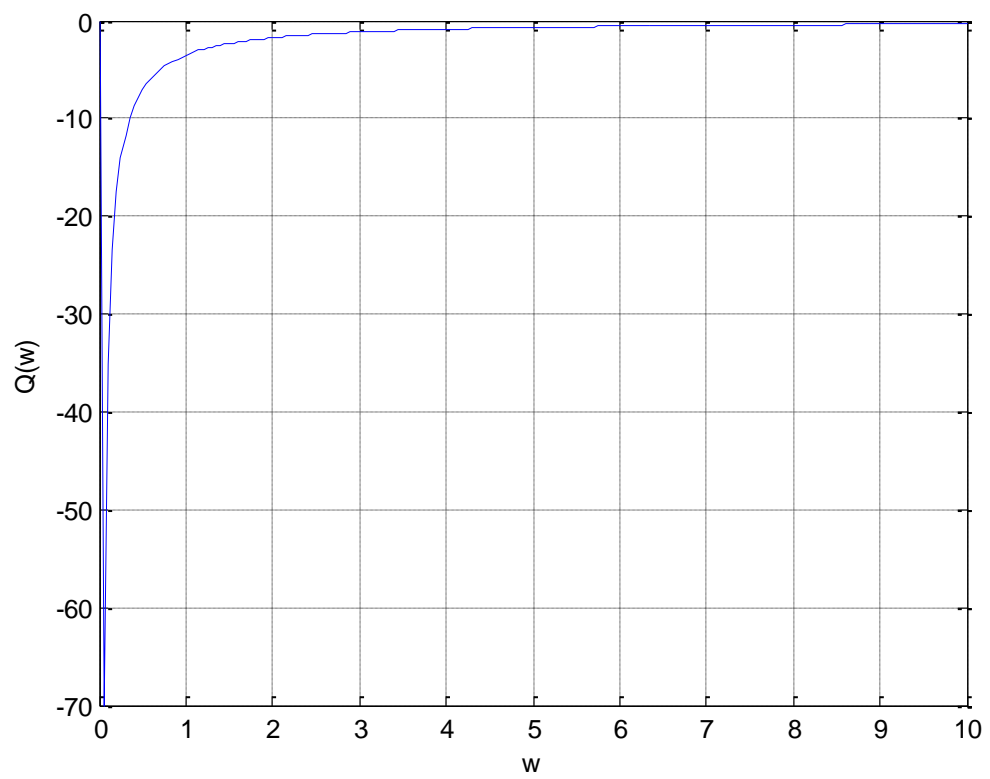


Рис. 11 – Мнимая частотная характеристика

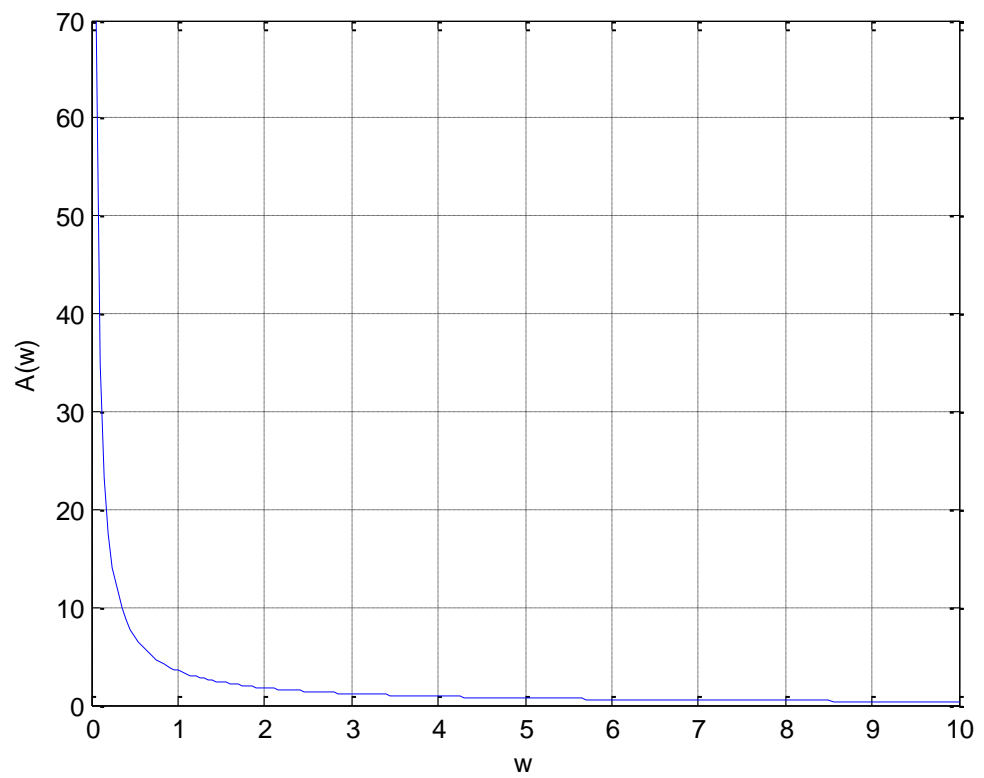


Рис. 12 – Амплитудная частотная характеристика

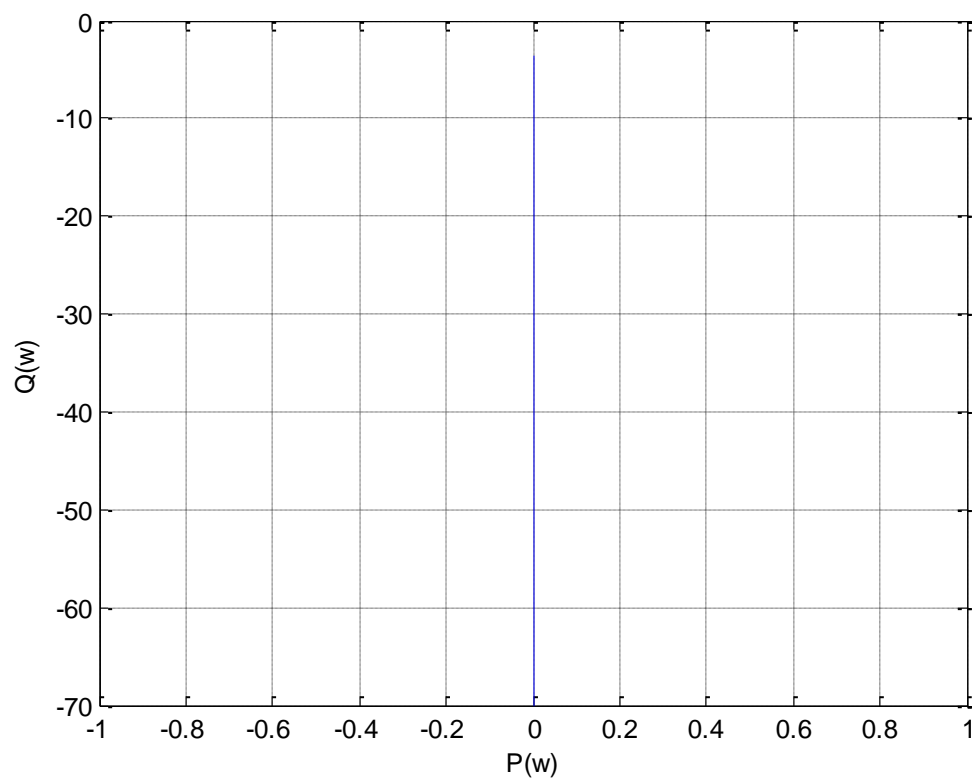


Рис. 13 – Амплитудно-фазочастотная характеристика

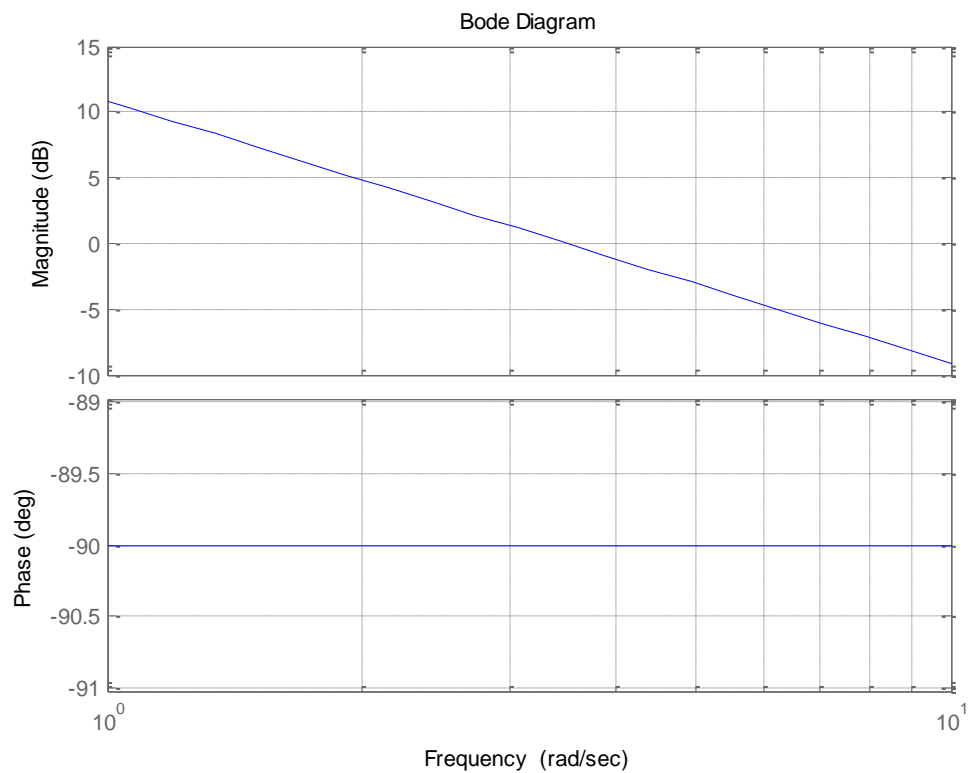


Рис. 14 – ЛАЧХ и ЛФЧХ

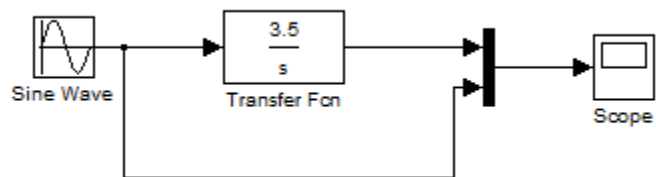


Рис. 15 – Схема интегрирующего звена

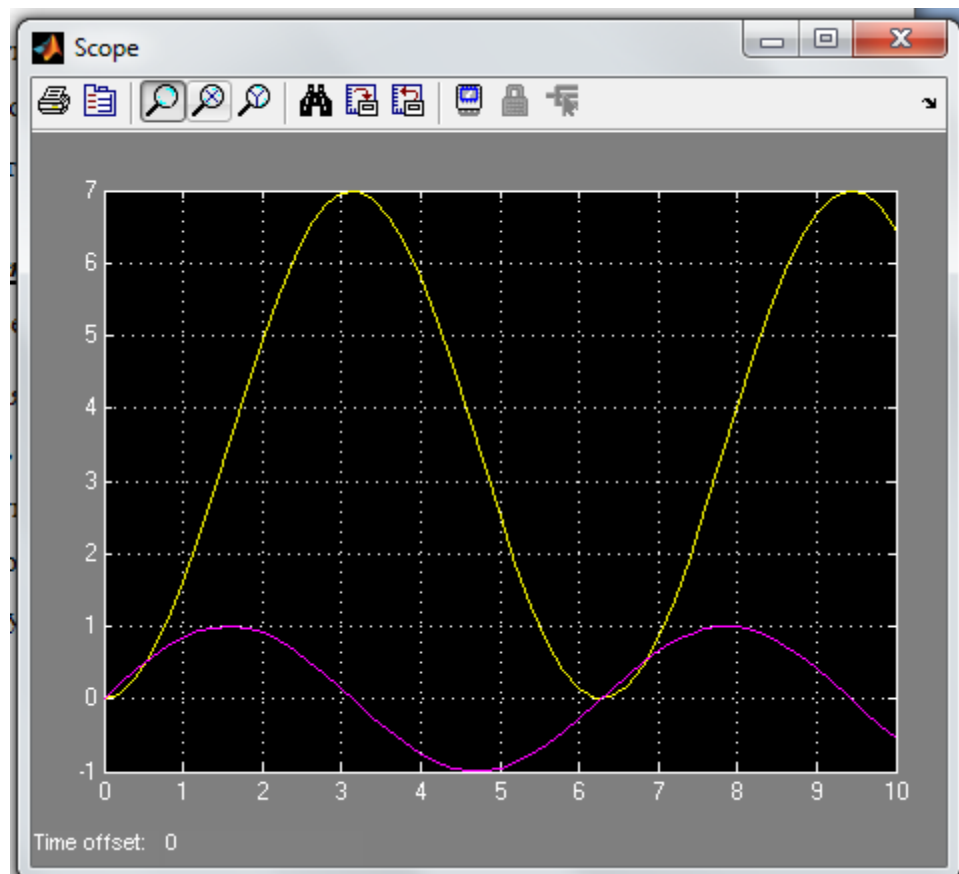


Рис. 16 – Входной и выходной сигналы на экране осциллографа при $\omega = 1\text{с}^{-1}$

Таблица 2

ω	A_y	A_x	A_x / A_y	φ_y	φ_x	$\varphi_y - \varphi_x$	M_φ	$\varphi(\omega)$
0.1	1	35	35	16	32	-16	$\frac{18}{\pi}$	$-\frac{18}{\pi} \cdot 16$
1	1	3.5	3.5	1.6	3.2	-1.6	$\frac{180}{\pi}$	$-\frac{180}{\pi} \cdot 1.6$
10	1	0.35	0.35	0.16	0.32	-0.16	$\frac{1800}{\pi}$	$-\frac{1800}{\pi} \cdot 0.16$

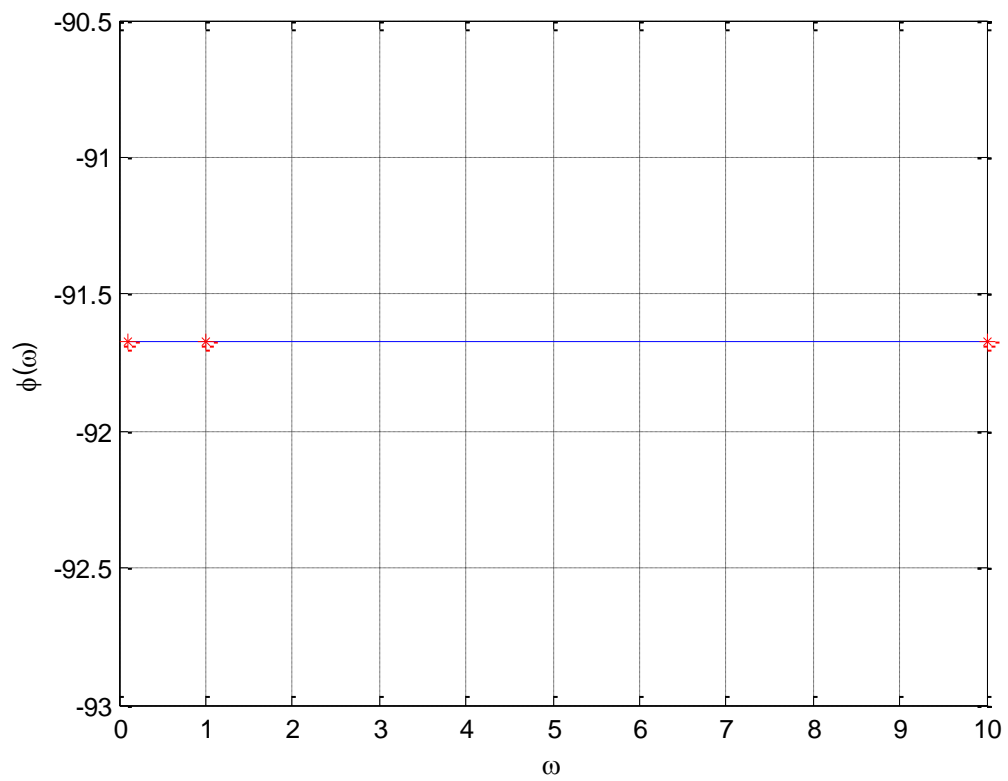


Рис. 17 – Экспериментальная ФЧХ

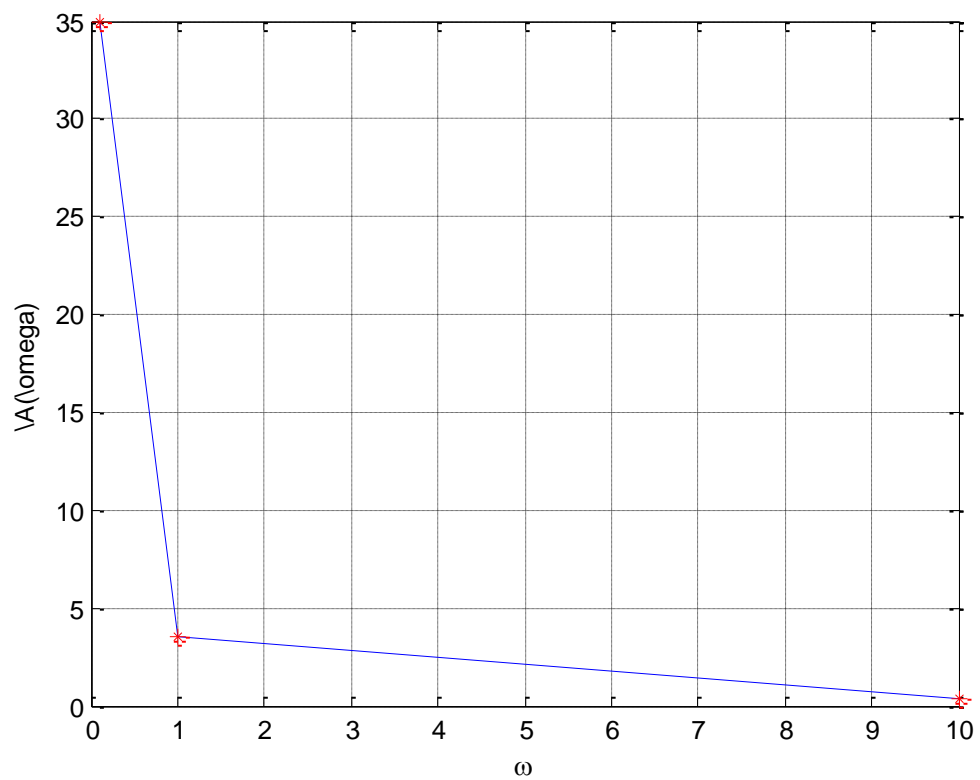


Рис. 18 – Экспериментальная АЧХ

Эксперимент 3. Экспериментальное определение частотных характеристик апериодического звена.

Передаточная функция: $W(S) = \frac{K}{TS + 1}$. Значения K и T взять из таблицы 2.

Повторить пункты 1.1. – 1.5 для указанного звена. Эксперимент провести для 6-8 значений частоты.

№	K	T
7	3.5	10/7

$$W(s) = \frac{3.5}{\frac{10}{7}s + 1}$$

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{3.5 \cdot (\frac{10}{7}(j\omega) - 1)}{(\frac{10}{7}(j\omega) + 1) \cdot (\frac{10}{7}(j\omega) - 1)} = \frac{3.5 \cdot (\frac{10}{7}(j\omega) - 1)}{-\frac{100}{49}\omega^2 - 1} = \frac{5(j\omega) - 3.5}{-(\frac{100}{49}\omega^2 + 1)} \\ &= \frac{3.5}{1 + \frac{100}{49}\omega^2 + j \frac{-5\omega}{1 + \frac{100}{49}\omega^2}} \end{aligned}$$

$$P(\omega) = \frac{3.5}{1 + \frac{100}{49}\omega^2}$$

$$Q(\omega) = -\frac{5\omega}{1 + \frac{100}{49}\omega^2}$$

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{3.5}{\sqrt{\left(\frac{10}{7}\omega\right)^2 + 1}}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \left[\frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \right] = \arctg \left(-\frac{5\omega}{3.5} \right) = -\arctg \left(\frac{10}{7}\omega \right)$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg A(\omega) = 20 \cdot \lg \frac{3.5}{\sqrt{\left(\frac{10}{7}\omega\right)^2 + 1}} = 20 \cdot \lg(3.5) - 20 \cdot \lg \left(\sqrt{\left(\frac{10}{7}\omega\right)^2 + 1} \right)$$

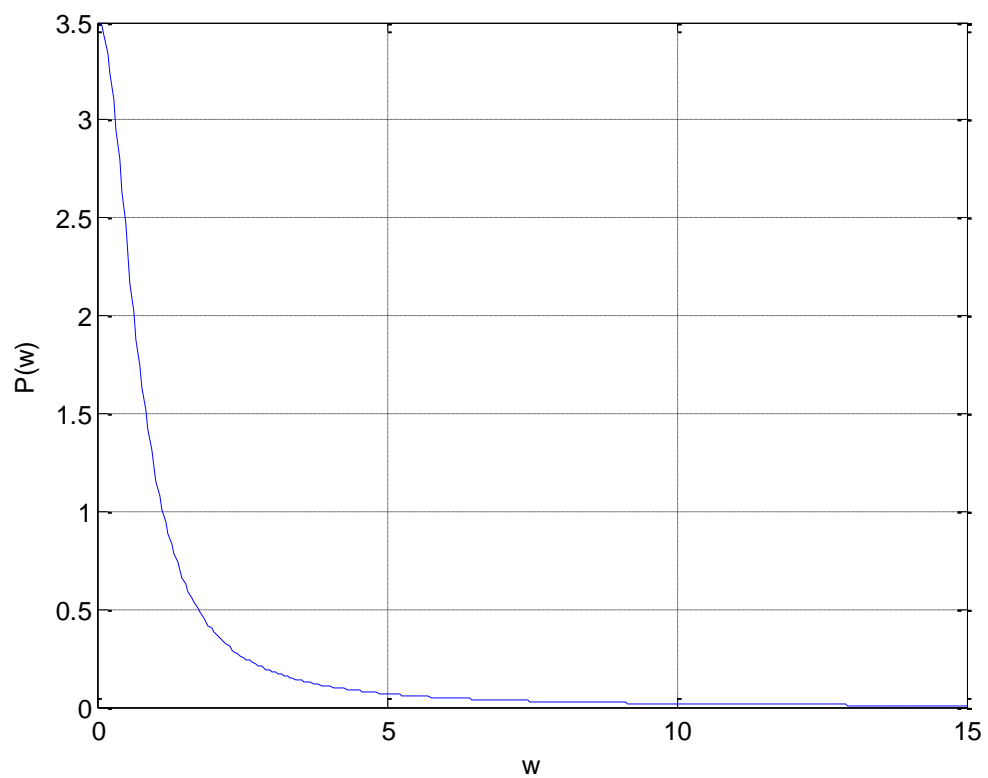


Рис. 19 – Вещественная частотная характеристика

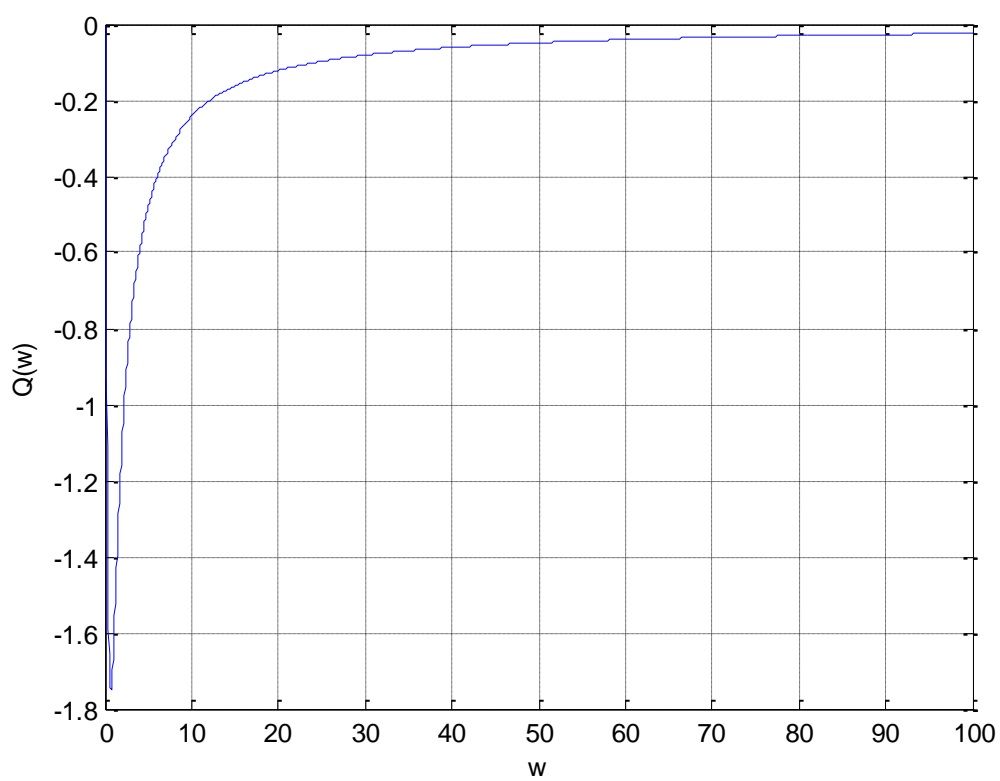


Рис. 20 – Мнимая частотная характеристика

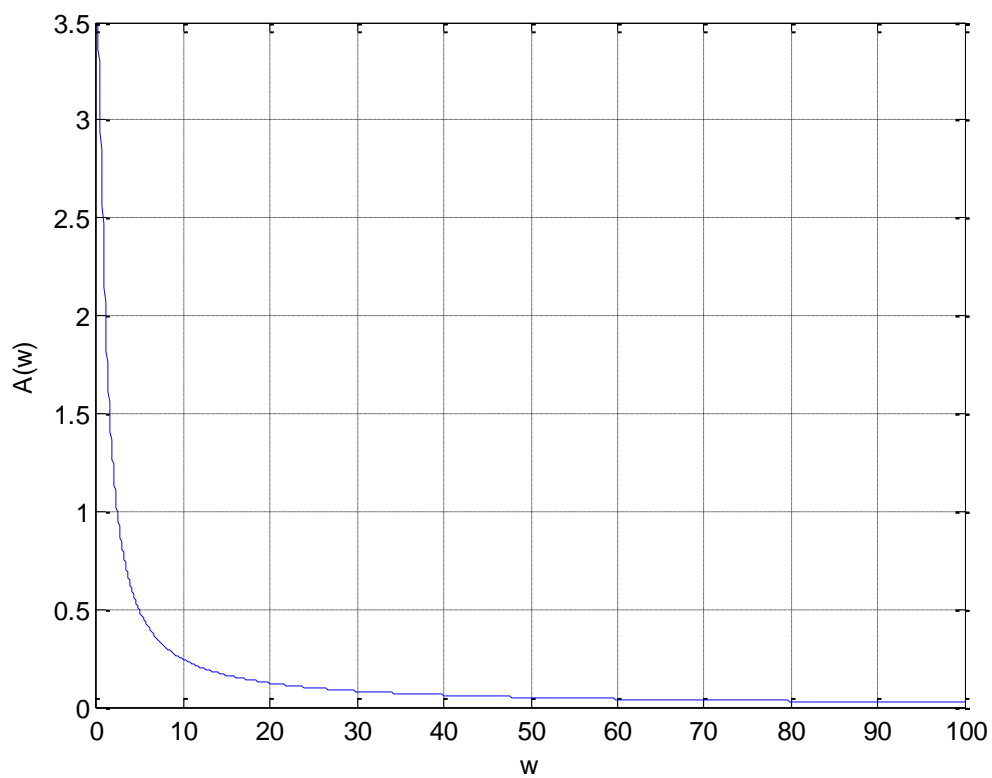


Рис. 21 – Амплитудная частотная характеристика

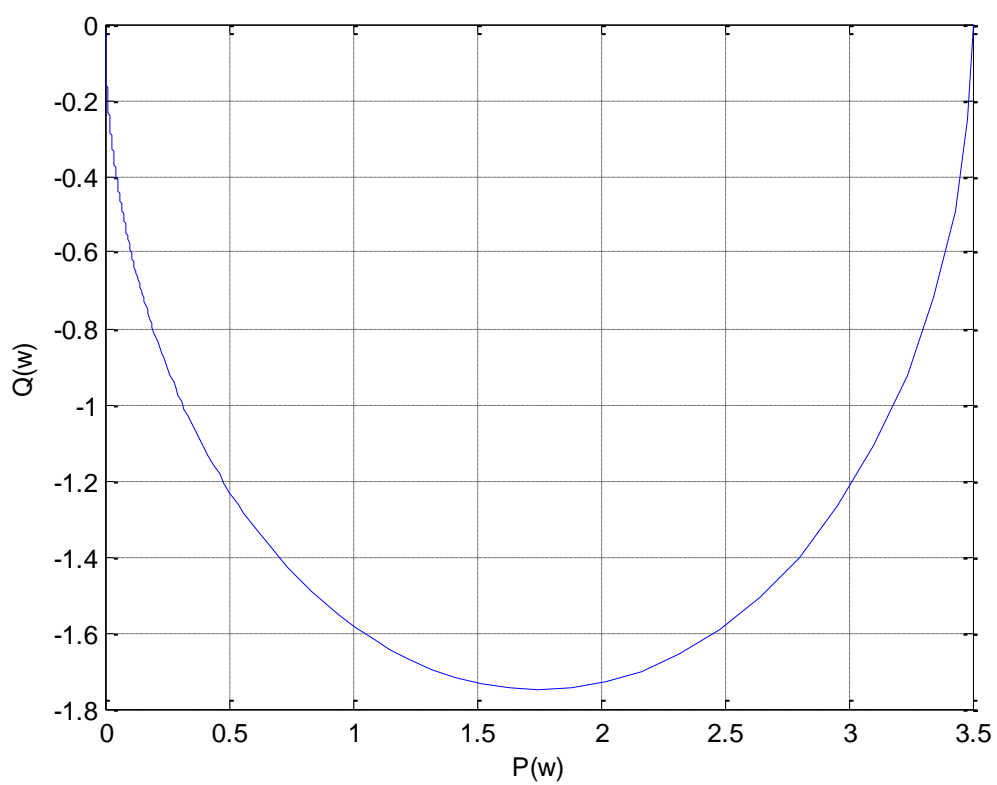


Рис. 22 – Амплитудно-фазочастотная характеристика

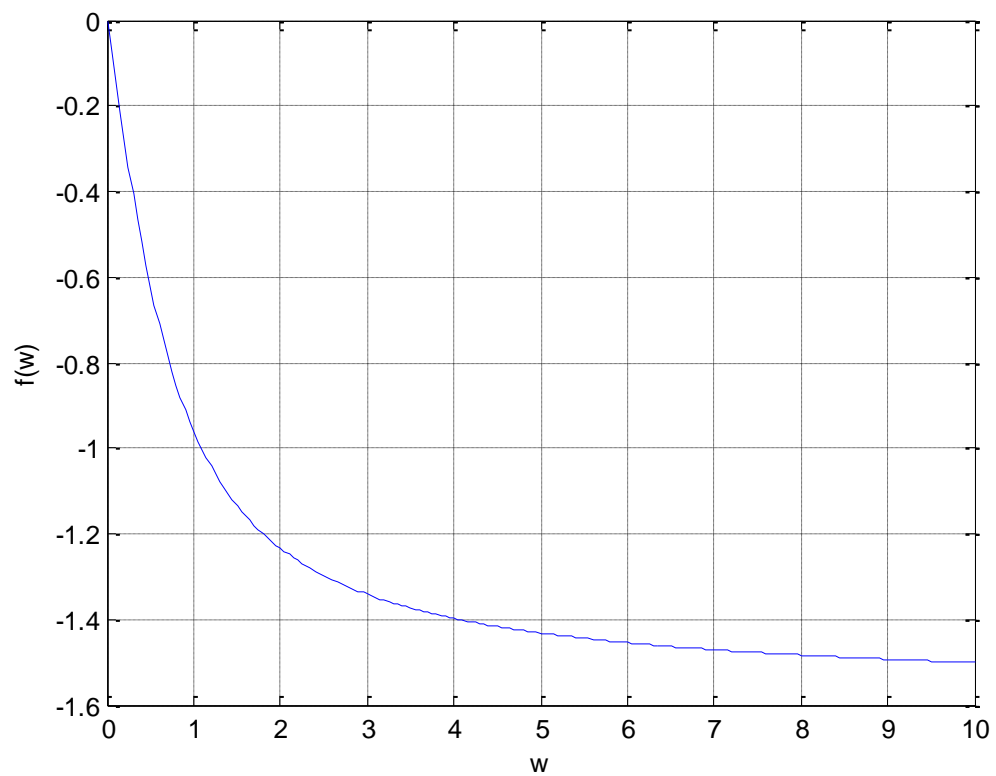


Рис. 23 – Фазочастотная характеристика

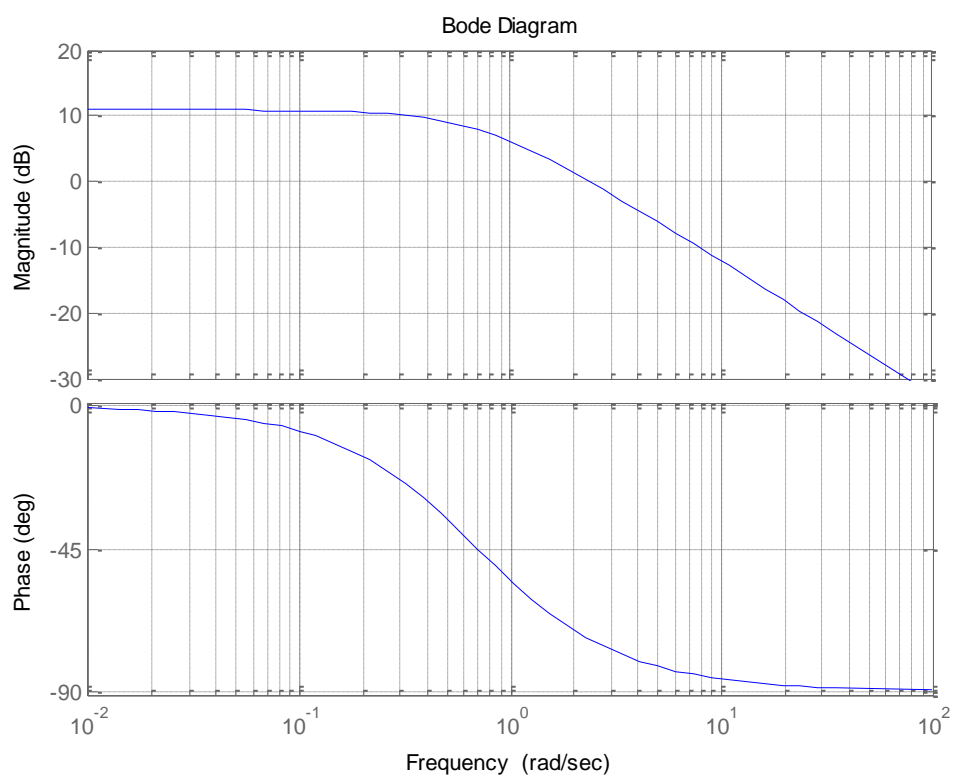


Рис. 24 – ЛАЧХ и ЛФЧХ

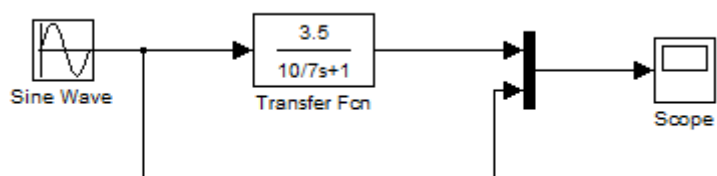


Рис. 25 – Схема аperiodического звена

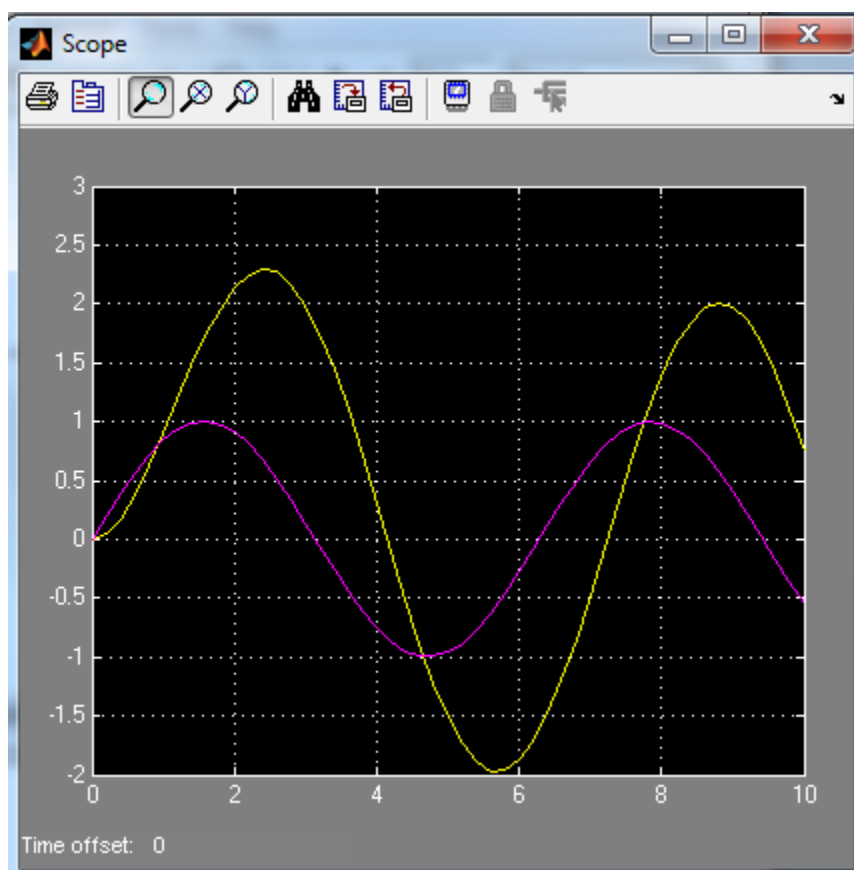


Рис. 26 – Входной и выходной сигналы на экране осциллографа при $\omega = 1\text{с}^{-1}$

Таблица 3

ω	A_y	A_x	A_x / A_y	φ_y	φ_x	$\varphi_y - \varphi_x$	M_φ	$\varphi(\omega)$
0.1	1	3.46	3.46	16	16.74	-0.74	$\frac{18}{\pi}$	$\frac{18}{\pi} \cdot (-0.74)$
0.5	1	2.93	2.93	3.2	4.3	-1.1	$\frac{90}{\pi}$	$\frac{90}{\pi} \cdot (-1.1)$
1	1	2.3	2.3	1.6	2.4	-0.8	$\frac{180}{\pi}$	$\frac{180}{\pi} \cdot (-0.8)$
1.5	1	1.86	1.86	1	1.8	-0.8	$\frac{180}{2.101}$	$\frac{180}{2.101} \cdot (-0.8)$
2.5	1	1.33	1.33	0.6	1	-0.4	$\frac{180}{1.255}$	$\frac{180}{1.255} \cdot (-0.4)$

5	1	0.8	0.8	0.3	0.6	-0.3	$\frac{180}{0.624}$	$\frac{180}{0.624} \cdot (-0.3)$
7.5	1	0.57	0.57	0.2	0.4	-0.2	$\frac{180}{0.42}$	$\frac{180}{0.42} \cdot (-0.2)$
10	1	0.44	0.44	0.16	0.3	-0.14	$\frac{1800}{\pi}$	$\frac{1800}{\pi} \cdot (-0.14)$

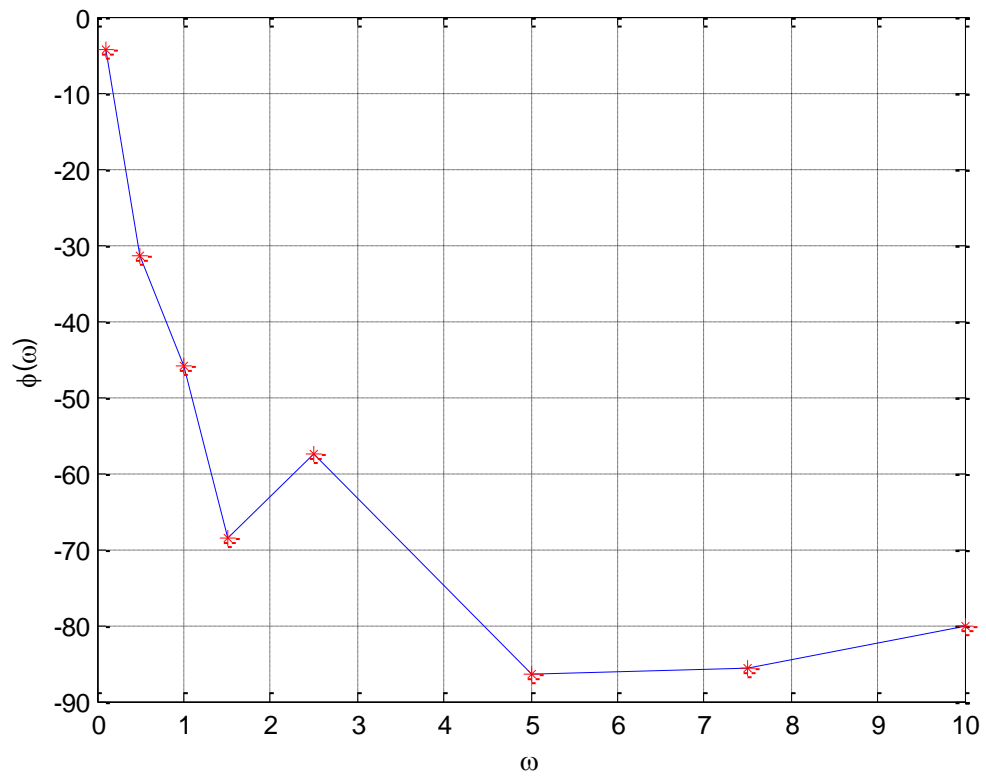


Рис. 27 – Экспериментальная ФЧХ

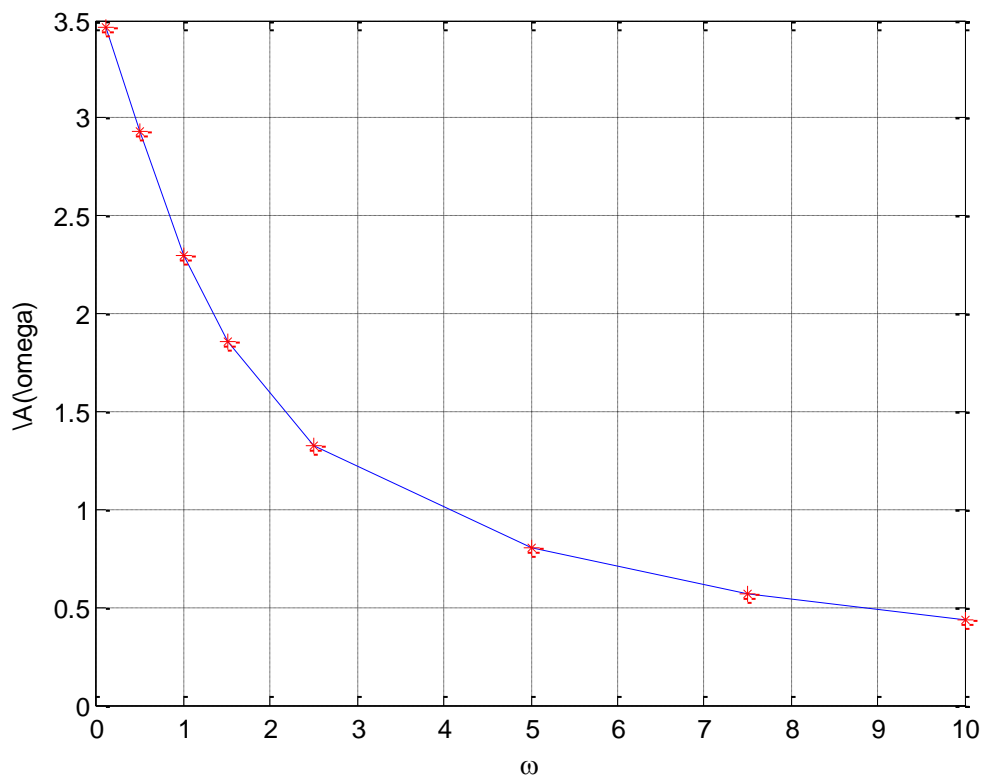


Рис. 28 – Экспериментальная АЧХ

Эксперимент 4. Определение частотных характеристик апериодического звена с помощью стандартных функций пакета Matlab.

Частотные функции: $P(\omega)$; $Q(\omega)$; $W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$; $A(\omega)$; $\varphi(\omega)$; $L(\omega)$, ЛФЧХ.

$$W(s) = \frac{2}{7s + 7}$$

```
q=[2];
p=[7 7];
w=[0:0.05:50];
W=2./(i.*7.*w+7);
WR=real(W);
plot(w,WR), grid on, xlabel('w'), ylabel('P(w)')
WI=imag(W);
plot(w,WI), grid on, xlabel('w'), ylabel('Q(w)')
A=sqrt(WR.^2+WI.^2);
plot(w,A), grid on, xlabel('w'), ylabel('A(w)')
plot(WR,WI), grid on, xlabel('P(w)'), ylabel('Q(w)')
nyquist(q,p)
f=atan(WI./WR);
```

```

plot(w,f), grid on, xlabel('w'), ylabel('f(w)')
bode(q,p), grid on;

```

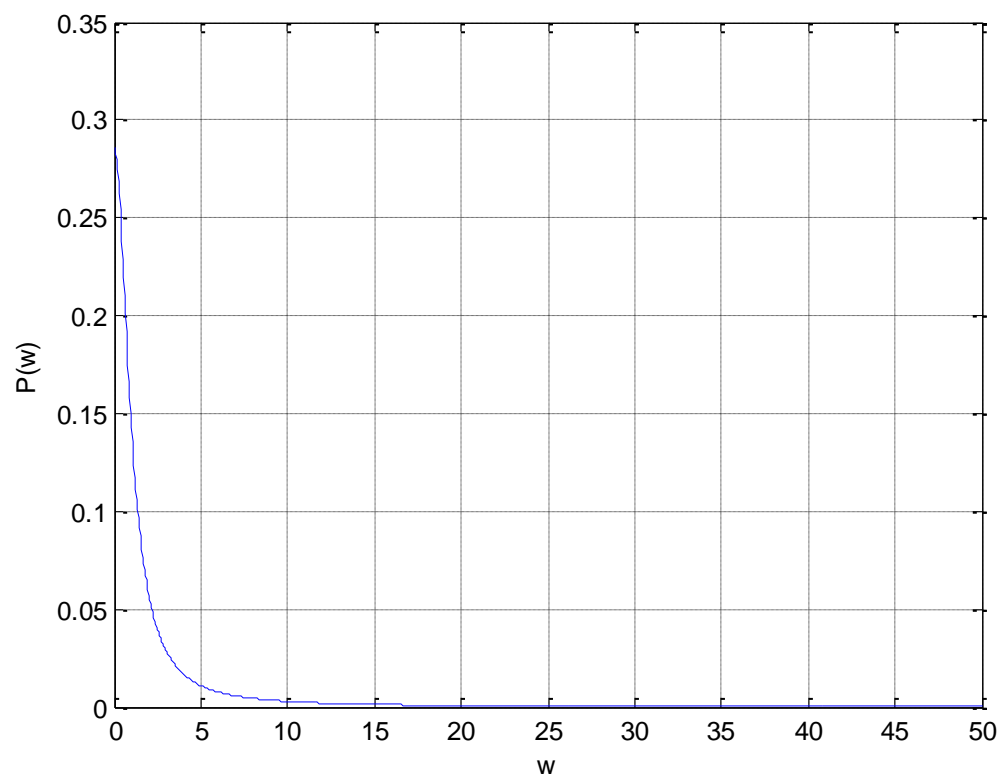


Рис. 29 – Вещественная частотная характеристика

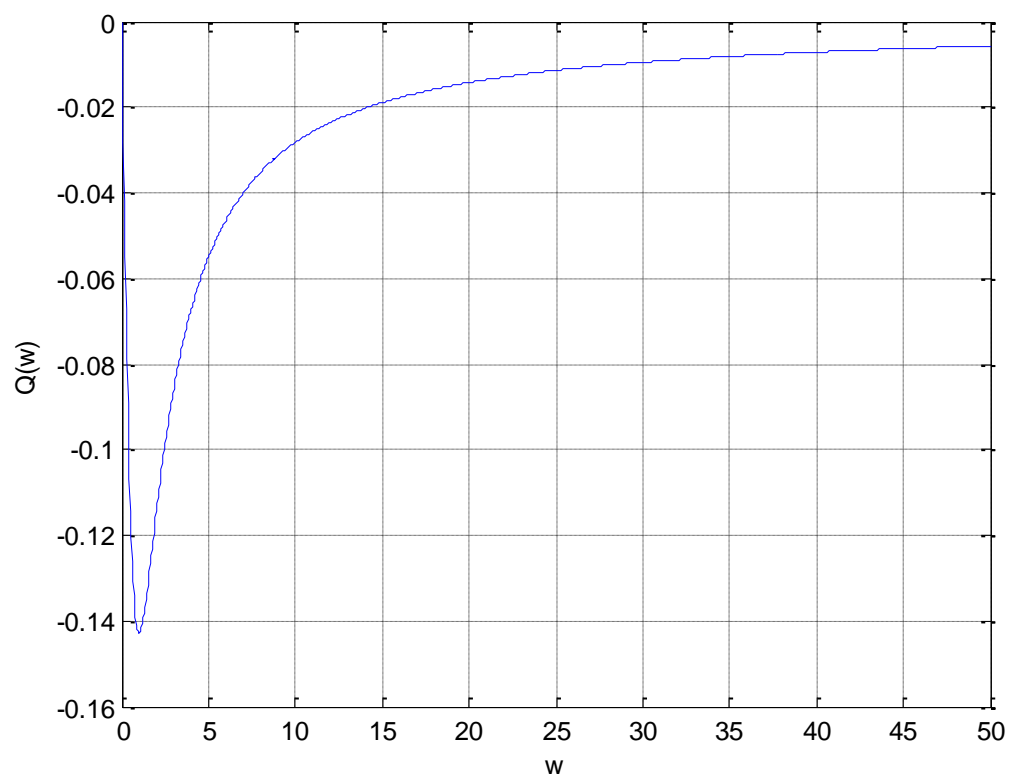


Рис. 30 – Мнимая частотная характеристика

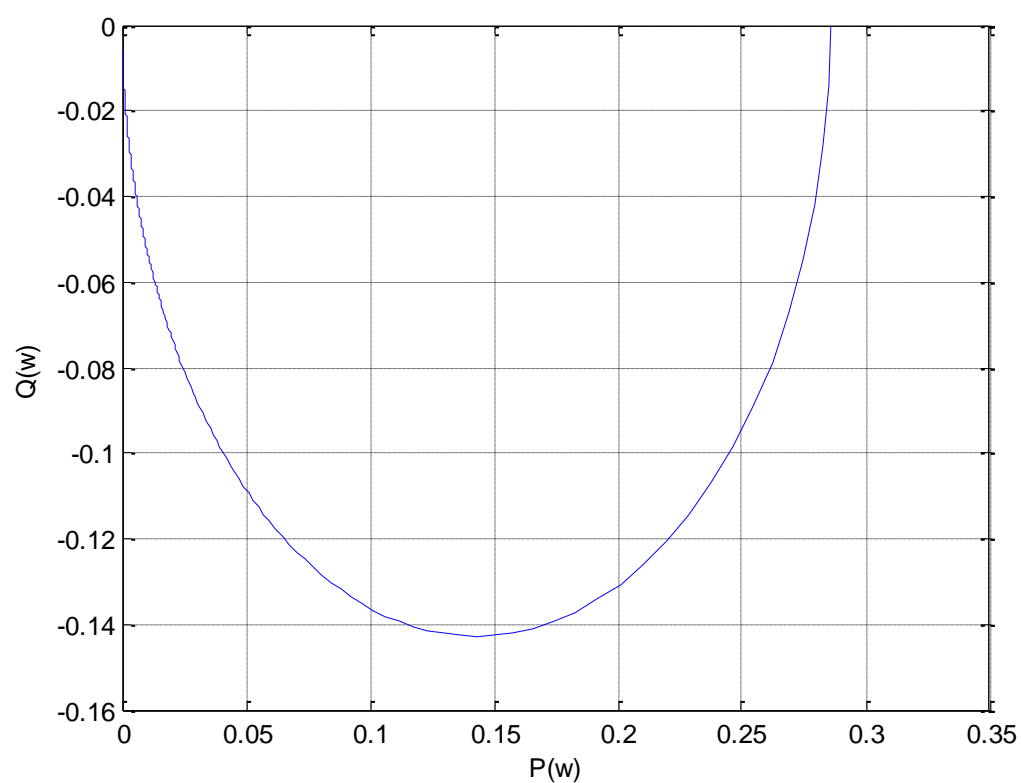


Рис. 31 – Амплитудно-фазочастотная характеристика

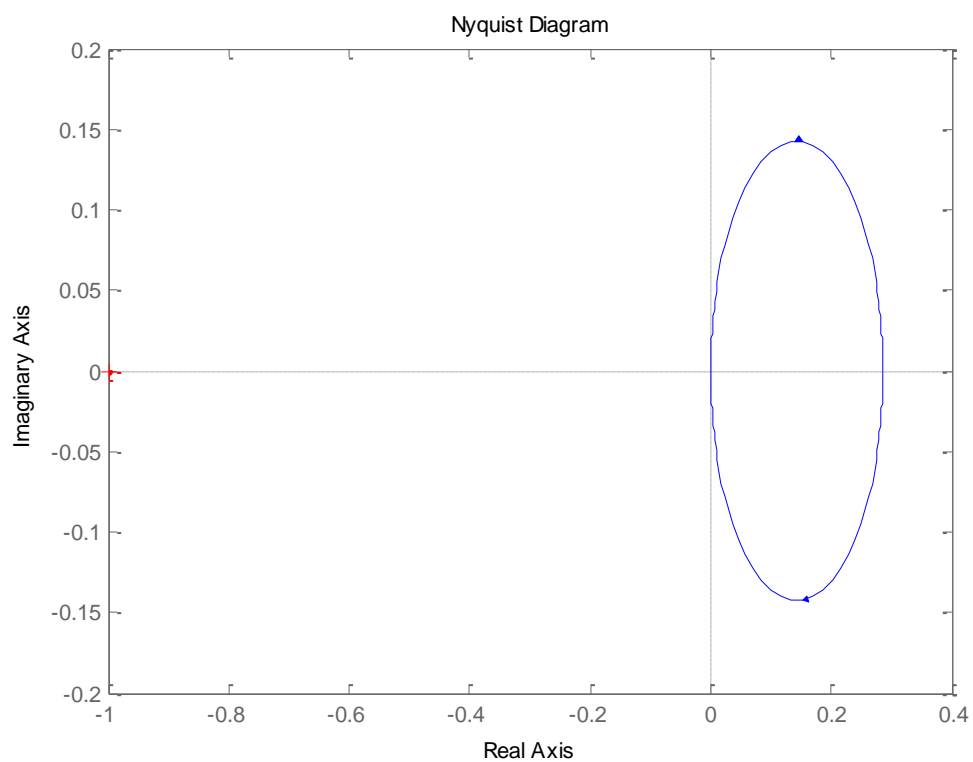


Рис. 32 – Амплитудно-фазочастотная характеристика с использованием функции *nyquist*

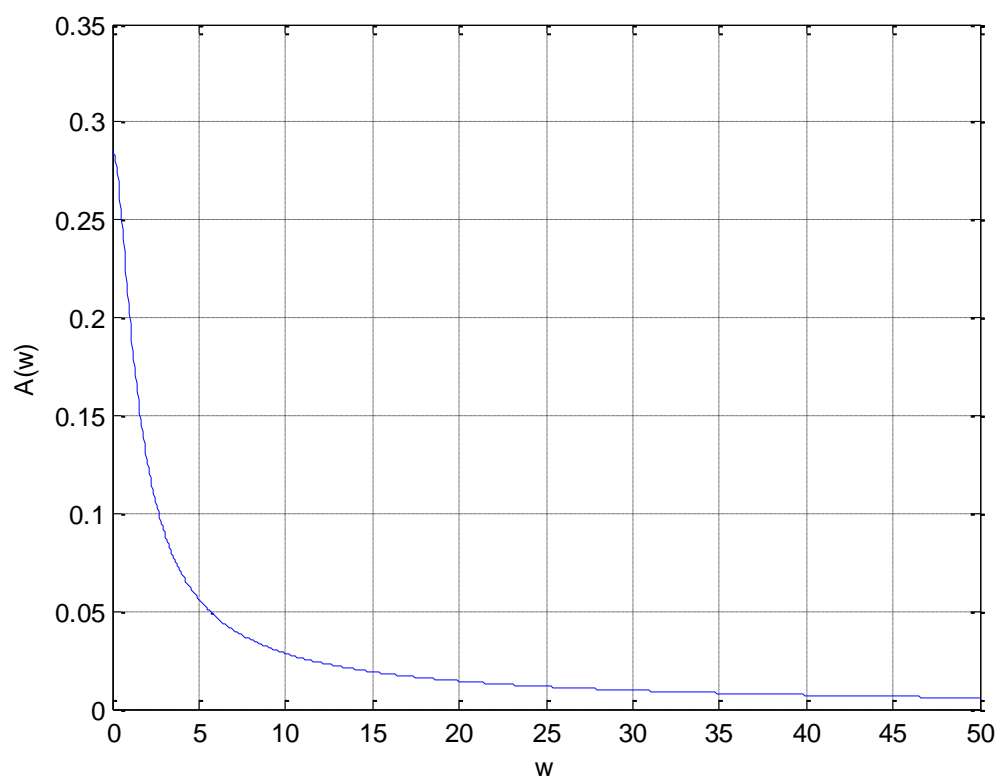


Рис. 33 – Амплитудная частотная характеристика

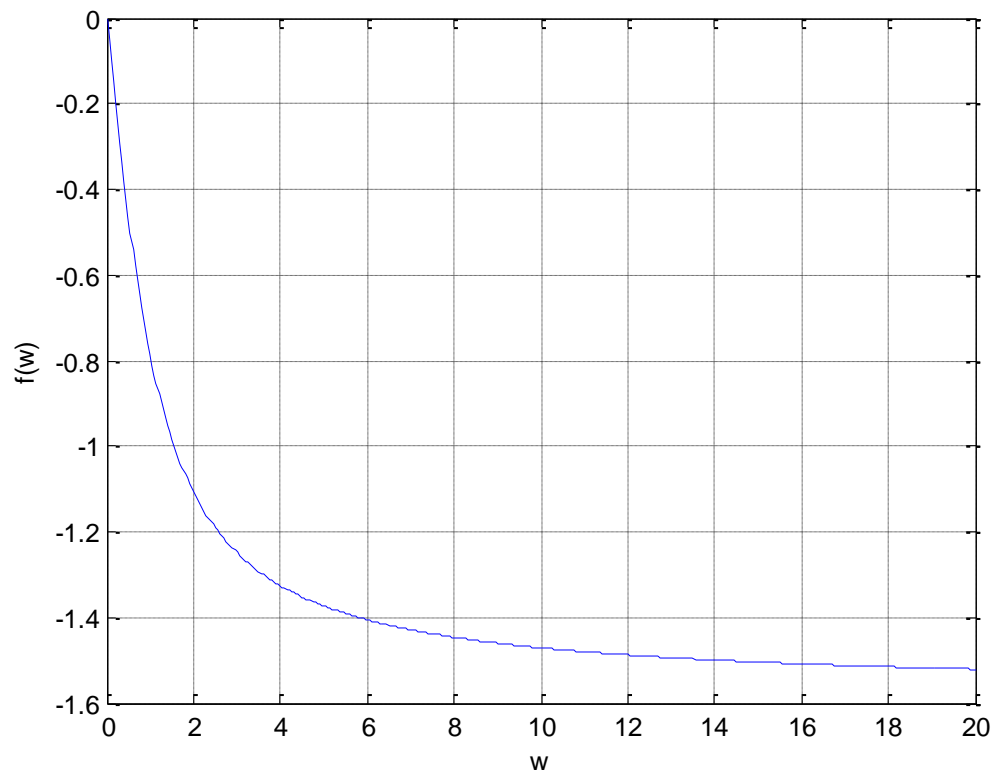


Рис. 34 – Фазочастотная характеристика

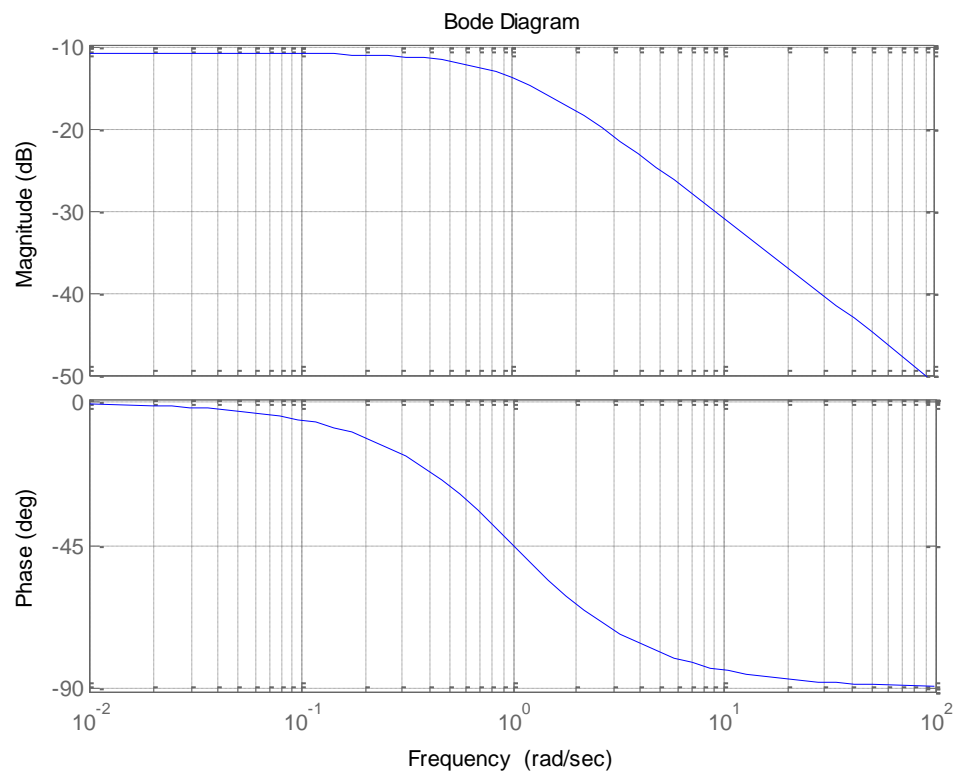


Рис. 35 – ЛАЧХ и ЛФЧХ с использованием функции *bode*

Вывод: в ходе выполнения данной лабораторной работы были сформированы практические навыки по нахождению частотных характеристик линейных систем управления.