**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

По курсу: «Теория автоматического управления и системы автоматического управления»

Тема: «Устойчивость стационарных систем автоматического управления»

Предварительный отчет

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнил: | Волков М.Л. |
| Группа: | Э-13м-23 |
| Проверил: | Дегтярев Д.А. |

Москва, 2023 г.

**1. Исходные данные:**

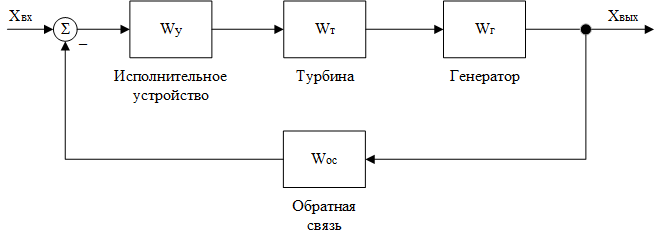


Рис. 1.1 – Исходная схема

Табл. 1.1 – Таблица исходных данных

| **Наименование элемента** | | | **Условное обозначение** | **Передаточная функция** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| обратная связь | | жесткая |  |  |
| гибкая |  |
| апериодическая жесткая |  |
| апериодическая гибкая |  |
| генератор | | |  |  |
| турбина | гидравлическая | |  |  |
| паровая | |  |
| исполнительное устройство | | |  |  |

Табл. 1.2 – Таблица данных варианта

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ Варианта** |  | **, c** | **, c** | **Турбина** | **, c** | **, c** |  | **Обратная связь** |  | **, с** |
| 1 | 20 | 5.0 | 10.0 | Гидро- | 2.0 | - | - | Ж | 1 | - |

Табл. 1.3 – Таблица звеньев с учетом данных варианта

| **Наименование элемента** | | | **Условное обозначение** | **Передаточная функция** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| обратная связь | | жесткая |  |  |
| генератор | | |  |  |
| турбина | гидравлическая | |  |  |
| исполнительное устройство | | |  |  |

**2. Эквивалентные передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы:**

**3. Переходная характеристика замкнутой системы:**

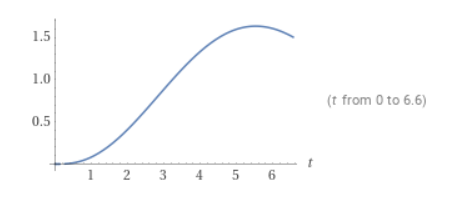


Рис. 2.1 – Переходная характеристика передаточной функции замкнутой системы

График характеристики получен с помощью сайтов:

<https://mathforyou.net/online/transform/inverse/laplace/>

<https://math24.pro/inverse_laplace_transform>

[https://www.wolframalpha.com/input?i=InverseLaplaceTransform%5B%280.4\*s%2B20%29%2F%28%2825\*s%5E3%2B57.5\*s%5E2%2B15.9\*s+%2B+21%29\*s%29%2Cs%2Ct%5D](https://www.wolframalpha.com/input?i=InverseLaplaceTransform%5B%280.4*s%2B20%29%2F%28%2825*s%5E3%2B57.5*s%5E2%2B15.9*s+%2B+21%29*s%29%2Cs%2Ct%5D)

Вводимые данные для построения:

(0.4\*s+20)/((25\*s^3+57.5\*s^2+15.9\*s + 21)\*s)

**4. Полюса передаточной функции замкнутой системы:**

Полюсами передаточной функции называются корни его характеристического уравнения, т.е. при:

Уравнение имеет 3 корня вида

Определим корни:

Все корни лежат в отрицательной полуплоскости, следовательно **САУ является устойчивой**;

**5. Определение устойчивости САУ с помощью критериев устойчивости:**

Критерий Гурвица:

Первый коэффициент передаточной функции больше нуля и все определители (миноры) матрицы также больше нуля, следовательно **система устойчива** по критерию Гурвица.

Критерий Рауса:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вспомогательные коэффициенты** | **Номер строки** | **Номер столбца** | | |
| **1** | **2** | **3** |
|  | 1 |  |  | 0 |
|  | 2 |  |  | 0 |
|  | 3 |  |  | 0 |
|  | 4 |  | 0 | 0 |

; ; ; ;

Все элементы первого столбца Рауса имеют положительный знак, следовательно **система устойчива** по критерию Рауса.

Критерий Михайлов:

Для того, чтобы система автоматического управления была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы кривая (годограф) Михайлова при изменении частоты от 0 до , начинаясь при на вещественной положительной полуоси, обходила только против часовой стрелки последовательно квадрантов координатной плоскости; – порядок характеристического уравнения.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 2 |
|  | 21 | 20,425 | 6,625 | -36,5 | -209 |
|  | 0 | 1,565 | 4,825 | -9,1 | -168,2 |

Рис. 5.1 – Годограф Михайлова

Годограф проходит последовательно через три квадранта (что соответствует порядку характеристического уравнения); проход осуществляется против часовой стрелки, следовательно **система устойчива** по критерию Михайлова.

Критерий Найквиста:

Используем передаточную характеристику разомкнутой системы для определения устойчивости системы по Найквисту:

Для того, чтобы разомкнутая АСР в замкнутом состоянии была устойчивой необходимо и достаточно, чтобы годограф АФХ обратной передаточной функции устойчивой разомкнутой АСР охватывал точку (-1; j0).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 |
|  | 0,05 | 0,0214 | -0,6664 | -2,8333 |
|  | 0 | 0,0762 | 0,2379 | -0,4183 |

Рис. 5.2 – Годограф Найквиста

АФХ охватывает точку (-1; 0j), следовательно **система устойчива** по критерию Найквиста.

**6. Логарифмические частотные характеристики:**

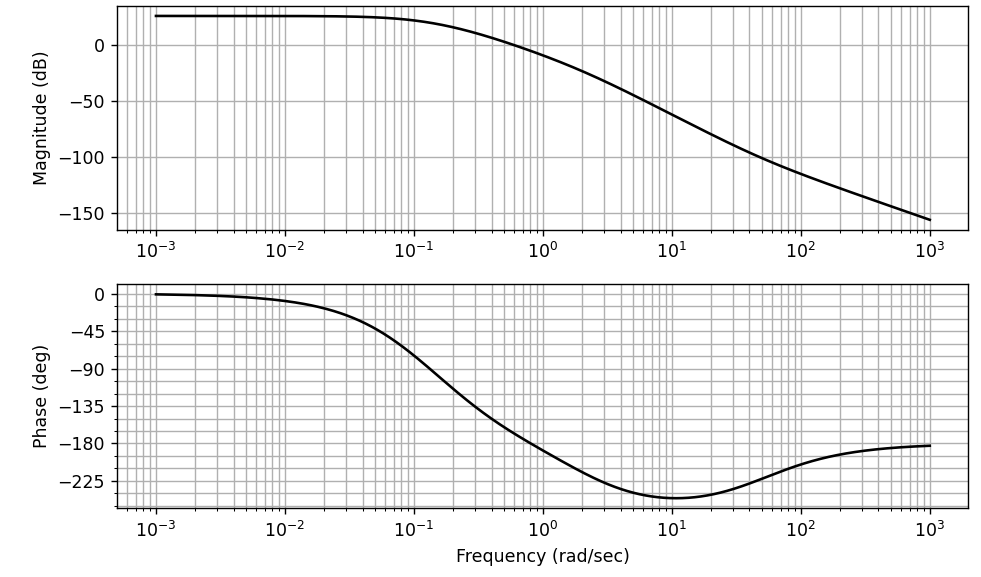


Рис. 6.1 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы

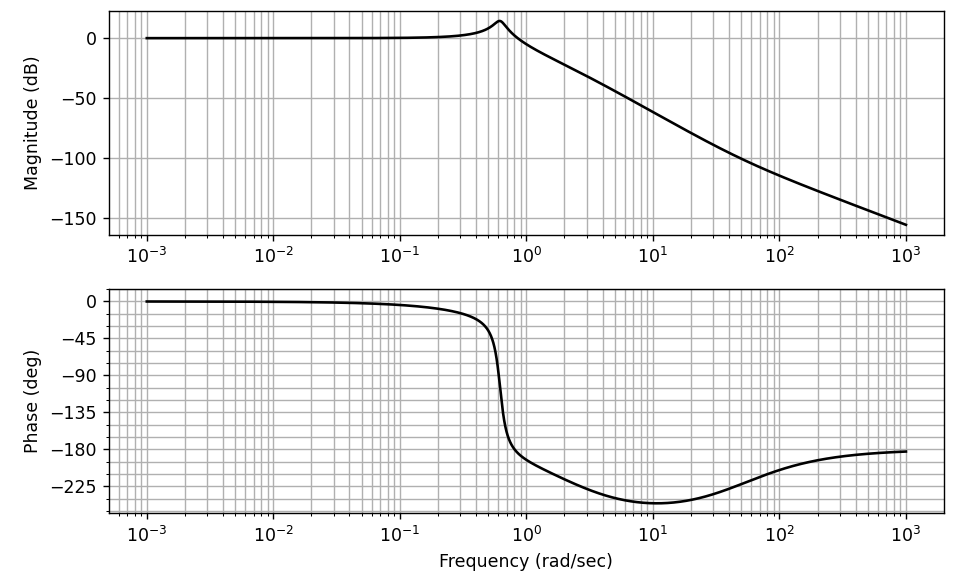


Рис. 6.2 – ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой системы

**7. Определение запаса устойчивости при помощи частотных характеристик:**

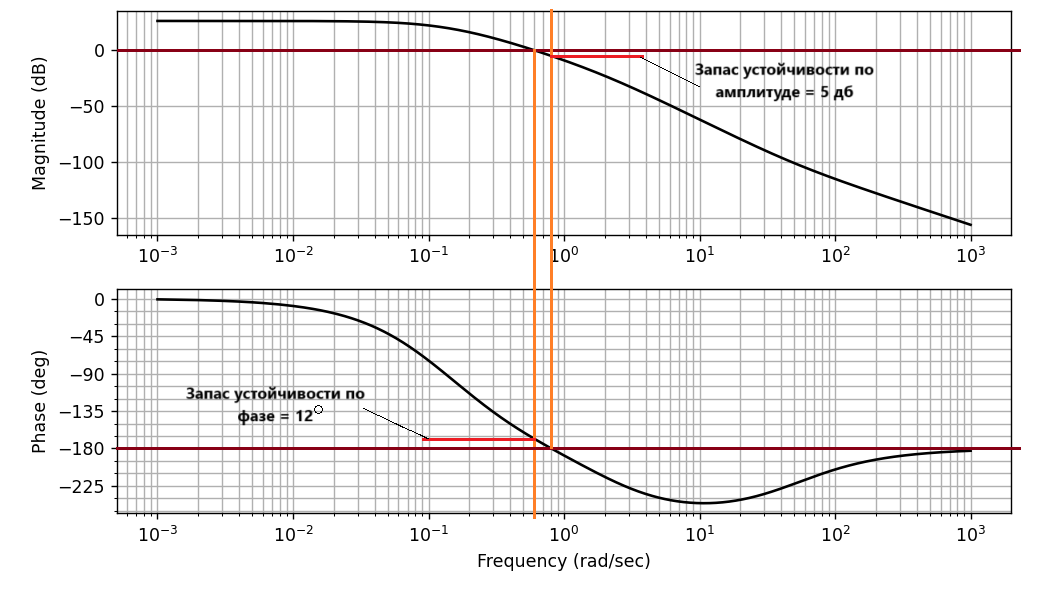


Рис. 7.1 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы с обозначенными запасами устойчивости

Запас устойчивости системы по амплитуде составляет 5 дб, а по фазе 12 градусов; можно сказать, что запас устойчивости по амплитуде приемлемый, а запас по углу относительно мал.

**8. Определение диапазона устойчивости:**

Использование метода Гурвица:

Представим определитель Гурвица в виде матрицы 2х2 с неизвестным параметром «k» (данную матрицу можно вывести, если подставить в исходное уравнение коэффициент в общем виде):

Определим предельное значение коэффициента «k», при котором система сохраняет свою устойчивость:

– при невыполнении неравенства, система будет выходить из устойчивого состояния, то есть воздействие сигнала обратной связи начнет иметь отрицательный характер для устойчивости системы;

D-разбиение:

Необходимо заменить оператор Лапласа на p на jω, т.е. привести уравнение к комплексному виду:

Решим данное уравнение относительно искомой переменной :

Построим график изменения искомой переменной при изменении от до .

Рис. 8.1 – График D-разбиения

Диапазон устойчивости для D-разбиения составляет (-19,184; 11,9).

**9. Проверка устойчивости:**

Повторим решение пунктов 2-7 с измененным параметром .

Эквивалентные передаточные функции:

Переходная характеристика замкнутой системы:

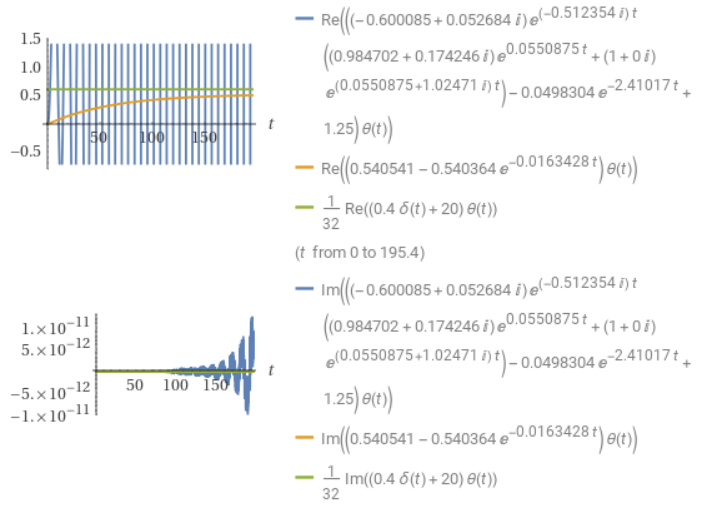


Рис. 9.1 – Переходная характеристика при

Полюсы передаточной функции:

Полюсами передаточной функции называются корни его характеристического уравнения, т.е. при:

Уравнение имеет 3 корня вида

Определим корни:

Все корни лежат либо на отрицательной действительной полуоси, либо на мнимой оси, следовательно **САУ находится на границы устойчивости**;

Определение устойчивости САУ по критериям:

Критерий Гурвица:

Первый коэффициент передаточной функции больше нуля и все определители (миноры) матрицы также больше нуля, следовательно **система устойчива (находится на границе устойчивости)** по критерию Гурвица.

Критерий Рауса:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вспомогательные коэффициенты** | **Номер строки** | **Номер столбца** | | |
| **1** | **2** | **3** |
|  | 1 |  |  | 0 |
|  | 2 |  |  | 0 |
|  | 3 |  |  | 0 |
|  | 4 |  | 0 | 0 |

; ; ; ;

Все элементы первого столбца Рауса имеют положительный знак, следовательно **система устойчива (находится на границе устойчивости)** по критерию Рауса.

Критерий Михайлов:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 2 |
|  | 37,32 | 36,745 | 22,945 | -20,18 | -192,68 |
|  | 0 | 1,598 | 4,988 | -8,774 | -167,547 |

Рис. 9.2 – Годограф Михайлова

Критерий Найквиста:

Используем передаточную характеристику разомкнутой системы для определения устойчивости системы по Найквисту:

Для того, чтобы разомкнутая АСР в замкнутом состоянии была устойчивой необходимо и достаточно, чтобы годограф АФХ обратной передаточной функции устойчивой разомкнутой АСР охватывал точку (-1; j0).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,1 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|  | 0,0275 | 0,0118 | -0.3669 | -0,7472 | -0,9856 | -1,2565 |
|  | 0 | 0,042 | 0,131 | 0,0731 | 0,0048 | 0,0951 |

Рис. 9.3 – Годограф Найквиста

АФХ охватывает точку (-1; 0j) (практически касается), следовательно **система устойчива (находится на границе устойчивости)** по критерию Найквиста.

Логарифмические частотные характеристики:

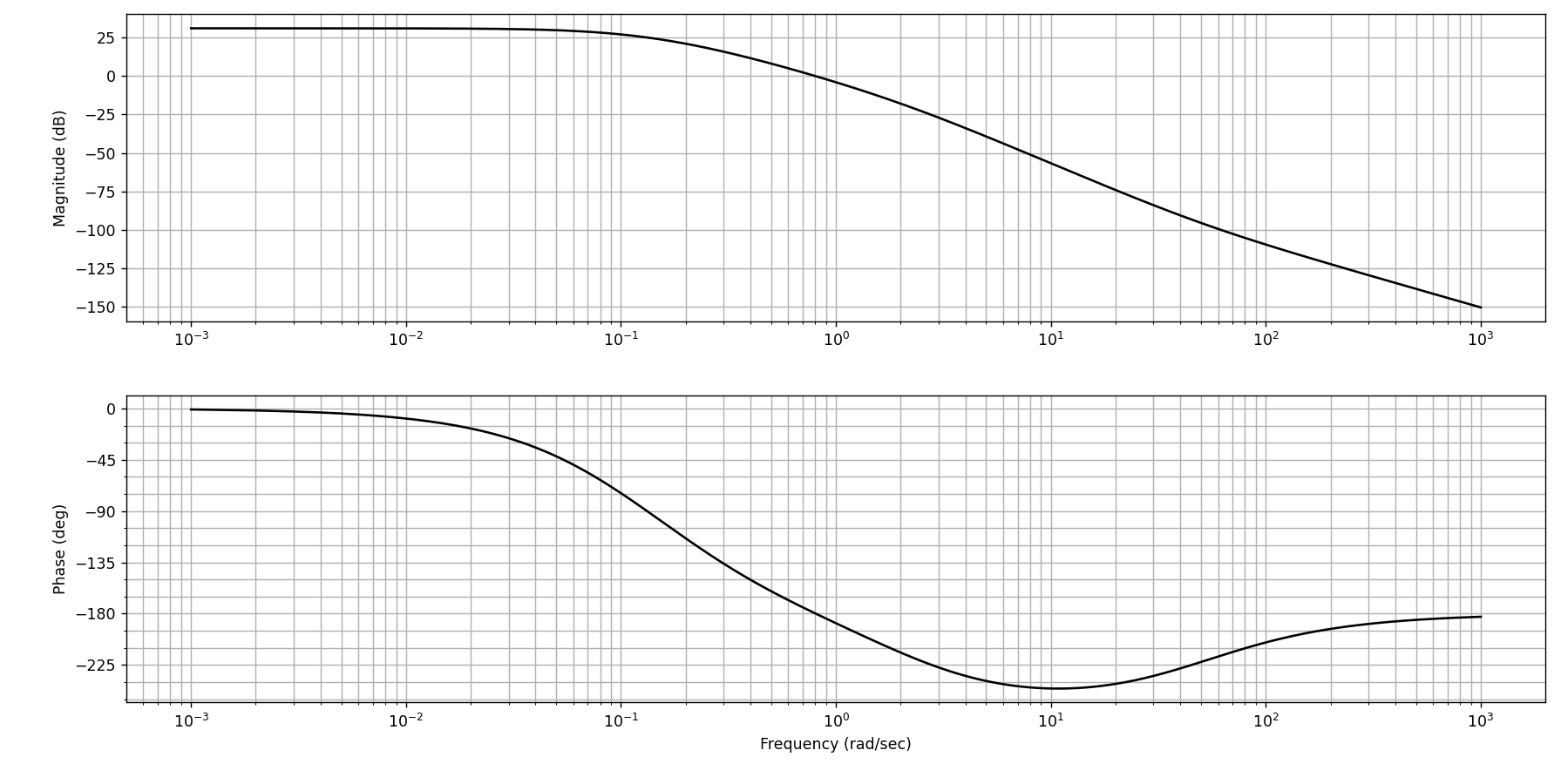


Рис. 9.4 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы

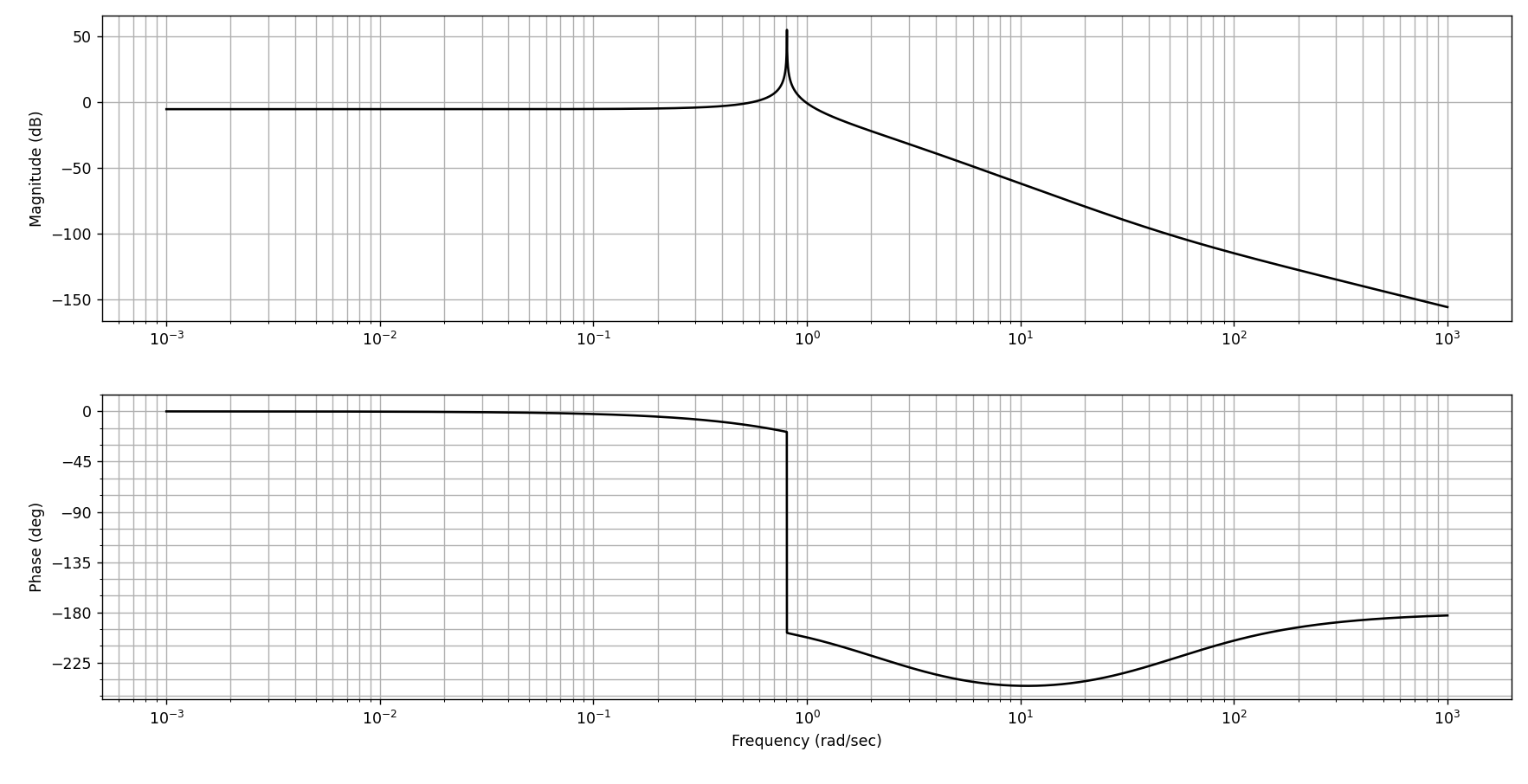


Рис. 9.5 – ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой системы

Определение запаса устойчивости:

По логарифмическим характеристикам не удастся определить запас устойчивости, так как мы строим их, когда система уже находится на границе устойчивости, при заданном , поэтому можно сказать, что при дальнейшем увеличении данного коэффициента система потеряет свою устойчивость, то есть запаса по устойчивости фактически нет.