НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники

Теория автономного управления

Лабораторная работа №4

«Типовые динамические звенья»

Вариант 10

Выполнил студент:

Мысов М.С.

Группа № R33372

Руководитель:

Перегудин А.А.

г. Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Задание 1

Запишем дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока независимого возбуждения

$$\dot{\omega} + \frac{K_m K_e}{JR}\omega = \frac{K_m}{JR}u$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **апериодическое звено первого порядка**

$$W(p) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{p + \frac{K_m K_e}{JR}}$$

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$\dot{\omega} + \frac{K_m K_e}{JR}\omega = \frac{K_m}{JR}\cdot\delta(t) \overset{\mathcal{L}}{\rightarrow}$$

$$s\Omega(s) + \frac{K_m K_e}{JR}\Omega(s) = \frac{K_m}{JR}$$

$$\Omega(s) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{s + \frac{K_m K_e}{JR}} \quad \overset{\mathcal{L}^{-1}}{\longrightarrow}$$

$$\mathbf{w}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{K_m}}{\mathbf{JR}}\boldsymbol{e}^{-\frac{\mathbf{K_m K_e}}{\mathbf{JR}}\cdot \boldsymbol{t}}$$

Step response (переходная функция)

$$\dot{\omega} + \frac{K_m K_e}{JR}\omega = \frac{K_m}{JR}\cdot 1(t) \overset{\mathcal{L}}{\rightarrow}$$

$$s\Omega(s) + \frac{K_m K_e}{JR}\Omega(s) = \frac{K_m}{JR}\cdot\frac{1}{s}$$

$$\Omega(s) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{s\cdot(s + \frac{K_m K_e}{JR})} \quad \overset{\mathcal{L}^{-1}}{\longrightarrow}$$

$$\mathbf{h}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{Ke}} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{Ke}}\boldsymbol{e}^{-\frac{\mathbf{K_m K_e}}{\mathbf{JR}}\cdot \boldsymbol{t}}$$

Найдем вещественную и мнимую часть передаточной функции от $j\omega$

$$W(j\cdot\omega)=\frac{\frac{K_m}{JR}}{\frac{K_mK_e}{JR}+j\cdot\omega}=\frac{\frac{K_mK_e}{JR}\cdot\frac{K_m}{JR}}{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}+j\frac{-\frac{K_m}{JR}\cdot\omega}{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega)=\sqrt{\left(\frac{\frac{K_mK_e}{JR}\cdot\frac{K_m}{JR}}{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}\right)^2+\left(\frac{-\frac{K_m}{JR}\cdot\omega}{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}\right)^2}=\frac{\frac{K_m}{JR}}{\sqrt{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}}$$

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega)=atan\left(-\frac{\omega}{\frac{K_mK_e}{JR}}\right)$$

Частотная передаточная функция в показательной форме

$$W(j\cdot\omega)=\frac{\frac{K_m}{JR}}{\sqrt{\frac{K_mK_e}{JR}^2+\omega^2}}\cdot e^{j\cdot atan\left(-\frac{\omega}{\frac{K_mK_e}{JR}}\right)}$$

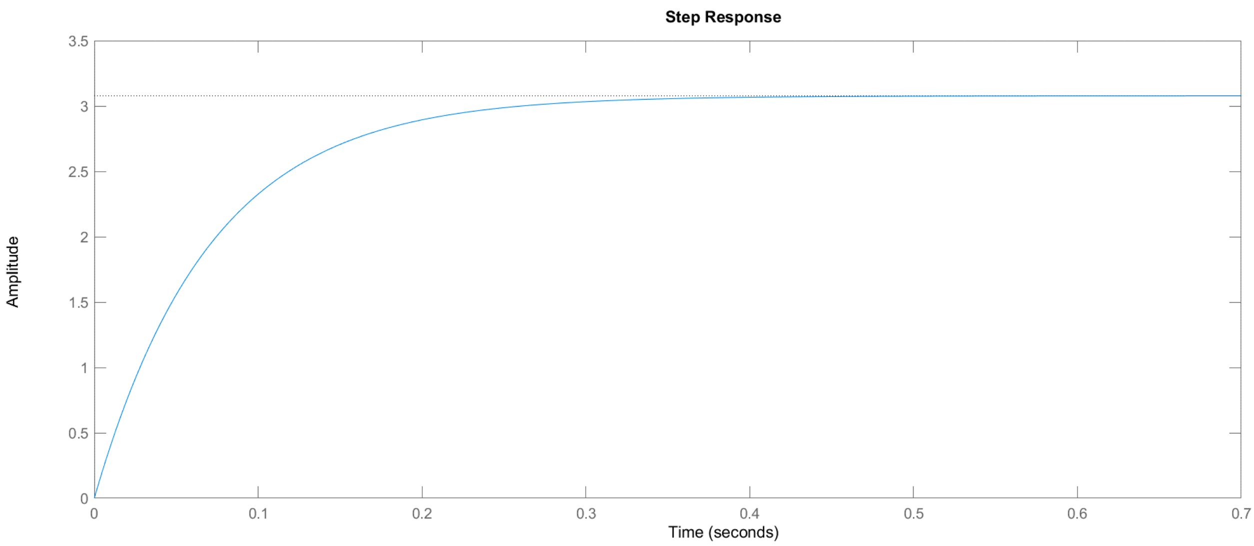

График 1. Переходная функция

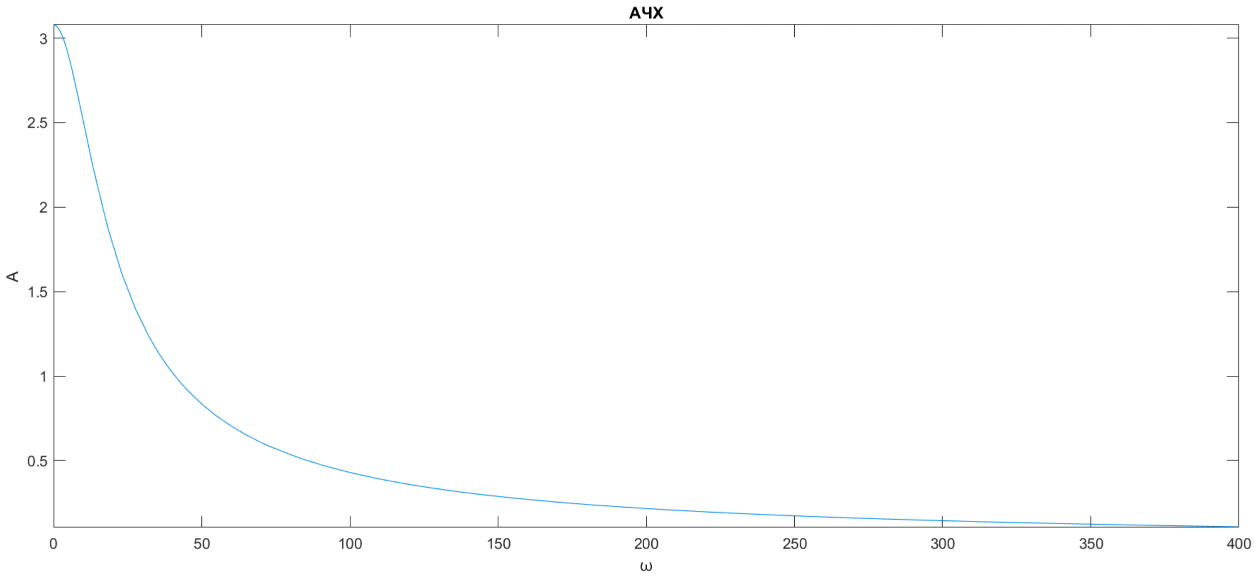

График 2. АЧХ

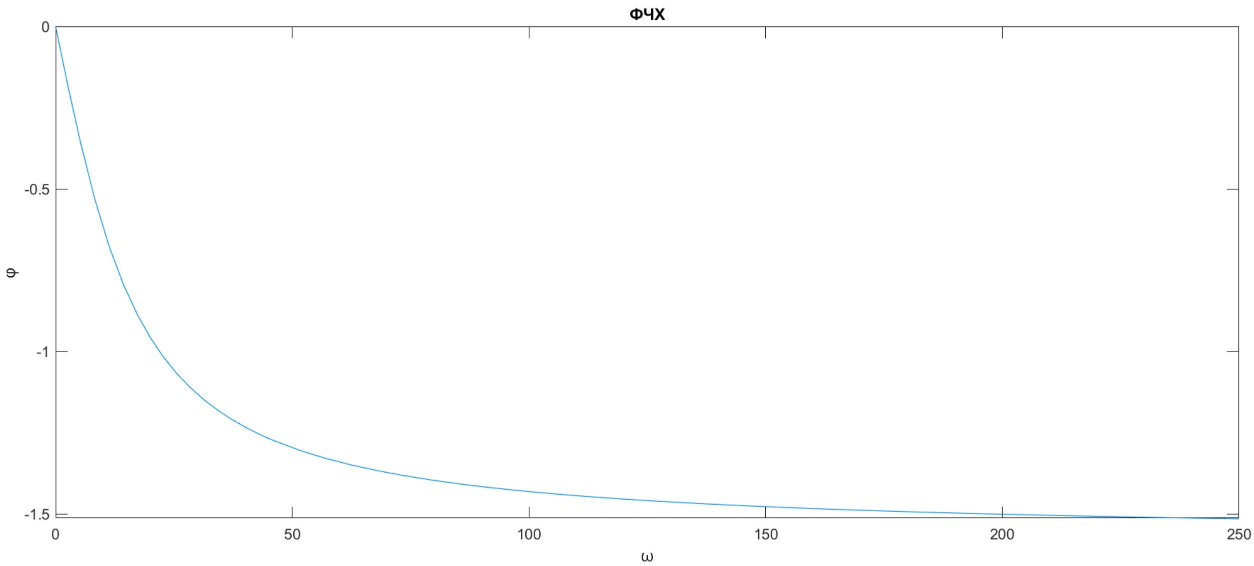

График 3. ФЧХ

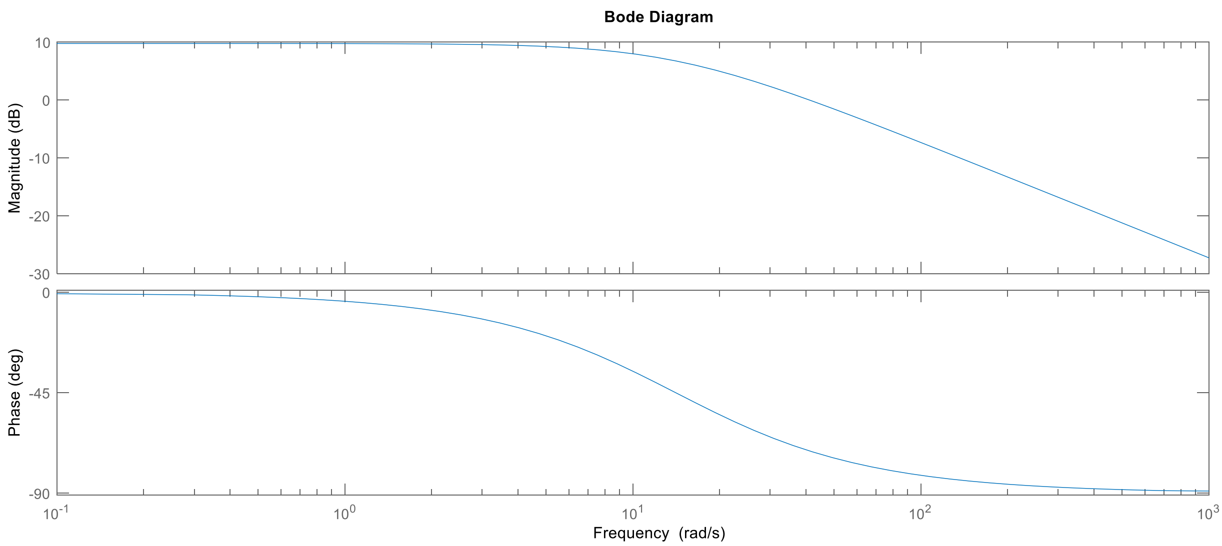

График 4. ЛАФЧХ

Задание 2

Запишем дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока независимого возбуждения

$$\ddot{\omega} + \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}}\dot{\omega} + \frac{\mathrm{K_m K_e}}{\mathrm{JL}}\omega = \frac{\mathrm{K_m}}{\mathrm{JL}}\mathrm{u}$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта

$$W(p) = \frac{\frac{\mathrm{K_m}}{\mathrm{JL}}}{p^2 + \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}}p + \frac{\mathrm{K_m K_e}}{\mathrm{JL}}} = \frac{\frac{1}{\mathrm{K_e}}}{\frac{\mathrm{JL}}{\mathrm{K_m K_e}}p^2 + \frac{\mathrm{JR}}{\mathrm{K_m K_e}}p + 1} = \frac{\mathrm{k}}{T^2p^2 + 2\mathrm{T}\xi p + 1}$$

где $k = \frac{1}{\mathrm{K_e}}$ – коэффициент усиления,

$T = \sqrt{\frac{\mathrm{JL}}{\mathrm{K_m K_e}}}$ – постоянная времени,

$\xi = \frac{\mathrm{R}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{LK_m K_e}}} = 0.2881$ – коэффициент затухания

Так как коэффициент затухания $0 < \xi < 1$, это **колебательное звено второго порядка.**

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена.

Корни характеристического уравнения принимают данные значения:

$p_{1,2} = -\frac{\xi}{T} \pm j\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\mathrm{T}}$

$\lambda = \frac{\xi}{T}$ – показатель затухания $\qquad\qquad \omega = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\mathrm{T}}$ – угловая частота колебания

Impulse response (весовая функция)

$$W(p) = \frac{\mathrm{k}}{T^2p^2 + 2\mathrm{T}\xi p + 1} = \frac{\mathrm{k}}{(T^2p^2 + 2T\xi p + \xi^2) + (1 - \xi^2)}$$
$$= \frac{\mathrm{k}}{T^2}\frac{1}{\left(p + \frac{\xi}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\mathrm{T}}\right)^2} = \frac{\mathrm{k}}{\omega T^2}\frac{\omega}{(p+\lambda)^2 + \omega^2}$$

$$\mathbf{w(t)} = \boldsymbol{\mathcal{L}^{-1}\{W(p)\}} = \frac{\mathbf{k}}{\boldsymbol{\omega T^2}}\boldsymbol{e^{-\lambda \cdot t} \cdot \sin \omega \mathrm{t}}$$

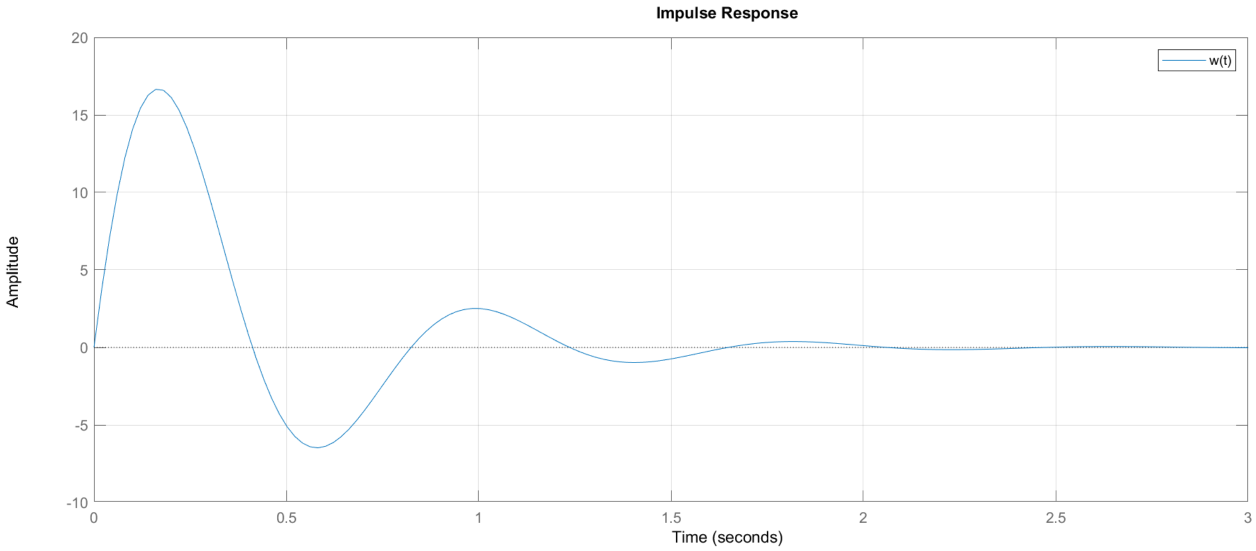

График 5. Весовая функция

Step response (переходная функция)

$$\mathbf{h(t)} = \mathcal{L}^{-1}\{\frac{1}{\mathrm{p}}W(p)\} = k\mathcal{L}^{-1}\{\frac{1}{p(T^2p^2+2\mathrm{T}\xi p+1)}\} =$$

$$= k\mathcal{L}^{-1}\{\frac{1}{p} - \frac{\mathrm{p}\ +\lambda}{(\mathrm{p}+\lambda)^2+\omega^2} - \frac{\lambda}{\omega}\cdot\frac{\omega}{(\mathrm{p}+\lambda)^2+\omega^2}\} =$$

$$= k\left(1 - e^{-\lambda\cdot t}\cdot cos\omega \mathrm{t} - \frac{\lambda}{\omega}e^{-\lambda\cdot t}\cdot sin\omega\mathrm{t}\right) =$$

$$= \boldsymbol{k}\left(\mathbf{1} - \boldsymbol{e}^{-\boldsymbol{\lambda}\cdot\boldsymbol{t}}(\boldsymbol{cos\omega}\mathbf{t} - \frac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{\omega}}\boldsymbol{sin\omega}\mathbf{t}\right)$$

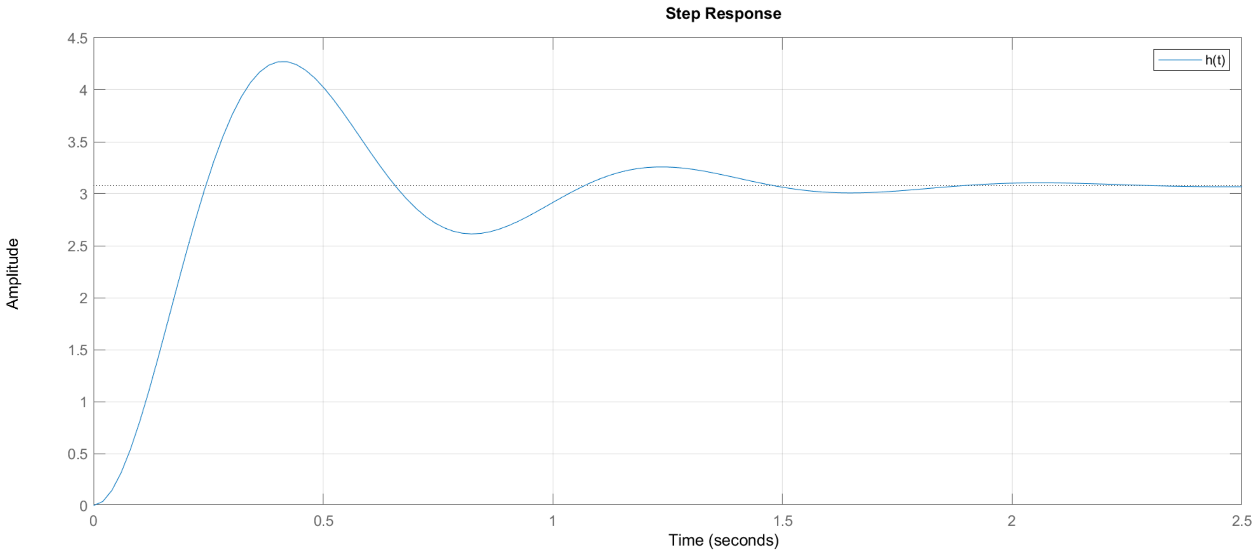

График 6. Передаточная функция

Найдем вещественную и мнимую часть передаточной функции от $j\omega$ с помощью matlaba..

$$W(j\cdot\omega) = \frac{\frac{\mathrm{K_m}}{\mathrm{JL}}}{(j\omega)^2 + \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}} j\omega + \frac{\mathrm{K_m K_e}}{\mathrm{JL}}}$$

$$P(\omega) = real\big(W(j\cdot\omega)\big) \qquad Q(\omega) = imag\big(W(j\cdot\omega)\big)$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \sqrt{(P(\omega)^2 + Q(\omega)^2}$$

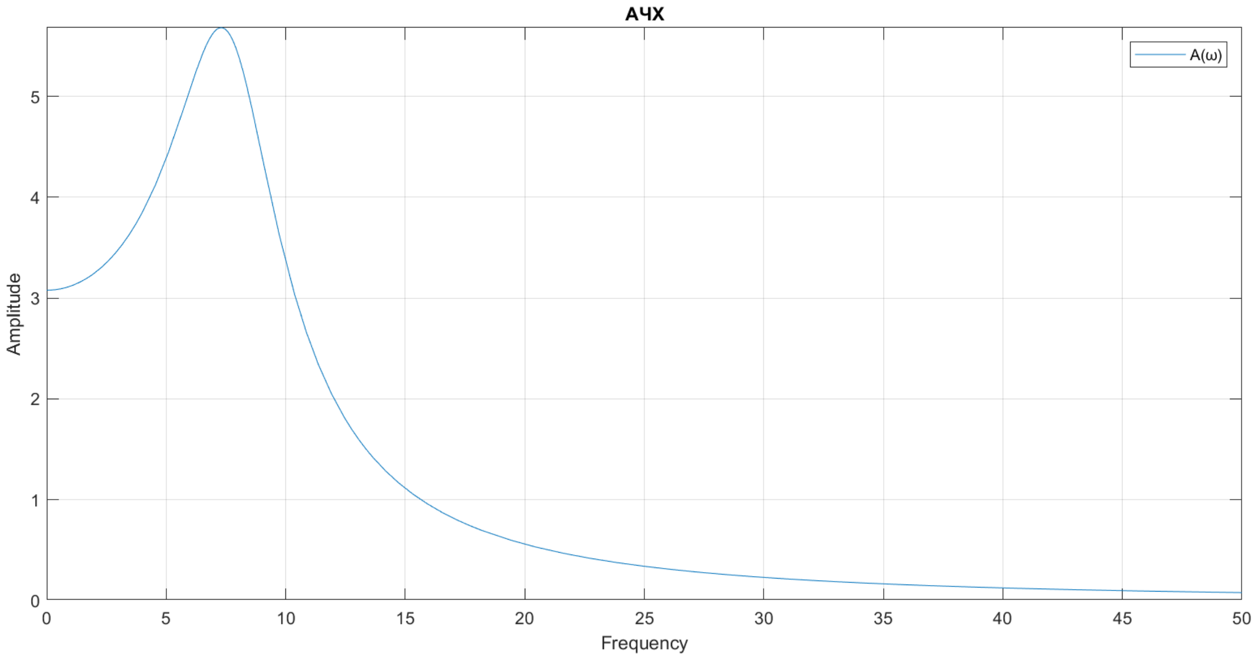

График 7. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2(\,Q(\omega),(P(\omega)\,)$$

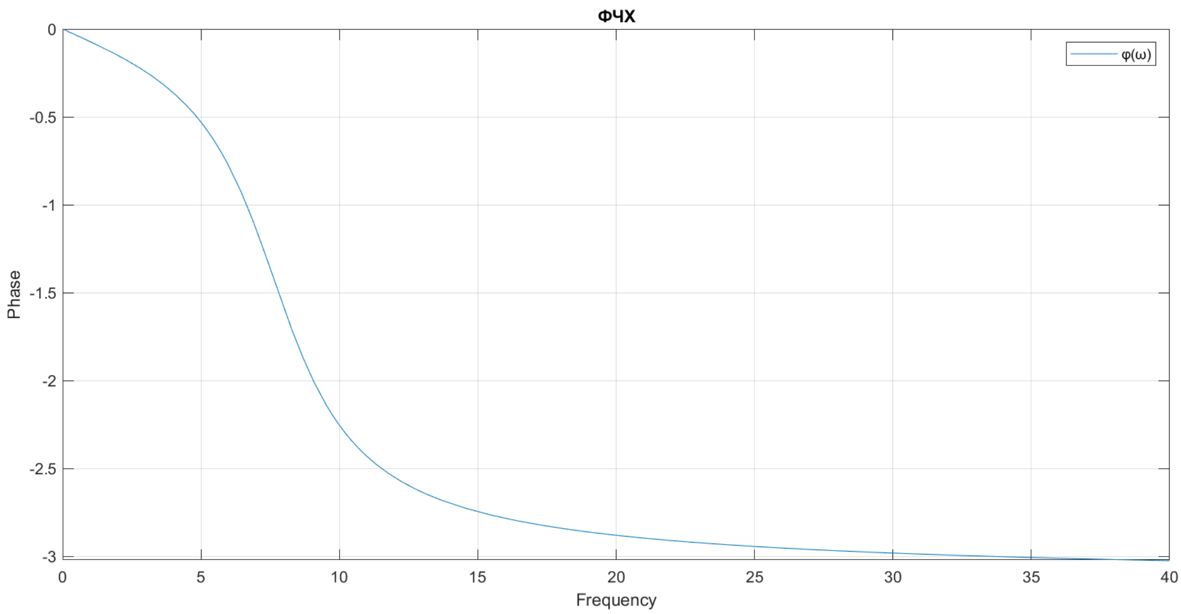

График 8. ФЧХ

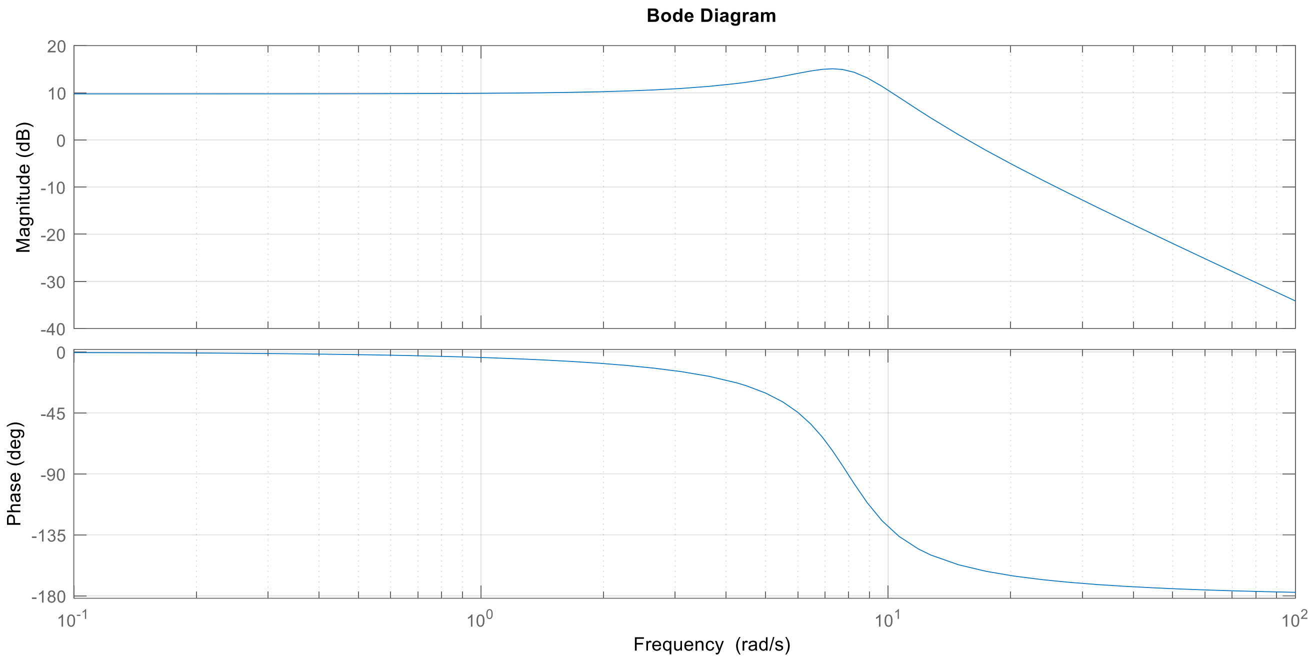

График 9. ЛАФЧХ

Задание 3

Запишем уравнение зависимости напряжения конденсатора

$$C\dot{u} = \mathrm{I}$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **идеальное интегрирующее звено**

$$W(p) \ = \frac{1}{C \cdot p}$$

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$C \cdot \dot{\mathrm{u}} = \delta(t) \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s \cdot C \cdot \mathrm{U}(s) = 1$$

$$\mathrm{U}(s) = \frac{1}{Cs} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{w}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{C}}$$

Step response (переходная функция)

$$C \cdot \dot{u} = 1(t) \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s \cdot C \cdot U(s) = \frac{1}{s}$$

$$U(s) = \frac{1}{C \cdot s^2} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{h}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{C}} \cdot \boldsymbol{t}$$

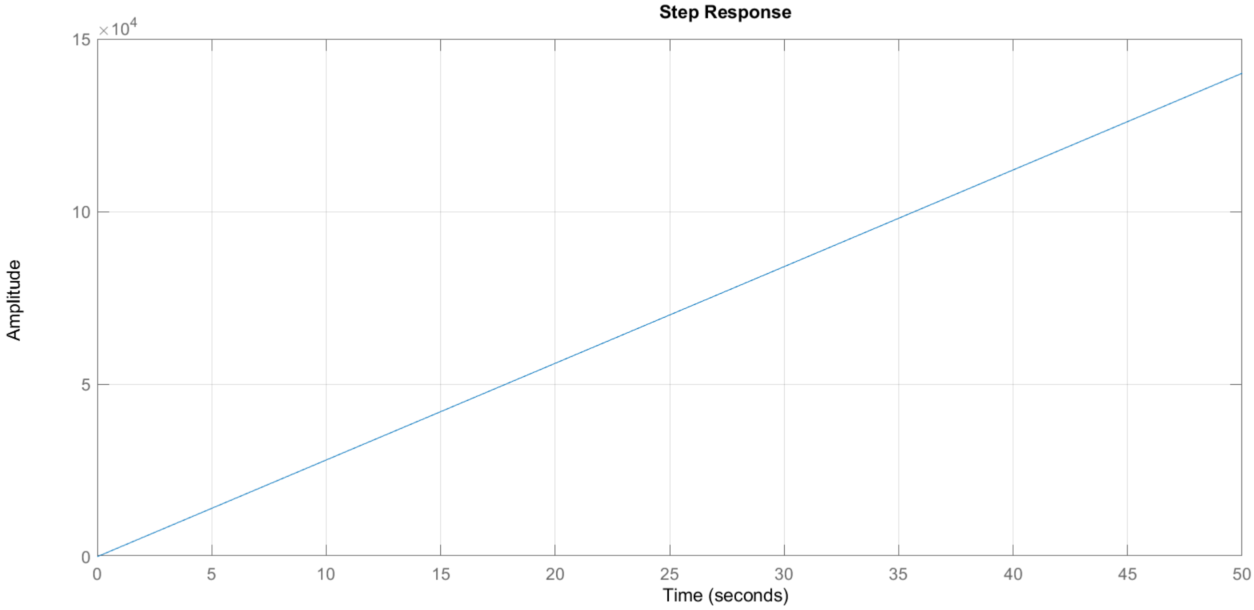

График 10. Переходная функция

Найдем передаточную функцию от $j\omega$

$$W(j \cdot \omega) = \frac{1}{C \cdot j \cdot \omega}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \left|\frac{1}{C \cdot j \cdot \omega}\right| = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

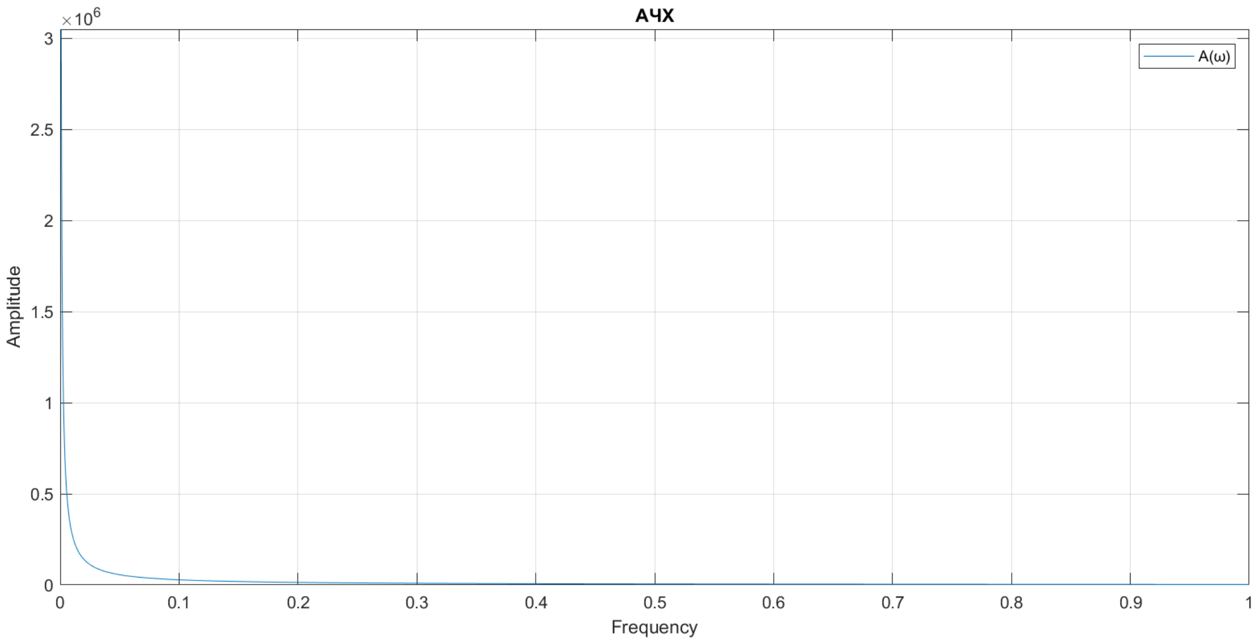

График 11. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2\left(\frac{1}{C \cdot j \cdot \omega}, 0\right) = -\frac{\pi}{2}$$

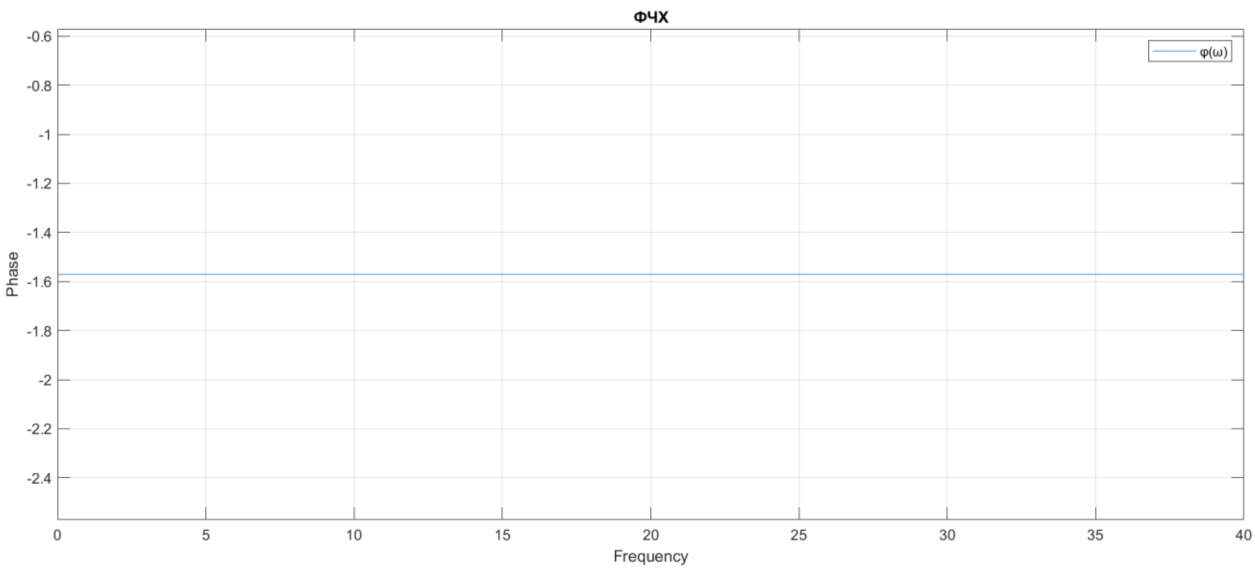

График 12. ФЧХ

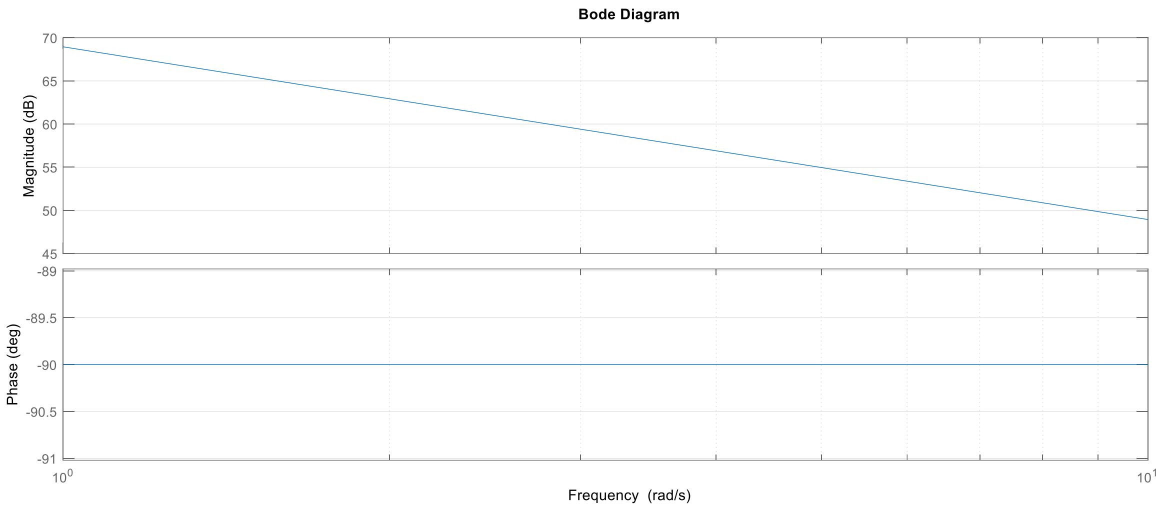

График 13. ЛАФЧХ

Задание 4

Запишем дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока независимого возбуждения

$$\ddot{\theta} + \frac{K_m K_e}{JR}\dot{\theta} = \frac{K_m}{JR}u$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **апериодическое звено второго порядка**

$$W(p) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{p^2 + \frac{K_m K_e}{JR}p}$$

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$\ddot{\theta} + \frac{K_m K_e}{JR}\dot{\theta} = \frac{K_m}{JR}\cdot\delta(t) \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s^2\Theta(s) + \frac{K_m K_e}{JR}s\Theta(s) = \frac{K_m}{JR}$$

$$\Theta(s) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{s^2 + \frac{K_m K_e}{JR}s} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{w}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{K}\boldsymbol{m}} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{K}\boldsymbol{m}}\boldsymbol{e}^{-\frac{\mathbf{K_m K_e}}{\mathbf{JR}}\cdot\boldsymbol{t}}$$

Step response (переходная функция)

$$\ddot{\theta} + \frac{K_m K_e}{JR}\dot{\theta} = \frac{K_m}{JR} \cdot 1(t) \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s^2\Theta(s) + \frac{K_m K_e}{JR} s\Theta(s) = \frac{K_m}{JR} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\Theta(s) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{s \cdot (s^2 + \frac{K_m K_e}{JR} s)} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{h}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{t}}{\mathbf{Km}} + \frac{\mathbf{JR}}{\mathbf{Km^2Ke}} \boldsymbol{e}^{-\frac{\mathbf{K_m K_e}}{\mathbf{JR}} \cdot \boldsymbol{t}}$$

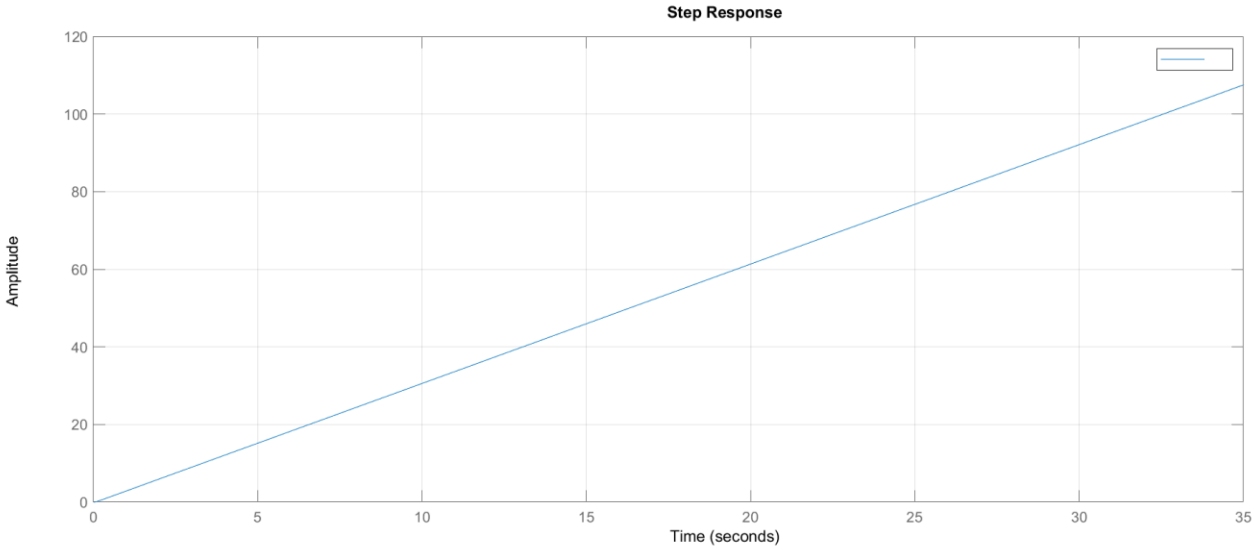

График 14. Переходная функция

Найдем вещественную и мнимую часть передаточной функции от $j\omega$

$$W(j \cdot \omega) = \frac{\frac{K_m}{JR}}{(j \cdot \omega)^2 + \frac{K_m K_e}{JR}(j \cdot \omega)} = \frac{1}{j\omega} \cdot \frac{\frac{K_m}{JR}}{j\omega + \frac{K_m K_e}{JR}} =$$

$$= \sqrt{\omega^2}\, e^{j \cdot atan2\left(-\frac{\omega}{0}\right)} \cdot \frac{\frac{K_m}{JR}}{\sqrt{\frac{K_m K_e}{JR}^2 + \omega^2}} e^{j \cdot atan\left(-\frac{\omega}{\frac{K_m K_e}{JR}}\right)}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \omega \cdot \frac{\frac{K_m}{JR}}{\sqrt{\frac{K_m K_e}{JR}^2 + \omega^2}}$$

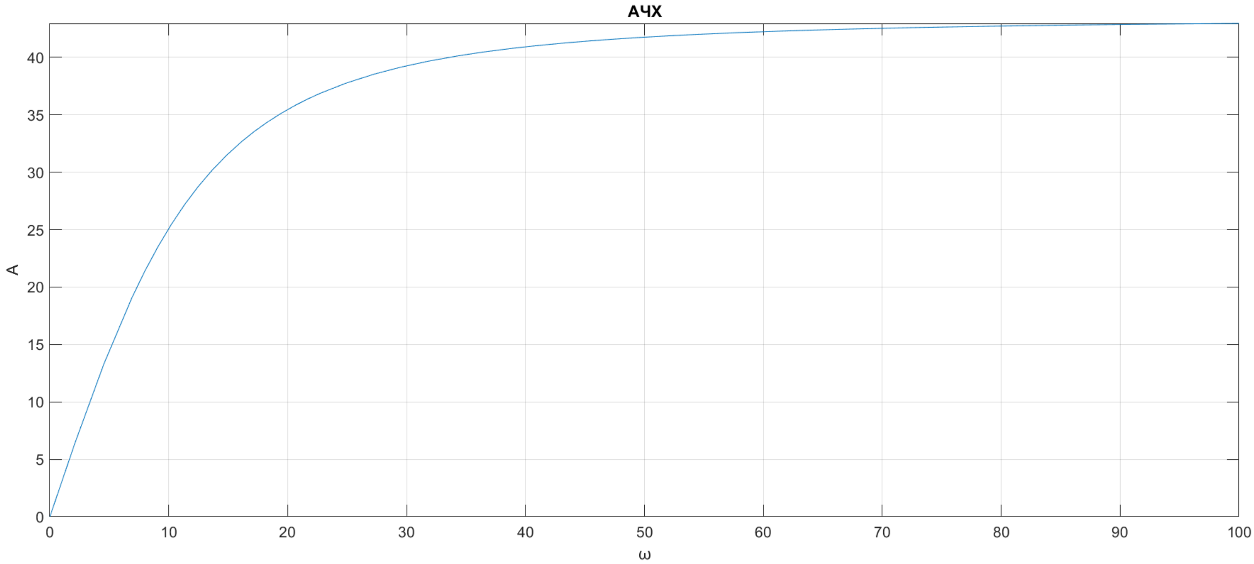

График 15. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2\left(-\frac{\omega}{0}\right) + atan\left(-\frac{\omega}{\frac{K_m K_e}{JR}}\right)$$

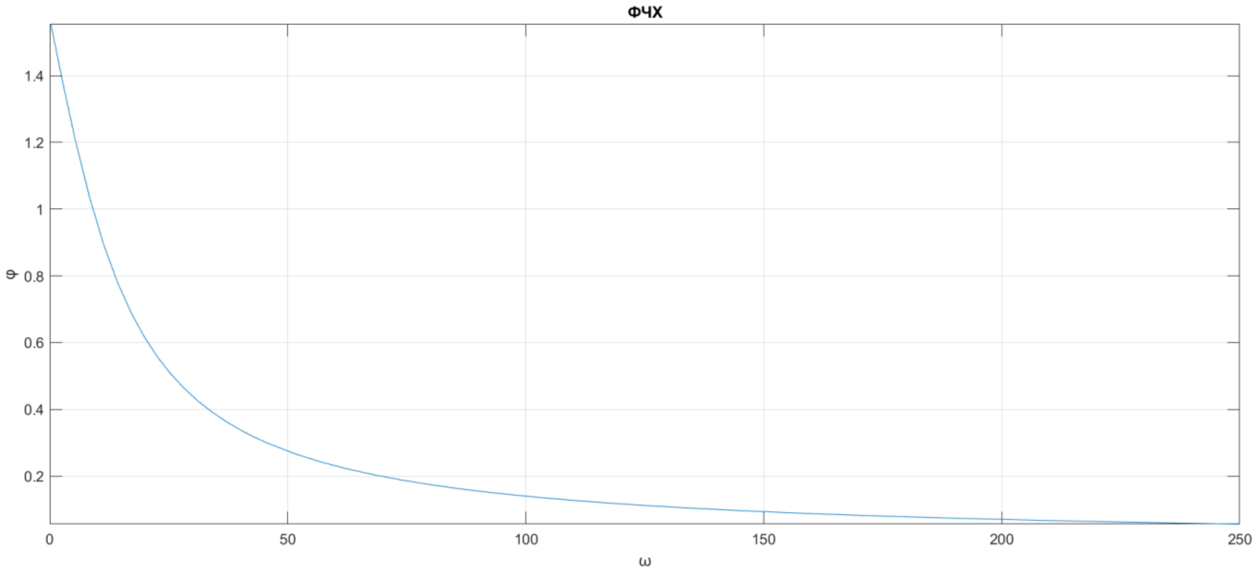

График 16. ФЧХ

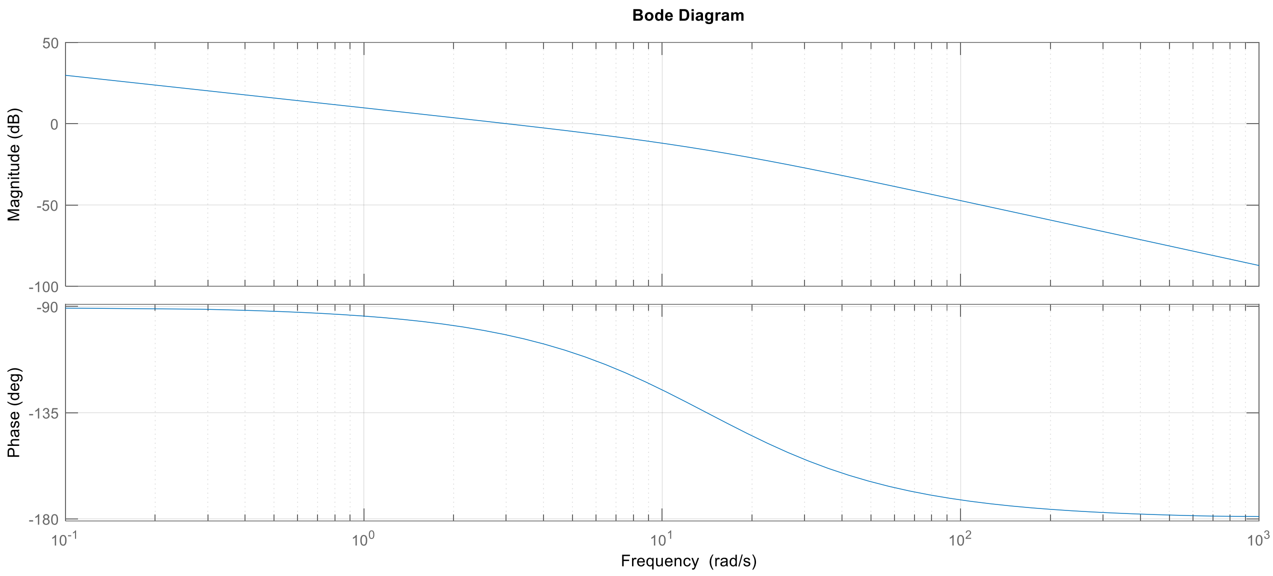

График 17. ЛАФЧХ

Задание 5

Запишем уравнение тахогенератора постоянного тока

$$\dot{u} + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}\mathrm{u} = \frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\dot{\theta}$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **реальное дифференцирующее звено**

$$W(p) = \frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\cdot p}{p + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}}$$

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$\dot{u} + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}\mathrm{u} = \frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\dot{\delta}(t) \overset{\mathcal{L}}{\rightarrow}$$

$$s\mathrm{U(s)} + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}\mathrm{U(s)} = \frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\frac{1}{s}\Delta(s)$$

$$\mathrm{U(s)} = \frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\Delta(s)}{s(s + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L})} \overset{\mathcal{L}^{-1}}{\longrightarrow}$$

$$\mathrm{w}(t) = \frac{52839\ \delta(t)}{200} - \frac{3198344367464824 51053}{1759218604441600}e^{-\frac{6052999427439627}{8796093022208}\cdot t}$$

Step response (переходная функция)

$$\dot{u} + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}\mathrm{u} = \frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}\dot{1(t)} \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s\mathrm{U(s)} + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}\mathrm{U(s)} = \frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L} \cdot \frac{1}{s^2}$$

$$\mathrm{U(s)} = \frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L}}{s^2 \cdot (s + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L})} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathrm{h}(t) = \frac{52839}{200} e^{-\frac{6052999427439627}{8796093022208} \cdot t}$$

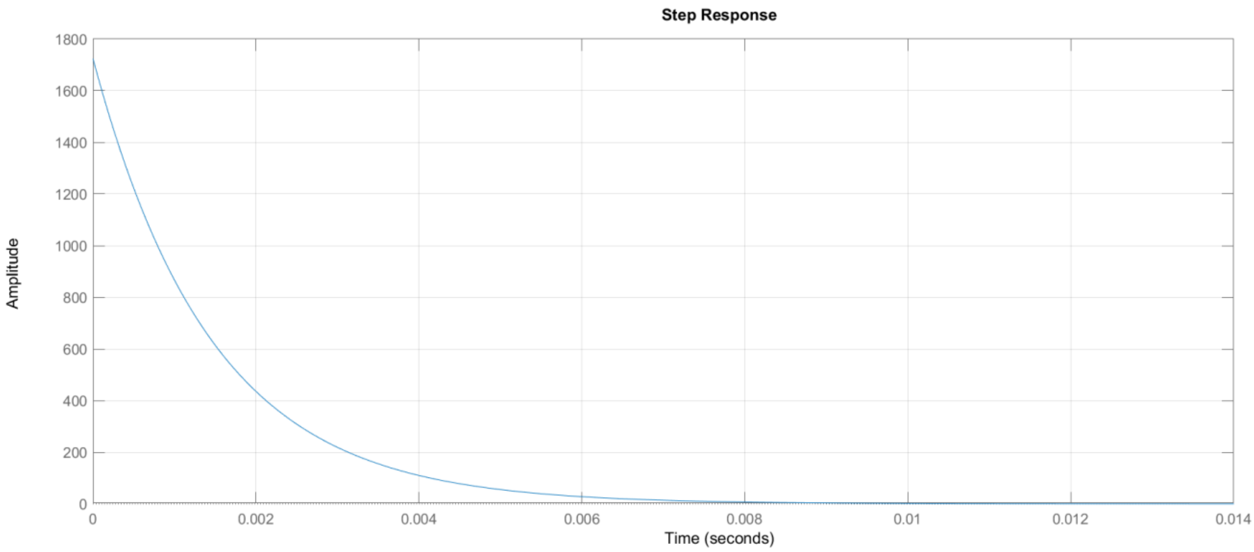

График 18. Переходная функция

$$W(j \cdot \omega) = \frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L} \cdot j \cdot \omega}{j \cdot \omega + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \sqrt{real\left(\frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L} \cdot j \cdot \omega}{j \cdot \omega + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}}\right)^2 + imag\left(\frac{\frac{\mathrm{R}_l\mathrm{K}_e}{L} \cdot j \cdot \omega}{j \cdot \omega + \frac{\mathrm{R} + R_l}{L}}\right)^2}$$

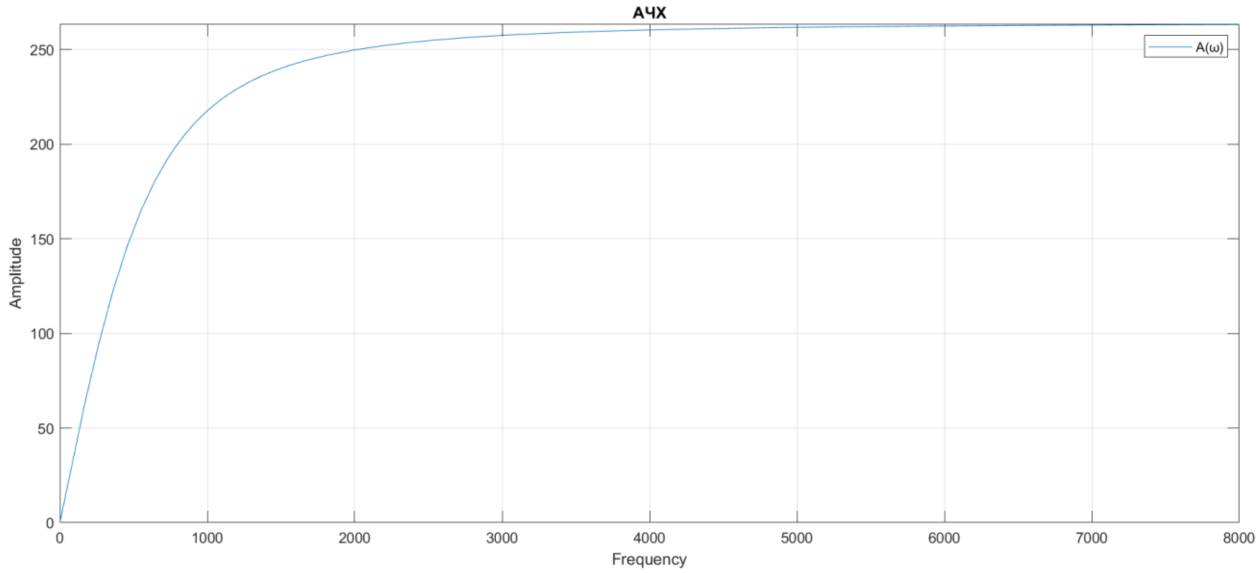

График 19. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2\left(real\left(\frac{\frac{R_l K_e}{L} \cdot j \cdot \omega}{j \cdot \omega + \frac{R + R_l}{L}}\right) + imag\left(\frac{\frac{R_l K_e}{L} \cdot j \cdot \omega}{j \cdot \omega + \frac{R + R_l}{L}}\right)\right)$$

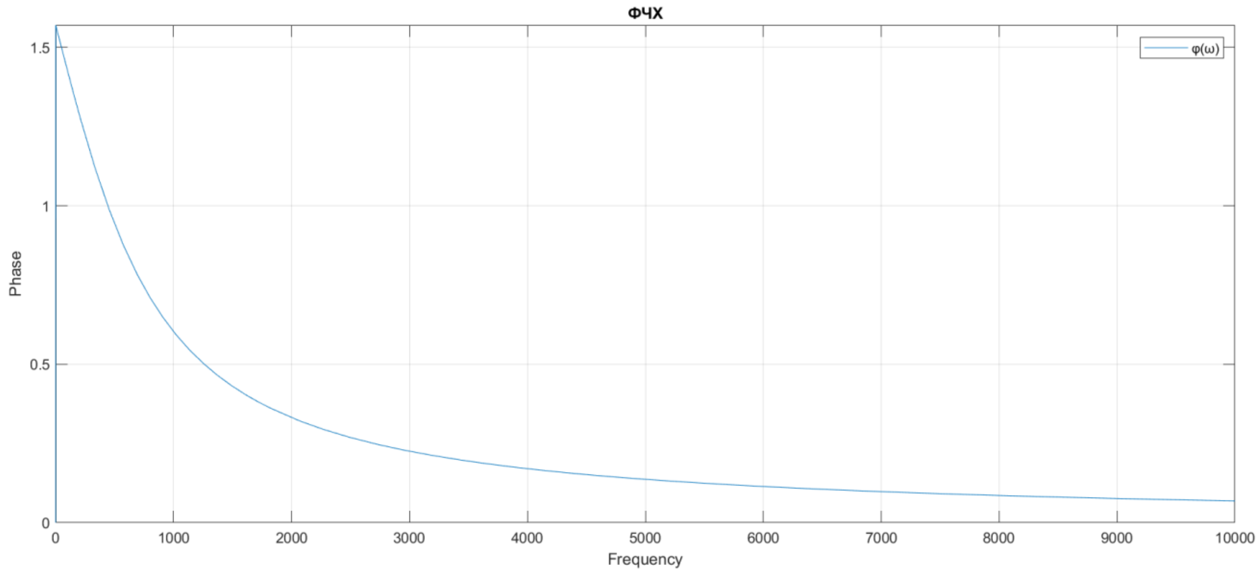

График 20. ФЧХ

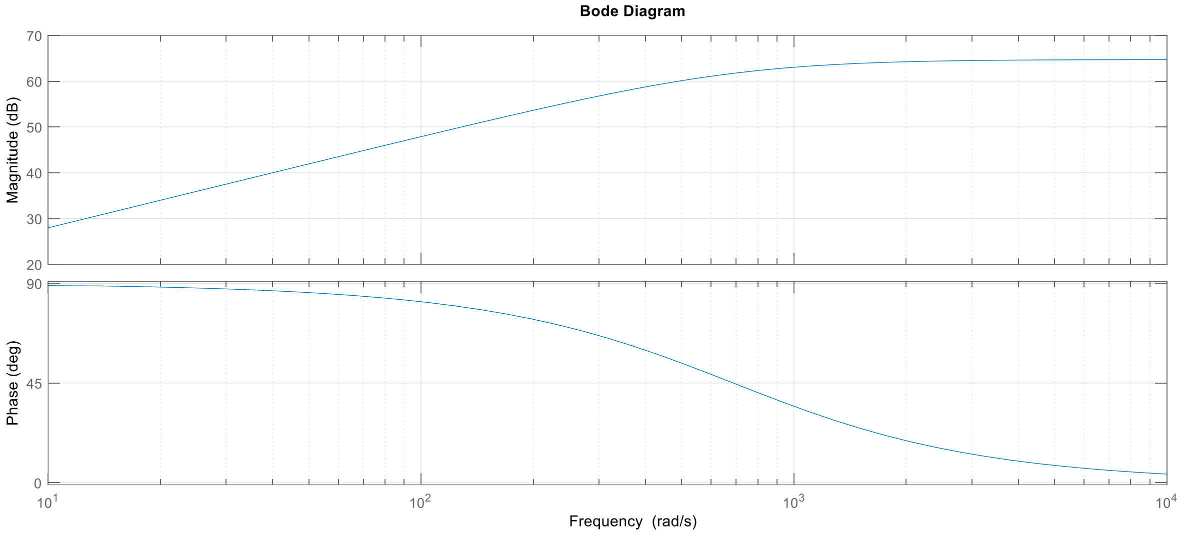

График 21. ЛАФЧХ

Задание 6

Запишем уравнение движения маятника

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{1}{m}F$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **консервативное звено второго порядка**

$$W(p) = \frac{\frac{1}{m}}{p^2 + \frac{k}{m}}$$

Выполним аналитический расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{1}{m} \cdot \delta(t) \xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s^2 X(s) + \frac{k}{m} X(s) = \frac{1}{m}$$

$$X(s) = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \frac{k}{m}} \quad \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{w}(\boldsymbol{t}) = \frac{\boldsymbol{sin}\left(\boldsymbol{t}\sqrt{\frac{\mathbf{k}}{\mathbf{m}}}\right)}{\sqrt{\mathbf{k} \cdot \mathbf{m}}}$$

Step response (переходная функция)

$$\frac{W(p)}{p} = \frac{1}{11p\,(\mathbf{p^2} + \frac{219}{11})} \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$$\mathbf{h}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{219}} + \frac{\mathbf{cos}\left(\boldsymbol{t}\sqrt{\frac{\mathbf{219}}{\mathbf{11}}}\right)}{\mathbf{219}}$$

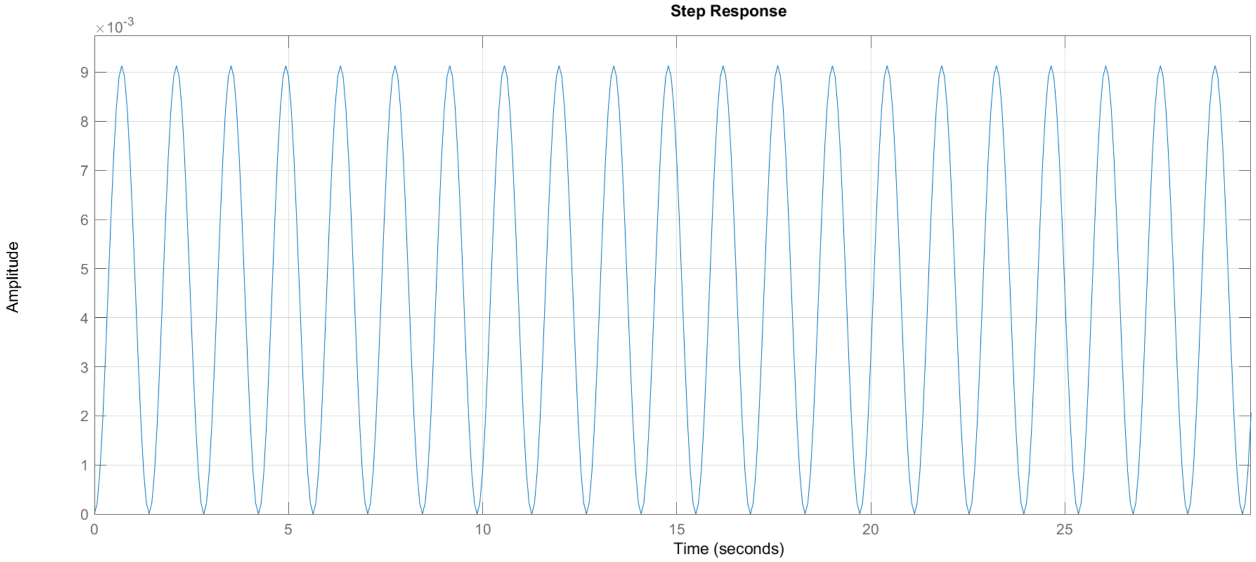

График 22. Переходная функция

Найдем вещественную и мнимую часть передаточной функции от $j\omega$

$$W(j\cdot\omega) = \frac{\frac{1}{\mathrm{m}}}{(j\cdot\omega)^2 + \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{m}}} = \frac{\frac{1}{\mathrm{m}}}{-\omega^2 + \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{m}}}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \frac{\frac{1}{\mathrm{m}}}{-\omega^2 + \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{m}}}$$

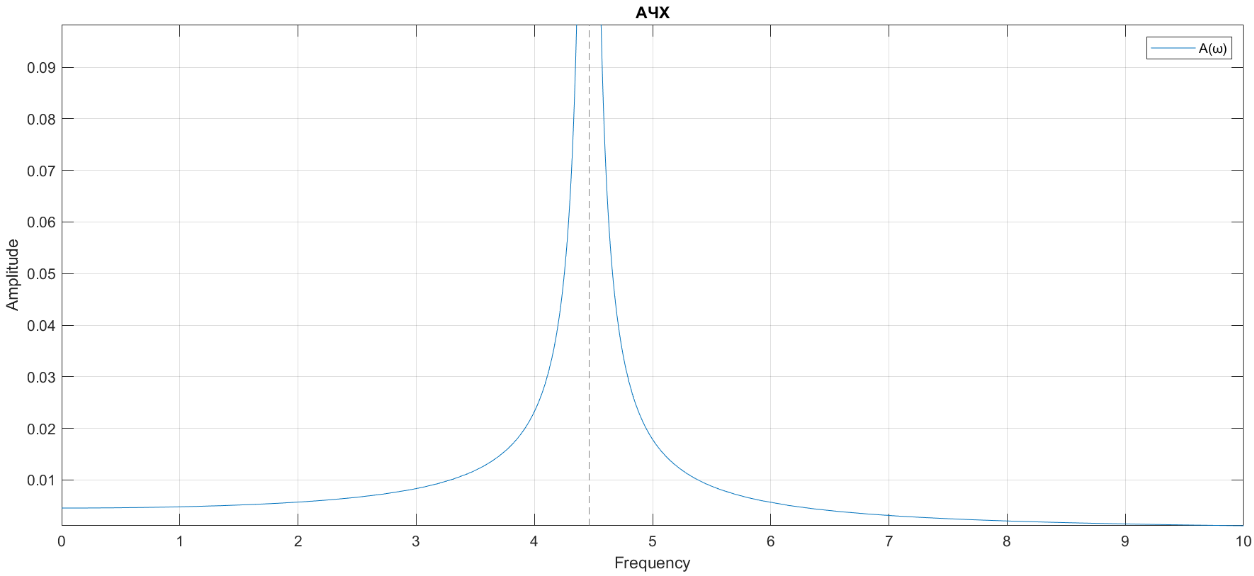

График 23. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2\left(0, \frac{\frac{1}{m}}{-\omega^2 + \frac{k}{m}}\right) = 0$$

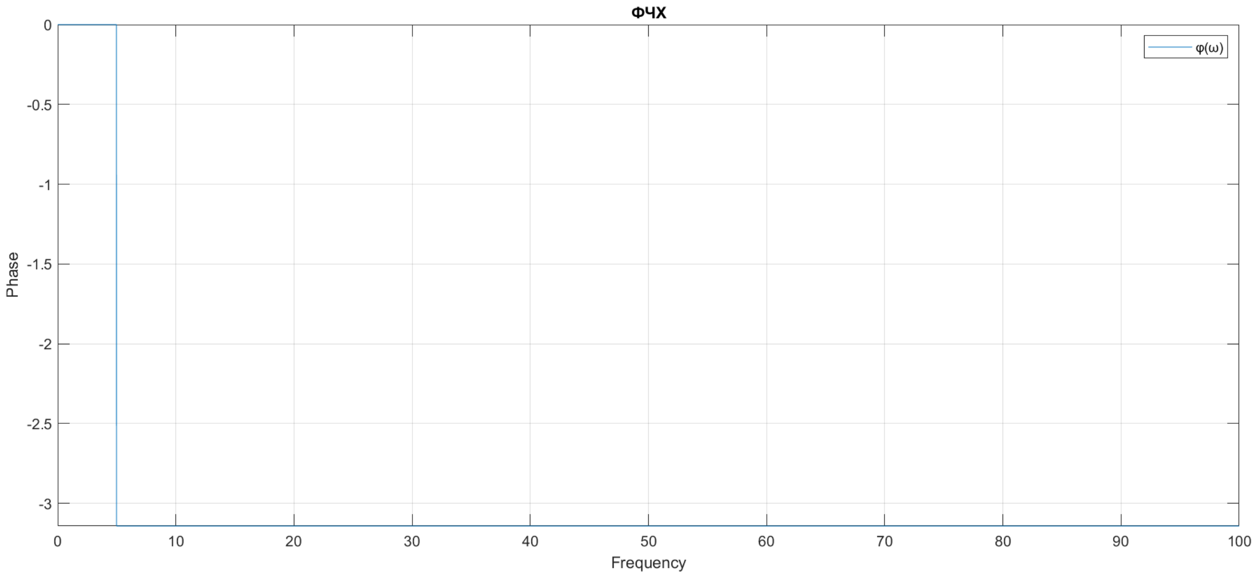

График 24. ФЧХ

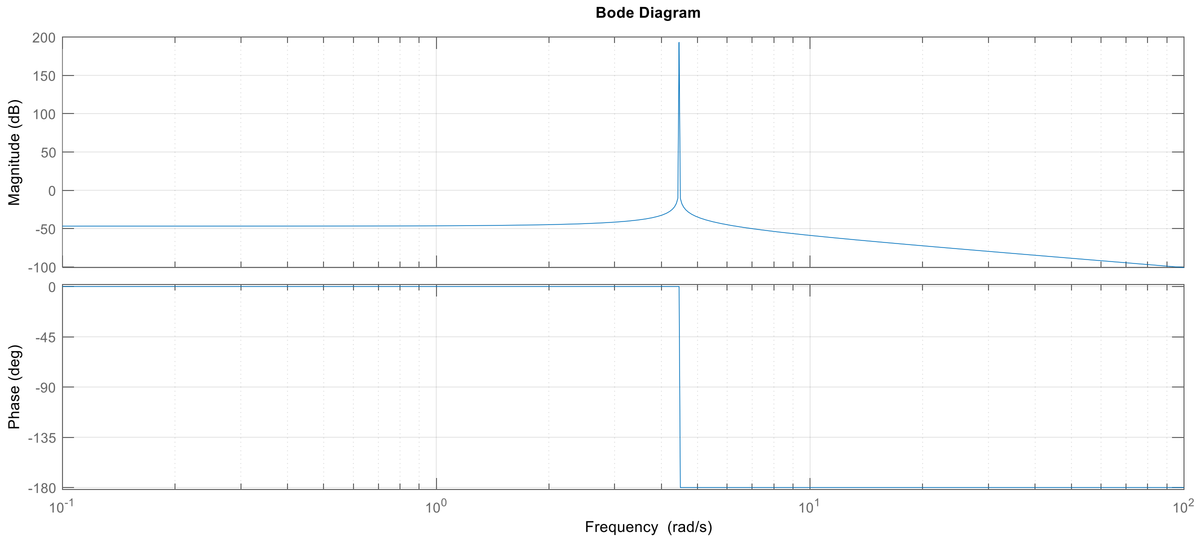

График 25. ЛАФЧХ

Задание 7

Запишем уравнение движения маятника в вязкой жидкости

$$\mathrm{ml}\cdot\ddot{\theta}+\eta\mathrm{l}\cdot\dot{\theta}+\mathrm{mg}\cdot\theta=\mathrm{F}$$

$$\ddot{\theta}+\frac{\eta}{\mathrm{m}}\cdot\dot{\theta}+\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}\cdot\theta=\frac{1}{\mathrm{ml}}\mathrm{F}$$

Найдем передаточную функцию исследуемого объекта. Это **апериодическое звено второго порядка**

$$W(p)\;=\;\frac{\frac{1}{\mathrm{ml}}}{p^2+\frac{\eta}{\mathrm{m}}p+\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}}$$

Выполним расчет временных и частотных характеристик звена

Impulse response (весовая функция)

$$\ddot{\theta}+\frac{\eta}{\mathrm{m}}\cdot\dot{\theta}+\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}\cdot\theta=\frac{1}{\mathrm{ml}}\cdot\delta(t)\xrightarrow{\mathcal{L}}$$

$$s^2\Theta(s)+\frac{\eta}{\mathrm{m}}s\Theta(s)+\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}\Theta(s)=\frac{1}{\mathrm{ml}}$$

$$\Theta(s)=\frac{\frac{1}{\mathrm{ml}}}{s^2+\frac{\eta}{\mathrm{m}}s+\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}}\quad\xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$\mathbf{w}(\boldsymbol{t}) =$

$$\frac{46174190058650704715\ \sqrt{19507}\ \sqrt{16972293505683}\ e^{-\frac{91461\,t}{10310}} \sinh\left(\frac{3\ \sqrt{19507}\ \sqrt{16972293505683}\ t}{201117170}\right)}{229309244123449944104767586304}$$

Step response (переходная функция)

$$\frac{W(p)}{p} = \frac{\frac{1}{\mathrm{ml}}}{p(p^2 + \frac{\eta}{\mathrm{m}}p + \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}})} \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$$

$\mathbf{h}(\boldsymbol{t}) =$

$$\frac{17472743462155175497 1}{883606246890091315200} - \frac{17472743462155175497 1\ e^{-\frac{91461\,t}{10310}} \left(\cosh\left(\frac{3\ \sqrt{19507}\ \sqrt{16972293505683}\ t}{201117170}\right) + \frac{30487\ \sqrt{19507}\ \sqrt{16972293505683}\ \sinh\left(\frac{3\ \sqrt{19507}\ \sqrt{16972293505683}\ t}{201117170}\right)}{16972293505683}\right)}{883606246890091315200}$$

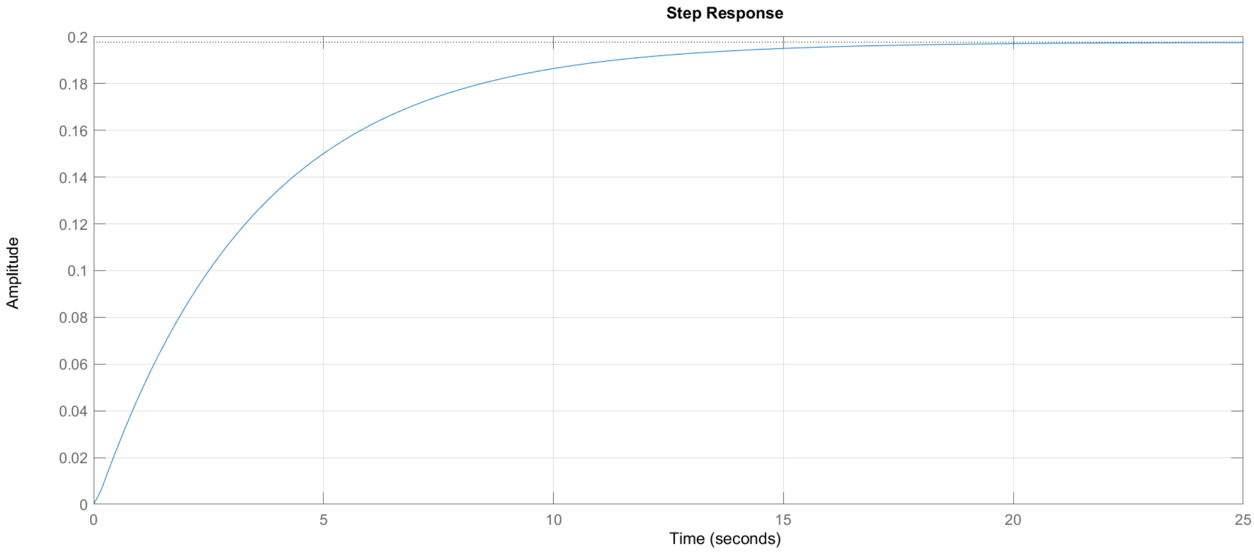

График 26. Переходная функция

Найдем вещественную и мнимую часть передаточной функции от $j\omega$

$$W(j \cdot \omega) = \frac{\frac{1}{\mathrm{ml}}}{(j \cdot \omega)^2 + \frac{\eta}{\mathrm{m}}(j \cdot \omega) + \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}}}$$

Амплитудно-частотная характеристика

$$A(\omega) = \sqrt{(P(\omega)^2 + Q(\omega)^2}$$

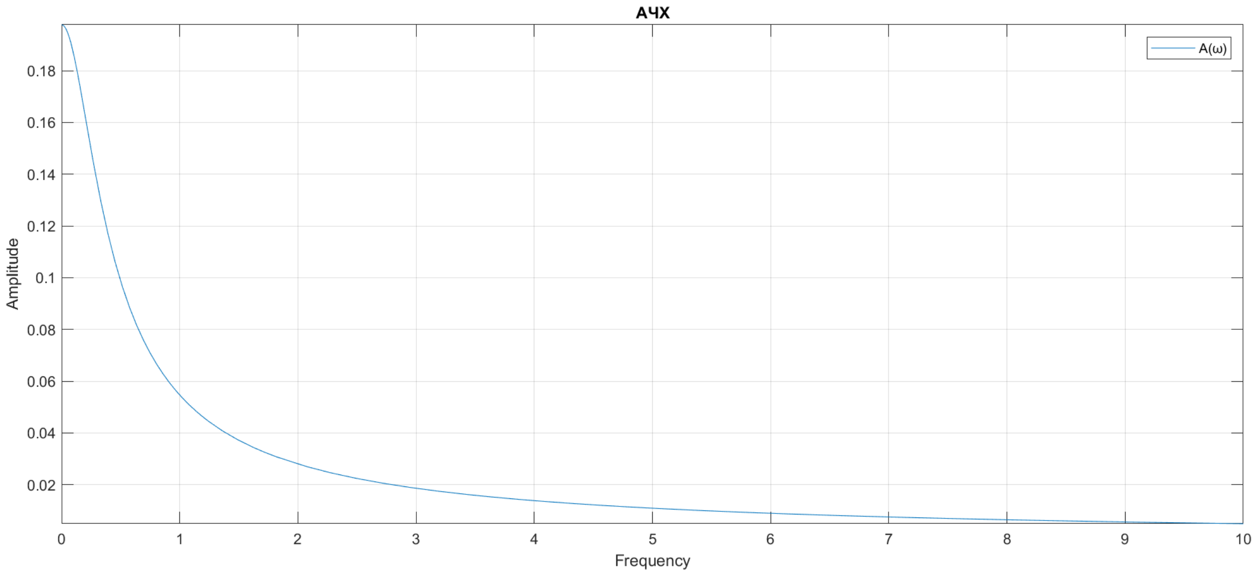

График 27. АЧХ

Фазо-частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = atan2(\ Q(\omega), (P(\omega)\ )$$

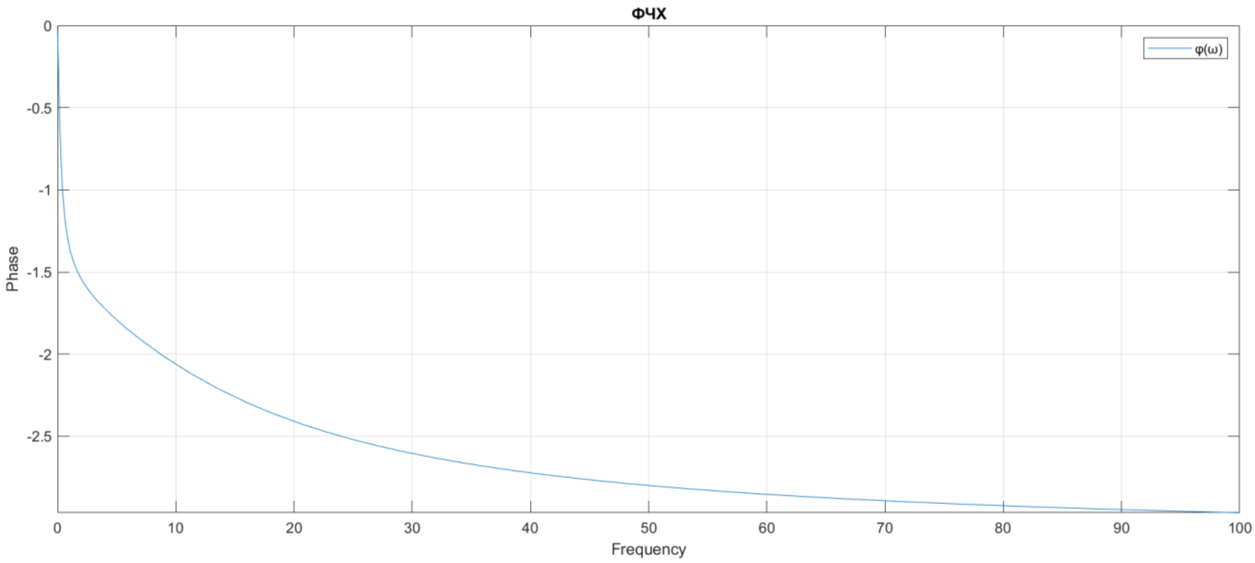

График 28. ФЧХ

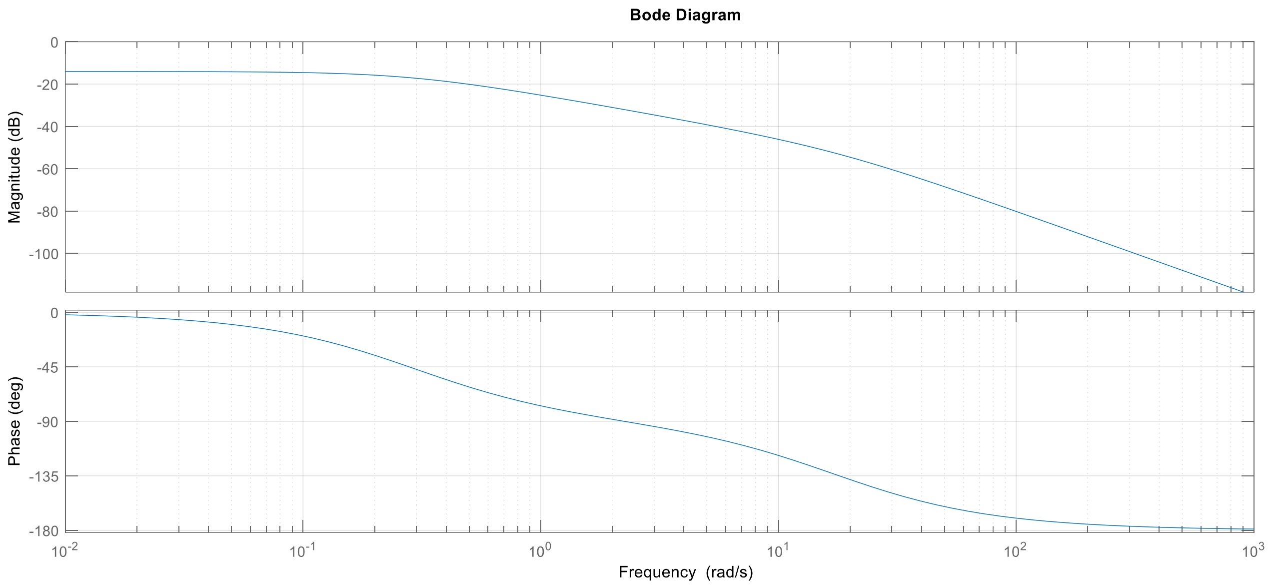

График 29. ЛАФЧХ

Выводы

В данной лабораторной работе были исследованы разные типы звеньев, их временные характеристики (весовая и переходная функции), а также построены частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ, ЛАФЧХ) и переходная функция.